UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CAMPUS DE SÃO CARLOS

**ESTUDO GEOAMBIENTAL DA BACIA DO RIO PARDO, A PARTIR DA
COMPARTIMENTAÇÃO EM OTTOBACIAS – ESCALA 1:100.000**

VOLUME I

Silvana Brandão Fontes

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para concorrer ao Título de Doutor, pelo curso de Pós-Graduação em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos

2004

Data da Defesa: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

**Ao meu marido Vinícius, pelo grande amor,
dedicação e amizade no decorrer da minha
vida ao seu lado.**

**Aos meus queridos pais, Dirso e Idalina e a
toda Família Fontes.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS, que é a inteligência suprema e que nos permite estar aqui neste espaço e tempo, vivendo e convivendo, ensinando e aprendendo.

Aos meus irmãos e irmãs, cunhados (a) e sobrinhos (as), que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando as minhas decisões.

Ao Professor Dr. Osni José Pejon, pela amizade, orientação, ensinamentos e tolerância.

Ao Professor José Eduardo Rodrigues, pela amizade e conversas nas horas difíceis.

Aos amigos que sempre estiveram ao meu lado, em especial Ângelo, Sandra, Eliana, Miguel e Paulo Mauricio. Vocês estarão sempre comigo...

Aos amigos Holden e Léo, pelas conversas, troca de informações e grande ajuda. Vocês foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Às amigas Cláudia e Gisela, pelas palavras de incentivo, carinho e amizade.

Ao Rogério pela ajuda no programa ENVI, Ana Paula e Ivan, pelo auxílio na tradução do resumo e Nívea e Basílio pela ajuda e companhia nos momentos finais do trabalho.

Aos funcionários do departamento de Geotecnia, em especial, ao Álvaro, Maristela, Herivelto e Neiva.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho através do projeto nº 98/15461-1.

A todos aqueles que ajudaram a concluir mais uma etapa da minha vida.

A todos vocês, muito obrigada, saibam que sem a participação de cada um e de cada forma, eu não teria finalizado este trabalho.

“Um rio é algo mais do que um acidente geográfico, uma linha em um mapa, um elemento do terreno. Um rio não pode ser adequadamente descrito simplesmente em termos de geografia e geologia. Um rio é algo vivo, com energia, movimento e transformação”.

Earle B. Phelps.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.	i
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
LISTA DE ANEXOS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISAO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	3
2.1.1 Histórico e evolução	3
2.1.2 A política ambiental no Brasil	15
2.1.3 Recursos hídricos e legislação no Brasil	22
2.2 O mapeamento geotécnico no contexto ambiental.	28
2.2.1 Zoneamento geoambiental e planejamento territorial	34
2.2.2 Principais metodologias para estudos geoambientais	36
2.2.3 Avaliação das formas de relevo como ferramenta auxiliar nos estudos de zoneamento geoambiental	46
2.3 BACIA HIDROGRÁFICA	50
2.3.1 Bacias hidrográficas como unidade de estudo	57
2.3.2 Exemplos de estudos de planejamento utilizando a bacia hidrográfica como	61

	unidade de estudo	
2.4	UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO PARA TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES	66
2.4.1	Geoprocessamento	66
2.4.2	Sistema de Informação Geográfica	68
2.4.2.1	Histórico e definição	68
2.4.2.2	Utilização do SIG como ferramenta de trabalho em projetos ambientais e planejamento urbano	72
2.4.2.3	Exemplos de aplicação do SIG em projetos de planejamento	74
2.4.3	Sensoriamento remoto	77
2.4.3.1	Imagens de satélite	78
2.4.4	Geomorfologia e Pedologia aplicados ao meio ambiente	82
3	MATERIAIS E MÉTODOS	89
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	95
4.1	Localização	95
4.2	Vegetação	96
4.3	Geomorfologia	97
4.4	Caracterização sócio-econômica	98
4.5	Aspectos ambientais	100
4.5.1	Qualidade da água	100
4.5.2	Sistema de coleta, disposição e tratamento de esgoto	102
4.5.3	Sistema de coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos	104

4.5.4	Mineração	107
4.5.5	Áreas de preservação	109
4.5.6	Áreas de interesse turístico	111
4.5.7	Áreas degradadas	112
4.5.8	Caracterização climática	113
5	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES	129
5.1	Documentos cartográficos gerados	129
5.1.1	Mapa de Documentação	129
5.1.2	Mapa Topográfico	130
5.1.3	Carta de Declividade	130
5.1.4	Mapa do Substrato Rochoso	133
5.1.4.1	Descrição do substrato rochoso	137
5.1.4.1.1	Domínio I	137
5.1.4.1.2	Domínio II	143
5.1.4.1.3	Domínio III	146
5.1.5	Carta de Domínio de Drenagens	154
5.1.5.1	Descrição e caracterização da rede de drenagem	156
5.1.6	Mapa de Landforms	159
5.1.7	Mapa de Uso e Ocupação	194
5.1.7.1	Classes de uso e ocupação definidos para a Bacia do Rio Pardo	200
5.1.8	Carta de compartimentação da Bacia do Rio Pardo - Ottobacias	203

5.1.8.1	Aplicação na Bacia do Rio Pardo.	204
6	ANÁLISE DAS OTTOBACIAS COMO BASE PARA A COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO	208
6.1	Critérios para subdivisão das Ottobacias	208
6.2	Definição das unidades de compartimentação	211
6-3	Caracterização das unidades de compartimentação do meio físico	222
7	CONCLUSÕES	237
7.1	Quanto à metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas	237
7.2	Quanto à utilização das técnicas de geoprocessamento e tratamento de dados	238
7.3	Quanto aos resultados da análise das unidades de compartimentação e das situações de uso e ocupação	239
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	240

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura das normas ISO 14000 (Barbieri, 1997)	13
Figura 2	Modelo de bacia hidrográfica e seus componentes	52
Figura 3	Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem (Horton, 1945)	53
Figura 4	Classificação de drenagens segundo Horton (1945).	54
Figura 5	Classificação dos rios segundo Strahler (1957).	55
Figura 6	Componentes de um Sistema de Informações Geográficas (Câmara & Medeiros, 1998)	71
Figura 7	Exemplo de imagem de satélite da região de IlhaBela (INPE, 2000)	78
Figura 8	Etapas do desenvolvimento do projeto	93
Figura 9	Ficha utilizada na etapa de trabalho de campo.	94
Figura 10	Localização da área de estudo	96
Figura 11	Lixão da cidade de Cajurú	106
Figura 12	Aterro sanitário da cidade de Santa Rosa do Viterbo (detalhe para a lagoa de chorume)	107

Figura 13	Lixão da cidade de Poços de Caldas	107
Figura 14	Exploração de areia em planície aluvial do Ribeirão Tamanduá	108
Figura 15	Distribuição das estações na área da Bacia do Rio Pardo	115
Figura 16	Séries selecionadas utilizadas no preenchimento das lacunas (A) e arquivo preparado para o processo de preenchimento das lacunas (B).	120
Figura 17	Painel de entrada do programa COMPLET utilizado para preenchimento das lacunas existentes nas séries de precipitação	121
Figura 18	Precipitação anual da serie histórica no período entre 1977 e 1996.	123
Figura 19	Precipitações médias anuais	124
Figura 20	Polígonos de <i>Thiessen</i> delimitados para a Bacia do Rio Pardo.	128
Figura 21	Modelo de superfície a partir de rede de triângulos conectados (TIN)	131
Figura 22	Modelo digital de terreno gerado pelo método TIN. As diferenças de cores representam os intervalos de amplitude existente em uma parte da área estudada	132
Figura 23	Articulação da área	136
Figura 24	Detalhe de dobras em afloramento de migmatito.	138
Figura 25	Migmatitos bandados	138
Figura 26	Detalhe de porfiroblasto de k-feldspato em corpo de migmatito oftalmítico.	139
Figura 27	Corpo de quartzito alterado mapeado no município de Poços de Caldas (Fonte: Amorim, 2001).	140
Figura 28	Detalhe dos granitos, com evidência para a orientação dos cristais e para os porfiroblastos de feldspatos róseos.	141
Figura 29	Detalhe do gnaiss mapeado na área	142

Figura 30	Afloramento de gnaiss sienítico alterado. Atentar para os diques de quartzo preservados (região da Serra da Pedra Branca).	143
Figura 31	Afloramento de tinguaito na área do Maciço Alcalino de Poços de Caldas	145
Figura 32	Afloramento de blocos de nefelina sienito envolto em matriz argilo siltosa.	145
Figura 33	Afloramento de rocha potássica no município de Poços de Caldas.	146
Figura 34	Detalhe do arenito da Formação Itararé, intercalado com níveis quartzosos de granulometria mais grosseira	148
Figura 35	Contato entre as Formações Corumbataí e Pirambóia	148
Figura 36	Detalhe do argilito da Formação Corumbataí, nas cercanias da cidade de Tambaú.	149
Figura 37	Estratificação cruzada no arenito da Formação Pirambóia.	150
Figura 38	Afloramento de arenito pertencente à Formação Botucatu.	152
Figura 39	Corpo de diabásio pertencente à Formação Serra Geral	153
Figura 40	Classificação da densidade de drenagem, segundo Christofolletti (1979).	156
Figura 41	Ficha de caracterização de <i>landforms</i>	161
Figura 42	Solo desenvolvido da alteração dos basaltos existentes no sistema 1	163
Figura 43	.Morros característicos do Sistema 2	163
Figura 44	Detalhe do solo de alteração do arenito da Formação Botucatu	164
Figura 45	Vista geral do Sistema 4. Detalhe para as áreas planas que ocorrem associadas as feições de relevo do Sistema 4	165
Figura 46	Níveis conglomeráticos encontrados no solo transportado do Sistema 4.	165
Figura 47	Solo decorrente da alteração do arenito da Formação Botucatu. Notar a	166

presença da linha de seixo que separa o solo transportado (A) do residual (B)

Figura 48	Forma de relevo representativa do Sistema 6 (Fonte: Silveira, 2002)	167
Figura 49	Material inconsolidado presente no Sistema 6. Notar presença de ravinamentos no material residual (Fonte: Silveira, 2002).	167
Figura 50	Material transportado, observado próximo ao contato com o Sistema 4.	168
Figura 51	Encostas convexas associadas ao Sistema 7	168
Figura 52	Perfil de alteração desenvolvido no Sistema 7, com definição das camadas de material transportado (A) e residual (B). Notar a presença de feições erosivas no material B	169
Figura 53	Material decorrente da alteração dos argilitos da Formação Corumbataí.	171
Figura 54	Vista geral do Sistema 9.	172
Figura 55	Vista geral de feição representativa do Sistema 10	172
Figura 56	Material de alteração do arenito da Formação Pirambóia, desenvolvido no Sistema 10	173
Figura 57	Forma de relevo típica do Sistema 12. Ao fundo, observa-se uma feição representativa do Sistema 9	174
Figura 58	Material inconsolidado presente no Sistema 12	174
Figura 59	Feições de relevo representativas do Sistema 13	175
Figura 60	Material de alteração desenvolvido no Sistema 13	176
Figura 61	Feição de relevo representativa do Sistema 14.	176
Figura 62	Perfil de solo (A) desenvolvido no Sistema 14 (Ponto 251) e detalhe do solo (B)	178
Figura 63	Feição de relevo representativa do Sistema 16.	179

Figura 64	Solo desenvolvido no sistema 16. Observar os níveis arenosos intercalados ao solo.	179
Figura 65	Colinas representativas do Sistema 17.	180
Figura 66	Vista geral do Sistema 20	181
Figura 67	Perfil de alteração do solo desenvolvido no Sistema 20. Observar a linha de seixo e os veios de quartzo alterados	182
Figura 68	Solo originado da alteração dos arenitos da Formação Pirassununga. Detalhe para o desenvolvimento de feições erosivas devido à exposição do solo	183
Figura 69	Solo desenvolvido a partir do tinguaíto. Observar os blocos intemperizados de rochas alcalinas	184
Figura 70	Feição representativa do Sistema 24. Notar presença de sulcos e ravinas que se encontram em desenvolvimento nas encostas	185
Figura 71	Perfil do solo de alteração do tinguaíto desenvolvido no Sistema 24.	186
Figura 72	Serra da Pedra Branca, feição representativa do Sistema 25. Ao pé da serra observa-se a cidade de Caldas (MG).	186
Figura 73	Vista em segundo plano das feições de relevo representativas do Sistema 26	187
Figura 74	Solo desenvolvido no Sistema 26. Notar os veios de quartzo em estado de alteração e a linha de seixo logo acima do veio.	188
Figura 75	Feição representativa do Sistema 27	189
Figura 76	Solo desenvolvido no Sistema 27. Notar a presença de linha de seixos	189
Figura 77	Voçoroca desenvolvida nos materiais de textura arenosa, pertencentes ao Sistema 27	190
Figura 78	Planície de inundação representativa do Sistema 28, desenvolvida sobre os terrenos cristalinos (Amorim, 2003).	190

Figura 79	Feições representativas do Sistema 29. Notar o desenvolvimento de ravinas nas encostas da colina.	191
Figura 80	Voçoroca desenvolvida no material de alteração dos quartzitos do Sistema 29	192
Figura 81	Solo residual existente no Sistema 30.	193
Figura 82	Vista geral do Sistema 32	194
Figura 83	Etapas adotadas no processamento das imagens de satélite.	196
Figura 84	Amostras de classes de uso e ocupação da bacia do Rio Pardo na composição de bandas 4-5-3	198
Figura 85	Área de pastagem intercalada com plantação de milho.	200
Figura 86	Área ocupada com a plantação de cana de açúcar no Estado de São Paulo (município de Cajurú)	201
Figura 87	Mata nativa, preservada nos topos dos morros. Observar na frente presença de área de pastagem e plantação de cana de açúcar	202
Figura 88	Pequena faixa de mata ciliar existente ao longo do Rio Pardo.	202
Figura 89	Reflorestamento de eucalipto presente na área. Observar a frente do reflorestamento, erosão que se instalou na área de pastagem.	203
Figura 90	Etapas da metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas “Ottobacias”	206

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Definições de Geologia Ambiental (Sobreira, 1995)	29
Tabela 2	Componentes x atributos fundamentais para Zoneamento Geoambiental (modificado de Zuquette, 1993).	39
Tabela 3	Forma de obtenção dos atributos necessários para a realização de trabalhos de natureza geoambiental	41
Tabela 4	Síntese das metodologias utilizadas nos estudos geoambientais	43
Tabela 5	Quantificação dos atributos das unidades de terreno (IPT, 1981)	49
Tabela 6	Dados utilizados para aplicações urbanas orientadas ao planejamento (Lombardo & Machado, 1996)	75
Tabela 7	Áreas de desenvolvimento de aplicação do sensoriamento remoto (Garcia, 1982)	80
Tabela 8	População da Bacia do Rio Pardo	99
Tabela 9	Pontos de amostragem para análise de qualidade da água da Bacia do Rio Pardo	101
Tabela 10	Resultado do IQA para a Bacia do Rio Pardo	101
Tabela 11	Resultado do IQA para o ponto BG-063 no período entre 1997 a 2000	102
Tabela 12	Sistema de captação de esgoto doméstico para o Estado de São Paulo	103
Tabela 13	Localização dos corpos receptores de efluentes industriais	104
Tabela 14	Forma de disposição final dos resíduos sólidos domésticos para os municípios paulistas	105
Tabela 15	Atividades de mineração desenvolvidas nos municípios paulistas da Bacia do Rio Pardo	108

Tabela 16	Atividades de mineração desenvolvidas nos municípios mineiros da Bacia do Rio Pardo	109
Tabela 17	Unidades de Conservação Ambiental, existentes na Bacia do Rio Pardo	110
Tabela 18	Sítios arqueológicos cadastrados na bacia do Rio Pardo	111
Tabela 19	Áreas de interesse turístico localizados nos municípios pertencentes a Bacia do Rio Pardo	112
Tabela 20	Municípios com ocorrências de inundação	113
Tabela 21	Localização das estações pluviométricas	114
Tabela 22	Dados de precipitação anual (mm) disponíveis no período de 1977 a 1996 para as estações pluviométricas consideradas neste estudo	116
Tabela 23	Matriz de correlação linear entre as estações pluviométricas incompletas	119
Tabela 24	Estações pluviométricas com as séries completas	122
Tabela 25	Dados para cálculo da precipitação média da Bacia do Rio Pardo através do Método dos Polígonos de Thiessen	127
Tabela 26	Classes de declividade adotadas para a área de estudo	132
Tabela 27	Projetos bases utilizados como referência para a geração do mapa do substrato rochoso	134
Tabela 28	Padrões de drenagem segundo Zernitz (1932) e Howard (1967)	155
Tabela 29	Critérios de reconhecimentos das formas de relevo (modificado de Lollo, 1996).	160
Tabela 30	Imagens de satélite Landsat - TM utilizadas para gerar o mapa de uso e ocupação	195
Tabela 31	Principais afluentes da Bacia do Rio Pardo e as respectivas áreas em Km ² de suas bacias hidrográficas	205
Tabela 32	Áreas calculadas para as bacias e interbacias definidas na compartimentação.	207
Tabela 33	Níveis de compartimentação aplicados para que as Ottobacias atingissem o grau de homogeneidade aceitável.	210
Tabela 34	Unidades de compartimentação e suas Ottobacias correspondentes	212
Tabela 35	Relação entre os problemas geoambientais existentes na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação	216
Tabela 36	Relação entre as possíveis fontes de poluição que ocorrem na Bacia do Rio	217

	Pardo e as unidades de compartimentação	
Tabela 37	Relação entre a exploração de água e mineral que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação.	218
Tabela 38	Relação entre os tipos de uso e ocupação do solo que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação	219
Tabela 39	Relação entre áreas de proteção ambiental e de interesse turístico e as unidades de compartimentação.	221
Tabela 40	Subgrupos definidos para a descrição das unidades de compartimentação	223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina
CEEIBH	Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNPM	Departamento Nacional de Pesquisa Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMATER	Empresa de Assistência Técnica a Extensão Rural
FAB	Força Aérea Brasileira
GANAP	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental

IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IG	Instituto Geológico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Águas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NUCLEBRAS	Empresas Nucleares Brasileiras S/A
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SHR	Secretaria de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USAF	United States Air Force
USGS	United States Geological Survey

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I	Mapa de Documentação
ANEXO II	Mapa Topográfico
ANEXO III	Carta de Declividade
ANEXO IV	Mapa de Substrato Rochoso
ANEXO V	Mapa de Domínios de Drenagem
ANEXO VI	Mapa de <i>Landforms</i>
ANEXO VII	Mapa de Uso e Ocupação do Solo
ANEXO VIII	Carta de Compartimentação de Ottobacias
ANEXO IX	Carta de Unidades de Compartimentação do Meio Físico
ANEXO X	Tabelas Descritivas das Unidades de Compartimentação do Meio Físico

RESUMO

FONTES, Silvana Brandão. **Estudo geoambiental da Bacia do Rio Pardo, a partir da compartimentação em Ottobacias – escala 1:100.000**. 2004. Tese de Doutorado- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho apresenta um método de análise e compartimentação do meio físico que combina a subdivisão em Ottobacias (Pfafstetter, 1987) com Cartografia Geotécnica. Inicialmente a bacia foi dividida em 9 áreas, representadas pelas 4 maiores sub-bacias do Rio Pardo e as 5 áreas restantes, denominadas Interbacias. Em seguida, as informações dos atributos, substrato rochoso, materiais inconsolidados, declividade, drenagem e *landforms*, obtidos por técnicas de Cartografia Geotécnica, foram analisados em cada uma dessas unidades. Aquelas que não apresentaram predomínio de pelo menos 70%, quanto aos atributos analisados, foram subdivididas até atingirem este nível de homogeneidade. Na última etapa, as Ottobacias obtidas foram reagrupadas de maneira a se obter as unidades de compartimentação, respeitando semelhanças entre elas de pelo menos 70% dos atributos analisados. Esta compartimentação conduziu a obtenção de 90 unidades, pertencentes a 15 subgrupos que tiveram suas aptidões e restrições geoambientais analisadas. Este procedimento de compartimentação e análise mostrou-se adequado ao estudo em escala regional, principalmente em bacias de grandes dimensões, como é o caso da Bacia do Rio Pardo, fornecendo as bases para um estudo Geoambiental mais detalhado.

Palavras chave: Zoneamento Geoambiental; Compartimentação do Meio Físico; Metodologia Ottobacias; Cartografia Geotécnica.

ABSTRACT

FONTES, Silvana Brandão. **Geoenvironmental study of Pardo River Basin from Ottobacias compartmentalization – scale 1:100.000**. 2004. Tese de Doutorado- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

This work presents a method of analysis and compartmentalization of the environment that combines the subdivision in Ottobacias (Pfafstetter, 1987) with Engineering Geological Mapping. Initially the basin was divided in 9 areas, represented by the 4 larger Pardo River sub-basins and the remaining 5 areas called Interbasins. Furthermore, the characteristics of the attributes, rocky substratum, unconsolidated materials, slope, drains and landforms were obtained by Engineering Geological Mapping and then analyzed in each one of these units. The areas that have not predominance of at least 70%, for the analyzed attributes, were subdivided until reaching this level of homogeneity. In the last stage, the obtained Ottobacias were regrouped in order to have compartments with similarities at least 70%, considering the analyzed attributes. This compartmentalization leads to the attainment of 90 units. These units belong to 15 sub-groups which their aptitudes and geoenvironmental restrictions were further analyzed. This compartmentalization procedure and analysis were shown to be adequate for regional scales investigation, mainly in basins of great dimensions, as it is the case for the Pardo River Basin. This compartmentalization and analyses provide bases for more detailed Geoenvironmental studies.

Key-words: Geoenvironmental Zonning; Compartmentalization Environment; Ottobacias Metodology; Engineering Geological Mapping.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Dentre as questões ambientais, o gerenciamento dos recursos hídricos tem atualmente ganhado importante destaque uma vez que a escassez da água é uma realidade conhecida e os conflitos envolvendo seus múltiplos usos são cada vez mais constantes.

Em um cenário onde a utilização dos recursos hídricos tem sido feita de forma crescente, torna-se necessário que a política de planejamento tenha um papel significativo na conservação do meio ambiente. Assim, para a operacionalização da Política Nacional dos Recursos Hídricos, foram instituídos instrumentos, que tem por função auxiliar na implementação desta política (Mariano, 1993).

Um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente é o Zoneamento Ambiental que propõe a divisão de uma área geográfica em setores nos quais, depois da devida deliberação, certas atividades de uso e ocupação serão permitidas ou não, de maneira que as necessidades antrópicas de alterações físicas e biológicas dos recursos naturais se harmonizem com as de conservação do meio ambiente (Griffth *et al.*, 1995 *apud* Alvarenga, 1997).

O Zoneamento Geoambiental, instrumento técnico constituído pelas técnicas do Zoneamento Ambiental, tem por objetivo auxiliar o planejamento territorial e ordenar a utilização dos recursos, através da obtenção de informações referentes ao meio físico e da definição de unidades geoambientais, proporcionando parâmetros e referências para uma reavaliação permanente do processo de planejamento.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudos geoambientais, tem tido um amplo avanço no Brasil, uma vez que as feições e os processos que atuam no terreno têm grande ligação com regiões da bacia e muitas vezes são condicionados pela forma da superfície e do fluxo da água, que ocorrem associados aos materiais inconsolidados e rochosos.

A Bacia do Rio Pardo tem sido alvo de um aumento excessivo da utilização dos recursos naturais, muitas vezes sem conhecimento prévio de suas potencialidades e suas limitações. Isto se deve principalmente ao aumento da população dos municípios que se localizam dentro de sua área e do crescente desenvolvimento econômico que esses municípios têm apresentado.

O Rio Pardo tem demonstrado sinais de impacto ao longo do seu curso, comprometendo a qualidade ambiental da bacia. As intensas atividades de uso e ocupação que são desenvolvidas na área refletem no rio de forma direta, enfatizando cada vez mais a importância da política de planejamento como forma de atenuar as reações que o meio físico apresenta, frente às solicitações de uso e ocupação.

Atualmente, esta política tem sido aplicada na porção paulista da bacia pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Pardo, que tem atuado na busca de um equilíbrio entre a utilização dos recursos naturais e a conservação do meio ambiente.

Procura-se neste trabalho promover a compartimentação da Bacia do Rio Pardo em unidades que contemplem tanto os aspectos relacionados ao meio físico como ambiental e assim fornecer subsídios para um estudo geoambiental.

Para isso, propõe-se a utilização do método de compartimentação e codificação de bacias hidrográficas, denominado de Ottobacias (Pfafstetter, 1987) com o objetivo de definir unidades de compartimentação do terreno que quando tratadas individualmente apresentem um comportamento homogêneo em relação aos atributos analisados.

O objetivo principal do trabalho é estabelecer um método de análise que associe a divisão em Ottobacias com as informações obtidas em trabalhos de Mapeamento Geotécnico e que permita obter unidades de compartimentação para o Zoneamento Geoambiental. Como ferramentas auxiliares foram utilizados *softwares* buscando assim, otimizar e tratar as informações de maneira rápida e precisa.

CAPITULO 2

REVISAO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.1.1 - Histórico e evolução

Segundo Barbieri (1997), a preocupação com os problemas ambientais decorrentes dos processos de crescimento e desenvolvimento econômico ocorreu lentamente e de modo diferenciado entre os diversos agentes, indivíduos, organizações e entidades da sociedade civil e governamental. Para o autor a evolução da preocupação com os problemas ambientais ocorreu basicamente em três etapas:

- Percepção dos problemas ambientais localizados e atribuídos à ignorância, negligência, dolo ou indiferença das pessoas e dos agentes produtores e consumidores de bens e serviços.
- Visão da degradação ambiental como um problema generalizado, porém confinado nos limites territoriais dos estados nacionais. Nesta fase a gestão inadequada dos recursos foi apontada como a causa básica das degradações.
- Percepção da degradação ambiental como sendo um problema comum que atinge todo o planeta e que decorre do tipo de desenvolvimento praticado pelos países.

Durante a década de 60, desenvolvimento era sinônimo de crescimento econômico, sendo que a poluição e a degradação ambiental eram vistas como conseqüências inevitáveis deste desenvolvimento. Com o objetivo de aumentar o desenvolvimento econômico, vários

países desenvolveram-se sem se preocupar com as conseqüências geradas, como por exemplo, o agravamento dos conflitos sociais, deterioração da qualidade de vida, exaustão dos recursos naturais, etc.

A partir da década de 60 a preocupação com os problemas ambientais, despertou o interesse de acadêmicos de diversas áreas do conhecimento, levando assim ao aparecimento de inúmeras teorias, predições e exercícios teóricos sobre a relação entre desenvolvimento econômico e meio ambiente (Alvarenga, 1997).

Com o objetivo de discutir os problemas, em 1969, o governo da Suécia, propôs à Organização das Nações Unidas (ONU), a realização de uma conferência internacional.

Nos anos 70, a comunidade internacional começou a se conscientizar sobre a incompatibilidade entre o modelo de crescimento econômico e a manutenção da qualidade ambiental. Meio Ambiente e desenvolvimento econômico, passaram a ser vistos como itens complementares e não mais mutuamente exclusivos, criando assim uma consciência de que o planeta oferece limites de exploração dos recursos naturais e que estes limites devem ser considerados em favor da própria manutenção da espécie humana no futuro. Com isso, começaram a ser dados os primeiros passos em direção a essa nova visão.

Em 1971, foi realizada em Founex, na Suíça uma reunião preparatória à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, idealizada em 1969 e que seria realizado em 1972 em Estocolmo. Esta reunião teve por objetivo identificar os principais problemas ligados ao meio ambiente e ao desenvolvimento econômico e apoiar os países pobres na discussão de suas perspectivas ambientais visando assim, contribuir para os debates que seriam realizados na conferência que aconteceria no ano seguinte (Vieira, 1992).

Finalmente, em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foi apontada a necessidade de priorizar as questões ambientais, buscando assim, atingir um desenvolvimento econômico sem colocar em risco a prioridade de vida do ser humano (Busato, 1996). Nesta conferência foi discutida a existência de uma conscientização sobre os perigos que o modelo atual de desenvolvimento econômico significaria para o futuro das próximas gerações. Porém, mesmo estando clara esta

conscientização, durante a conferência, duas posições entraram em confronto: uma conservacionista, dos países ricos que defendiam crescimento zero e a outra posição defendida pelos países pobres, que lutavam por melhores condições de vida (Vieira, 1992).

O Brasil liderou o bloco de países pobres, argumentando ser injusto existir uma interrupção no processo de crescimento econômico para os países em desenvolvimento e subdesenvolvidos (Pereira, 1999). Como resultado deste debate, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), com o objetivo de apoiar os esforços internacionais de preservação e melhoramento ambiental através do desenvolvimento econômico (Vieira, 1992), além de conciliar os processos de desenvolvimento econômico com preservação ambiental, criando assim a expressão ecodesenvolvimento.

Para Diegues (1989, *apud* Alvarenga, 1997) a Conferência de Estocolmo foi considerada um marco não somente por ter dado forma a uma consciência global sobre os problemas ambientais, como também, por introduzir uma discussão crítica em nível mundial sobre os modelos de desenvolvimento.

A partir dos anos 80, o movimento ambientalista se estruturou e ganhou repercussão mundial. Começaram a surgir, organizações ambientais não governamentais, denominadas ONG's e conhecidas por serem entidades civis sem fins lucrativos e que desempenham um importante papel na causa ambiental, atuando como grupos de pressão junto aos poderes econômicos e políticos e de conscientização junto à sociedade, ou como gestoras de programas de conservação de reservas naturais, pesquisa científica e educação ambiental. (VIEIRA, 1992).

Em 1980 foi criado um documento denominado *World Conservation Strategy*, elaborado por solicitação do PNUMA e no qual foi constatado pela primeira vez a existência da expressão “Desenvolvimento Sustentável” que aos poucos substituiu o termo ecodesenvolvimento. Este documento enfatizava também que numa estratégia mundial para a conservação da natureza devem ser alcançados três objetivos (Barbieri, 1997):

- Manutenção dos processos ecológicos essenciais e dos sistemas naturais vitais necessários à sobrevivência e ao desenvolvimento do ser humano;

- Preservação da diversidade genética;
- Manutenção do aproveitamento sustentável das espécies e dos ecossistemas que constituem a base da vida humana.

Com o objetivo de fazer valer os princípios do PNUMA, em 1983, a Assembleia Geral da ONU criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), também conhecida como Comissão *Brundtland*. Esta comissão tinha por objetivo:

- Propor estratégias ambientais de longo prazo, visando obter um desenvolvimento sustentável até o ano 2000 e daí em diante, manter este equilíbrio;
- Recomendar maneiras para que a preocupação com o meio ambiente se traduza em uma cooperação entre os países em desenvolvimento e os países desenvolvidos, levando-os a objetivos comuns;
- Considerar meios e maneiras pelas quais a comunidade internacional possa lidar mais eficientemente com as preocupações de cunho ambiental;
- Ajudar a definir noções comuns relativas a questões ambientais de longo prazo e os esforços necessários para tratar com êxito os problemas da proteção e da melhoria do meio ambiente.

Durante o período de 1983 a 1987 a CMMAD, pesquisou a situação de degradação ambiental e econômica da Terra e em 1987, em uma assembleia geral, a ONU, com o objetivo de analisar e propor ações sobre o assunto, publicou o relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório *Brundtland*. Este relatório foi considerado o principal tratado sobre Desenvolvimento Sustentável e buscou enfatizar (Cavalcanti, 1988 *apud* Alvarenga, 1997):

- A importância da participação da sociedade como um todo na tomada de decisões pertinentes às questões ambientais;

- As mudanças econômicas e políticas exigidas para que ocorra a implantação de estratégias de Desenvolvimento Sustentável;
- A necessidade da cooperação internacional na busca de soluções para enfrentar os desafios relacionados com a questão ambiental em todo mundo.

O Relatório *Brundtland* argumenta ainda que o desenvolvimento sustentável como solução dos problemas ambientais só será alcançado se houver mudança do sistema econômico internacional, eliminação da pobreza, satisfação das necessidades básicas de alimentação, saúde e habitação e a definição de uma nova matriz energética que privilegie as fontes renováveis e a inovação tecnológica (Vieira, 1992).

Com todas essas iniciativas, o conceito de Desenvolvimento Sustentável começou a evoluir, propondo modificações no conceito de progresso aceito, debatendo e questionando o tipo de desenvolvimento até então obtido.

Sendo assim, o Desenvolvimento Sustentável foi definido como o processo de utilização dos recursos naturais de forma a atender as necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras (Cerucci, 1998).

Nesse processo de amadurecimento e reconhecimento da interdependência entre meio ambiente, crescimento econômico e desenvolvimento, foi observada a amplitude global que os problemas originados por uma má relação entre esses fatores poderiam ocasionar. Com o objetivo de debater sobre esses fatores, foi realizada em 1992 no Rio de Janeiro, uma nova conferência mundial denominada Rio-92.

Anteriormente à Rio-92, foi realizada em 1991 no México, uma reunião cuja finalidade era apresentar a posição e expectativas dos países da América Latina e Caribe em relação aos subtemas que seriam debatidos durante a Conferência do Rio, além de ressaltar preocupações específicas da região com a dívida externa e o conseqüente agravamento da pobreza, deterioração da qualidade ambiental e impacto sobre as instituições democráticas. Frente a estes aspectos, foi proposto nesta reunião (Vieira, 1992): a criação de mecanismos especiais (tecnológicos e financeiros) para apoio aos programas ambientais dos países pobres; o fim das barreiras ao comércio internacional e a definição de novos critérios para

avaliação das contas nacionais, de modo que a degradação ambiental seja considerada como depreciação de capital.

Em 1992 foi realizada no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). Esta conferência foi considerada a maior reunião de chefes de governo promovido pela ONU e onde foram debatidos temas sobre meio ambiente e desenvolvimento. O principal objetivo desta conferência era que os países participantes assumissem definitivamente o conceito de Desenvolvimento Sustentável (Alvarenga, 1997). Nesta conferência foi registrado também o aumento da consciência sobre os perigos que o modelo atual de desenvolvimento econômico significava, consolidando assim o Desenvolvimento Sustentável como resultante de uma nova filosofia do desenvolvimento, que combina eficiência econômica com justiça social e prudência econômica.

Um dos temas de amplo debate durante a Conferência (Rio-92) foi a importância da participação da sociedade civil na tomada de decisão e implementação de ações em prol do desenvolvimento sustentável.

A CNUMAD teve como resultado a aprovação de vários documentos envolvendo convenções e declarações de princípio e a criação da Agenda 21, que é considerada um dos resultados mais importantes. Além da Agenda 21 foram assinados também os seguintes documentos:

- Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento;
- Princípio para a Administração Sustentável das Florestas;
- Conservação da Biodiversidade;
- Conservação sobre Mudança do Clima.

A Agenda 21 (atualmente Programa 21 pela ONU) foi criada por representantes (governo e instituições da sociedade civil) de 179 países, durante um período de 2 anos e é definida como um plano de ação para alcançar os objetivos do Desenvolvimento

Sustentável. É uma espécie de consolidação de diversos relatórios, tratados, protocolos e outros documentos elaborados durante décadas na esfera da ONU (Barbieri, 1997).

Constitui uma lista de atividades a serem seguidas como forma de dar ao Desenvolvimento Sustentável condição de se estabelecer em todo o mundo. A Agenda 21 procura reafirmar posicionamentos presentes no Relatório *Brundtland*, como a questão da importância da participação da sociedade civil através das ONG's e de outros grupos considerados relevantes na tomada de decisões relativas a espaços comuns e a busca por um novo padrão de desenvolvimento (Alvarenga, 1997).

Em termos gerais a Agenda 21 é um processo de planejamento participativo que analisa a situação atual de um país, Estado, município e/ou região, e planeja o futuro de forma sustentável. Tem o objetivo de preparar o mundo para os desafios do próximo século, refletindo um consenso mundial e um compromisso político de nível elevado no que diz respeito a desenvolvimento e cooperação ambiental. Para que seus objetivos sejam alcançados com êxito, é necessário, antes de tudo, que os governos assumam as responsabilidades perante a sua execução, sendo de extrema importância a aplicação de estratégias, planos, políticas e processos nacionais, determinados por cada Governo. Cabe também, a existência de um apoio internacional, que deverá complementar tais esforços nacionais, bem como a participação de outras organizações internacionais, regionais e sub-regionais e também a ampla participação pública e o envolvimento ativo das organizações não-governamentais e de outros grupos (Integra da Agenda 21, 2000).

Para que a execução dos objetivos da Agenda 21 seja eficaz, torna-se imprescindível a sua adaptação para planos nacionais, de modo que expresse melhor a condição específica de cada país. Porém, em países em desenvolvimento, o cumprimento dos objetivos da Agenda 21, depara-se com um fator agravante, a não existência de um fluxo substancial de recursos financeiros novos e adicionais, destinados a cobrir os custos necessários às ações que esses países deverão empreender na procura da resolução dos problemas ambientais e na busca do desenvolvimento sustentável.

Basicamente, a Agenda 21 constitui um documento formado por 40 capítulos. Cada capítulo diz respeito às áreas de programas a serem desenvolvidos e são descritos em

termos de bases para a ação, objetivos, atividades e meios de implementação destes programas.

Especificamente, no capítulo 18 da Agenda 21, cujo título é “Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos”, são apresentados incisos que dispõe sobre a conservação dos recursos hídricos para o desenvolvimento.

Sendo a água um bem de extrema importância e essencial à vida, a Agenda 21, no contexto do capítulo 18, busca assegurar como objetivo geral, que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preserve a função hidrológica, biológica e química dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza e combatendo vetores de moléstias relacionadas a água.

A escassez generalizada, a destruição gradual e o agravamento da poluição dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo, paralelamente à implantação progressiva de atividades incompatíveis, exigem o planejamento e o manejo integrado desses recursos (Barbieri, 1997), que por sua vez deve cobrir todos os tipos de massas de água doce (superficial e subterrânea) e levar em consideração tanto os aspectos qualitativos como os quantitativos.

Para o setor de águas doces, a Agenda 21, propõe as seguintes áreas de programas:

- Desenvolvimento e manejo integrado dos recursos hídricos;
- Avaliação dos recursos hídricos;
- Proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos;
- Abastecimento de água potável e saneamento;
- Sustentabilidade da água e desenvolvimento urbano;
- Água para produção sustentável de alimentos e desenvolvimento rural sustentável;
- Impactos da mudança do clima sobre recursos hídricos.

O inciso 18.9 do capítulo 18 da Agenda 21 dispõe sobre a importância da utilização da bacia hidrográfica no gerenciamento dos recursos hídricos:

Inciso 18.9.: “O manejo integrado dos recursos hídricos, inclusive a integração de aspectos relacionados à terra e à água, deve ser feito através das bacias ou sub-bacias de captação. Quatro objetivos principais devem ser esperados (Integra da Agenda 21, 2000):

1) Promover uma abordagem dinâmica, interativa e multisetorial do manejo dos recursos hídricos, incluindo a identificação e proteção de fontes potenciais de abastecimento de água doce que abarquem considerações tecnológicas, sócio-econômicas, ambientais e sanitárias;

2) Desenvolver planos para a utilização, proteção, conservação e manejo sustentável e racional do quadro da política nacional de desenvolvimento econômico;

3) Traçar, implementar e avaliar projetos e programas que sejam economicamente eficientes e socialmente adequados no âmbito de estratégias definidas com clareza, baseadas numa abordagem que inclua ampla participação pública, inclusive da mulher, da juventude, das populações indígenas e das comunidades locais, no estabelecimento de políticas e nas tomadas de decisão do manejo hídrico;

4) Identificar e desenvolver, particularmente nos países em desenvolvimento, os mecanismos institucionais, legais e financeiros adequados para assegurar que a política hídrica e sua implementação seja um catalisador para o progresso social e o crescimento econômico sustentável.

Também na Agenda 21 o capítulo 30, cujo tema é “Fortalecimento do papel do comércio e da indústria” enfatiza que as empresas e suas entidades devem reconhecer o manejo do meio ambiente como uma das suas mais altas prioridades e como fator determinante para o Desenvolvimento Sustentável.

Preocupados com a crescente influência das atividades industriais no meio ambiente, a comunidade internacional julgou de fundamental importância que as empresas se adequassem tanto na parte operacional como no gerenciamento de seu processo produtivo, a fim de buscar um certo equilíbrio entre a utilização dos recursos naturais e o

desenvolvimento econômico. Neste contexto, as empresas pressionadas pela sociedade por uma melhoria na qualidade de vida, começaram a passar por uma transformação. Onde antes as preocupações se resumiam apenas ao setor econômico, começaram a ter lugar as questões sócio-ambientais.

Sob a crescente pressão mundial, as indústrias do mundo inteiro foram buscar uma resposta que tanto pudesse ser útil aos negócios quanto contribuísse para a melhoria do desempenho ambiental.

Com sede em Genebra na Suíça, a *International Organization for Standardization* (ISO) é uma organização internacional, não governamental que foi fundada em 1946, cujos membros são entidades normativas de âmbito nacional provenientes de 111 países e que tem por objetivo desenvolver normas de fabricação, comércio e comunicação. A participação no desenvolvimento de normas ISO varia de país a país. O Brasil participa da ISO através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é uma sociedade privada, sem fins lucrativos, tendo como associados pessoas físicas e jurídicas. A ABNT é reconhecida pelo Governo brasileiro, como Foro Nacional de Normalização.

A ISO começou a ter um papel significativo no cotidiano das empresas e com a publicação da série ISO 9000, relacionadas à gestão e garantia da qualidade, adquiriu um forte impulso (Bogo, 1998).

Dando continuidade às normas de qualidade e produtividade (ISO 9000), a partir de 1993, com o objetivo de harmonizar as normas de gestão ambiental existentes nos níveis nacionais e regionais, estabelecer padrões para avaliar o desempenho das empresas em relação ao meio ambiente e estabelecer critérios para a rotulagem ambiental, a ABNT passou a elaborar através de seu Comitê Técnico 207, uma série de normas sobre gestão ambiental, conhecida como a série ISO-14000. Essa série visa abordar a gestão ambiental através de normas sobre:

- 1) Sistemas de gestão ambiental;
- 2) Avaliação do desempenho ambiental;
- 3) Auditoria ambiental;

- 4) Avaliação do ciclo de vida do produto;
- 5) Rotulagem ambiental;
- 6) Aspectos ambientais em normas de produto.

As três primeiras normas estão voltadas para a organização enquanto as demais para avaliar produtos e processos (Figura 1)

Figura 1 - Estrutura das normas ISO 14000 (Barbieri, 1997)

Com isso, para que um produto se torne de qualidade, é preciso que a sua produção tenha sido feita com qualidade ambiental, visando diminuir desperdícios, efluentes e consumo de energia (Busato, 1996).

Atualmente, as normas que constituem a ISO série 14000 encontram-se descritas a seguir, sendo que as que se encontram em estágio avançado são as que dizem respeito ao Sistema de Gestão Ambiental e as de Auditoria Ambiental.

- ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental - Especificações para implantação e guia (NBR desde 02/12/96)

- ISO 14004: Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) - Diretrizes gerais (NBR desde 02/12/96)
- ISO 14010: Guia para auditoria ambiental - Diretrizes gerais (NBR desde 30/12/96)
- ISO 14011-1: Diretrizes para a auditoria ambiental e procedimentos para auditoria. Parte 1: Princípios gerais para auditoria dos SGA's (NBR desde 30/12/96)
- ISO 14012: Diretrizes para auditoria ambiental - Critérios de qualificação de auditores (NBR desde 30/12/96)
- ISO 14020: Rotulagem ambiental - Princípios básicos
- ISO 14021: Rotulagem ambiental - Termos e definições para aplicação específica
- ISO 14022: Rotulagem ambiental - Simbologia para os rótulos
- ISO 14023: Rotulagem ambiental - Testes e metodologias de verificação
- ISO 14031: Avaliação da performance ambiental do sistema de gerenciamento
- ISO 14032: Avaliação da performance ambiental dos sistemas de operação
- ISO 14040: Análise do ciclo de vida - Princípios gerais e prática
- ISO 14041: Análise do ciclo de vida – Inventário
- ISO 14042: Análise do ciclo de vida - Análise dos impactos
- ISO 14043: Análise do ciclo de vida - Mitigação dos impactos
- ISO 14050: Termos e definições
- ISO 14060: Guia de inclusão dos aspectos ambientais nas normas de produto
- ISO 14070: Diretrizes para o estabelecimento de impostos ambientais

No Brasil foi criado um Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), instituído no âmbito da ABNT e que representa o país nas reuniões de cada um dos subcomitês da ISO-14000. É constituído por empresários, instituições de pesquisa e ensino, órgãos públicos e técnicos, que participam de todas as fases do processo de formulação de uma norma. Este grupo tem por objetivo avaliar as consequências das normas sobre as atividades industriais do país. O GANA visa também propor alternativas que se adaptem à realidade brasileira, sem prejudicar o objetivo de conservar e proteger a natureza (Busato, 1996).

Em setembro de 2002, foi realizada em Johannesburg, África do Sul a reunião de Cúpula Mundial para o Desenvolvimento Sustentável. Esta reunião foi denominada de Rio + 10, contou com a participação de 189 países e teve por objetivo avaliar os progressos desenvolvidos durante os últimos dez anos desde a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio de Janeiro e ainda definir metas para alguns dos principais problemas ambientais dentre os quais os relacionados a mudanças climáticas, crescimento da pobreza, escassez dos recursos hídricos, etc. O encontro terminou com poucos avanços e foi concluído com a idéia de que o desenvolvimento sustentável é um projeto grande e caro para a atual situação econômica em que se encontram os países participantes (Pereira Jr, 2002).

2.1.2 - A política ambiental no Brasil

A economia brasileira, desde os tempos coloniais, foi caracterizada por ciclos que enfatizavam a exploração de determinados recursos naturais, fazendo com que a percepção e o valor atribuídos aos recursos naturais tivessem um papel mais decisivo nos processos de tomadas de decisões do que para a visão científica do meio ambiente. Com a mudança no conceito de desenvolvimento, surgem novos critérios voltados para o estabelecimento dos níveis de desenvolvimento das nações, tendo como base ora o desenvolvimento humano, ora a sustentabilidade ambiental e social.

Nos anos 50, a industrialização, a implantação de grandes projetos de infra-estrutura e a exploração de recursos minerais e agropecuários para fins de exportação, buscava

privilegiar o crescimento econômico em curto prazo, mediante a modernização acelerada dos meios de produção, produzindo uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente, tais como: superexploração dos recursos naturais; poluição do ar, da água e do solo; problemas de erosão e assoreamento de cursos d'água; desmatamento indiscriminado, etc. Outros fatores, como o processo acelerado de urbanização e a falta de uma política urbana, conduziram a uma profunda degradação do ambiente urbano (Monosowski, 1989).

Buscando apresentar uma abordagem da história da política ambiental no Brasil, Monosowski (1989) e Vieira (1992), se completam quando enfatizam a existência de três fases que compreendem o período que vai de 1934 até 1988 e Vieira (1992), complementa esta abordagem ao descrever a fase correspondente ao período que compreende o período de 1989 a 1992. De acordo com estes autores as fases que marcaram a política ambiental no Brasil são:

1ª Fase (1934 a 1972):

Com a adoção do Código das Águas, do Código da Mineração e do Código Florestal em 1934, teve início um período em que foram estabelecidas ações por parte do governo no campo das políticas ambientais e que durou até as repercussões internas da Conferência de Estocolmo em 1972.

A estratégia adotada nesta fase foi a administração dos recursos naturais através da racionalização do uso e da exploração dos recursos naturais (água, fauna e flora) e da regulamentação das atividades extrativas (pesca e exploração mineral).

As principais leis que foram aprovadas nesta fase foram:

Decreto nº 24.643/34: instituiu o Código de Águas;

Lei nº 4.118/62: instituiu a Política Nacional da Energia Nuclear;

Lei nº 4.504/64: instituiu o Estatuto da Terra;

Lei nº 4.771/65: instituiu o Código Florestal;

Lei nº 4947/66: estabeleceu as normas do direito agrário;

Lei nº 5.197/67: decretou a Proteção e Conservação da Fauna;

Lei nº 5.318/67: instituiu a Política Nacional de Saneamento;

Decreto-Lei nº 221/67: instituiu o Código de Pesca;

Decreto-Lei nº 227/67: instituiu o Código de Minas.

2ª Fase (1973 a 1980):

Esta fase foi marcada pela criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA,) que teve por objetivo cuidar da conservação do meio ambiente e do uso racional dos recursos naturais. Os recursos naturais passaram a ser vistos como suporte de vida e não apenas como fonte de recursos.

Nesta fase, foi adotado o sistema de gerenciamento e a opção por uma abordagem apenas tecnológica das questões ambientais, reduzindo-as aos limites de poluição industrial (Vieira, 1992).

Os principais registros da administração brasileira nesta fase foram:

- Decreto nº 73.030/73: criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente;
- Decreto-lei nº 1.413/75 e Decreto nº 76.389/75: dispõem sobre o controle da poluição industrial, transferindo da SEMA para a Presidência da República a competência de aplicação de sanções aos infratores;
- Lei nº 6225/75: institui o Programa Nacional de Conservação dos Solos (PNCS);
- Decreto nº 81.107/77: transfere para a Presidência da República, em detrimento da autoridade da SEMA, o controle do impacto efetivo e potencial das atividades das empresas estatais e indústrias de base sobre o ambiente;
- Lei nº 6746/79: modifica o estatuto da terra;
- Lei nº 6766/79: dispõe sobre o parcelamento do solo urbano.

3ª Fase (1981 a 1991):

Nesta fase, começou a existir uma maior politização por parte do governo no que diz respeito às questões ambientais. Os legisladores tentaram conciliar a preservação dos recursos naturais com o desenvolvimento econômico. A população começou a participar do processo de gestão ambiental, opinando no processo de licenciamento de atividades capazes de causar impactos sobre o meio ambiente (Vieira, 1992).

Um dos principais marcos dessa fase foi a promulgação em 1981 da Lei nº 6.938, que dispôs sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), seus fins e mecanismos de formação e aplicação.

De acordo com o artigo 2º da referida lei, “a PNMA foi criada com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar ao país, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana” (Instituto Ambiental Vidágua – Lei nº 6938/81).

Dentre os princípios da Política Nacional do Meio Ambiente, destaca-se o equilíbrio ecológico, o planejamento do uso do solo, o controle e o zoneamento de atividades poluidoras, desenvolvimento de tecnologias de proteção aos recursos naturais, recuperação de áreas degradadas e a educação ambiental (Mariano, 1993).

Para a operacionalização e implementação da PNMA foram instituídos instrumentos que são definidos pelo artigo 9º da PNMA e são relacionados pelo decreto no 99224 de 06/06/90. Os doze instrumentos definidos são:

I – o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II – o zoneamento ambiental;

III – a avaliação de impactos ambientais;

IV – o licenciamento e a revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras;

V – os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia voltada para a melhoria da qualidade ambiental;

VI – a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo poder público Federal, Estadual e Municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas;

VII – o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;

VIII – o Cadastro Técnico Federal das Atividades e instrumentos de defesa ambiental;

IX – as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;

X – a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado, anualmente, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA;

XI – a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;

XII – o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais.

A inclusão de um capítulo sobre meio ambiente na Constituição Federal promulgada em 1988 e de uma cópia de dispositivos legais correlatos consolidou a PNMA e seus instrumentos, caracterizando e delimitando o campo de responsabilidades do Estado e da sociedade em relação à questão ambiental (Monosowski, 1989; Pereira, 1999).

Posteriormente, foram criados o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgãos consultivos e deliberativos, que congregam os órgãos governamentais e não governamentais.

O CONAMA teve por atribuições estabelecer normas e critérios para licenciamento de atividades poluidoras e determinar a realização de estudos alternativos e das conseqüências de projetos públicos e privados. Em 1986 através da Resolução 001, o CONAMA regulamentou o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), estabelecendo os critérios e as normatizações para o licenciamento de implantação de grandes empreendimentos (Cunha & Guerra, 1996).

Destacam-se ainda como resultados da administração brasileira nesta fase:

Lei nº 6.902/81: criação de áreas de proteção ambiental e estações ecológicas;

Decreto nº 9.4076/87: estabeleceu o Programa Nacional de Micro-Bacias Hidrográficas (PNMH);

Lei nº 7.661/88: instituiu o Gerenciamento Costeiro;

Lei nº 7.735/89: extinguiu a SEMA e cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA)

Lei nº 7.803/89: alterou a Lei nº 4.771/65 que instituiu o Código Florestal

Lei nº 8.028/90: define atribuições e estrutura da Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República (Seman/PR) e extingue o Conselho Superior do Meio Ambiente.

Lei nº 7.663 /91: dispôs sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos, que tem por objetivo assegurar que o uso da água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, possa ser controlado e utilizado em padrões de qualidade satisfatórios por seus usuários atuais e pelas gerações futuras;

Lei nº 8171/91: dispôs sobre a Política Agrícola, colocando a proteção do meio ambiente ente seus objetivos e como um de seus instrumentos;

Lei Estadual nº 7641/91: elaboração e implementação de um macrozoneamento que contenha diretrizes sócio econômicas e ambientais para ordenar seu desenvolvimento.

4ª Fase (1992 a 2004):

Do ano de 1992 até os dias atuais, a Política Nacional do Meio Ambiente vem se desenvolvendo gradativamente. Segundo Pereira (1999) a realidade brasileira mostra que existem sérias dificuldades para a implementação da atual política de meio ambiente. O

descaso, a protelação, a burocracia com que são tratadas as questões essenciais como saúde, educação, emprego e as questões ambientais, refletem essa realidade.

Durante este tempo, a Legislação Ambiental Brasileira destaca como alguns resultados de sua administração:

Decreto nº 750/93: dispõe sobre o corte, a exploração e supressão da Mata Atlântica;

Lei nº 8.723/93: redução da emissão de poluentes por veículos automotores;

Lei nº 9.433/97: instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;

Lei nº 9.605/98: institui a Lei de Crimes Ambientais;

Lei nº 9.795/99: institui a Política Nacional de Educação Ambiental;

Decreto nº 3.179/99: regulamenta a Lei de Crimes Ambientais;

Lei nº 9.984/2000: dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA;

Lei nº 9.985/2000: institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

Resolução CONAMA 273/2000: estabelece que toda instalação e sistema de armazenamento e distribuição de gasolina ou outro tipo de combustível, são considerados empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais. Assim, devem-se adequar as instalações, de modo que obtenham as licenças prévias, de instalação e de operação e por fim o certificado e conformidade para o funcionamento do empreendimento

2.1.3 - Recursos hídricos e legislação no Brasil

Dentre as questões ambientais, o gerenciamento dos recursos hídricos tem ganhado bastante destaque, já que a escassez das águas é uma realidade conhecida e os conflitos envolvendo seus múltiplos usos são cada vez mais constantes. Para garantir um aproveitamento presente e futuro dos recursos hídricos em bases sustentáveis, várias decisões vêm sendo tomadas nos últimos anos no nível federal e também estadual (Costa, 1998).

No Brasil a legislação referente aos recursos hídricos, teve início em 1934, quando foi decretado no dia 10 de julho, o Código de Águas – Lei nº 24.643. Este código teve por objetivo dotar o país de uma legislação adequada, que de acordo com a tendência da época, permitisse ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas.

Porém, este tratado foi regulamentado somente no que se referia às questões relativas ao uso da água para aproveitamento energético, ignorando o estabelecimento de leis para os demais usos.

Nos anos 70, deu-se início a alguns princípios básicos de gestão. A necessidade de promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, a definição de bacias hidrográficas como unidade de gerenciamento e a premissa da decisão colegiada, foram colocadas em prática, procurando compatibilizar planos setoriais de recursos hídricos de uma região (Costa, 1998).

O fortalecimento do critério de gestão para bacias hidrográficas brasileiras teve início com a criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH - 1978), cujos objetivos são realizar estudos integrados de bacias hidrográficas, monitorar o uso da água, classificar seus cursos e coordenar as diversas instituições envolvidas (Cunha & Guerra, 1996).

Finalmente, em 1997, foi instituída a lei federal nº 9.433 que dispôs sobre a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH). De acordo com a lei de PNRH, a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico.

Como objetivo, a PNRH deve integrar as Políticas Estaduais e assegurar a disponibilidade de recursos hídricos para gerações presentes e futuras, com padrões de qualidade adequados aos usos. O SNGRH, tem por objetivo implementar e executar a Política Nacional de Recursos Hídricos (Cunha & Guerra, *op. cit*)

De acordo com o artigo 1º da referida lei, dentre os fundamentos do sistema destacam-se a gestão descentralizada dos recursos hídricos com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades e a definição da bacia hidrográfica como unidade territorial básica para a implementação da Política e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (Furriela, 2000).

Nesta lei também ficou estabelecido a criação de Comitês de Bacias Hidrográficas que é a instância orientadora e deliberativa que pretende abranger todos os atores sociais importantes para a tomada de decisões e elaboração de políticas públicas no campo dos recursos hídricos, especificamente em cada bacia hidrográfica, que é legalmente, a área definida como unidade de gerenciamento (Furriela, *op cit.*).

Buscando a descentralização e o planejamento integrado, a constituição dos comitês limita a participação dos poderes públicos à metade de sua composição cabendo a outra metade aos usuários da bacia. Nos rios estaduais os comitês são constituídos por representantes dos governos estaduais, municipais e da sociedade civil. Cabe aos comitês articular a atuação das entidades envolvidas com os recursos hídricos e administrar os conflitos locais, estabelecendo os mecanismos de cobrança pelo uso da água e aprovação do plano de aplicação dos recursos arrecadados. Cada comitê contará com a assistência de uma Agência de Água que deverá viabilizar financeiramente a cobrança pelo uso da água nos princípios de “usuário-pagador” e “poluidor-pagador”, ou seja, os usuários da bacia deverão pagar tanto pela retirada da água disponível na superfície e no subsolo, como pela sua devolução ao meio ambiente (Costa, 1998).

Recentemente, foi aprovada no Brasil, a mais nova lei referente a Recursos Hídricos. A Lei nº 9.984 de 17/07/2000 que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos

Hídricos e de coordenação e apoio ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A ANA possui autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrado ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos.

A atuação da ANA é desenvolvida em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a eles caberá:

- Supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;
- Disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Fiscalizar e outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União;
- Estimular e apoiar as iniciativas voltadas para a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica;
- Elaborar estudos técnicos para subsidiar e implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União;
- Planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios;
- Promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos de água, de alocação e distribuição

de água, e de controle da poluição hídrica, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos;

- Definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas;

- Promover a coordenação das atividades desenvolvidas no âmbito da rede hidrometeorológica nacional, em articulação com órgãos e entidades públicas ou privadas que a integram, ou que dela sejam usuárias;

- Organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;

- Estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão de recursos hídricos;

- Prestar apoio aos Estados na criação de órgãos gestores de recursos hídricos;

- Propor ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos o estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos.

Para a operacionalização da PNRH foram também instituídos instrumentos específicos, dentre os quais encontra-se a cobrança pelo uso da água e que tem por objetivo:

- Reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;

- Incentivar a racionalização do uso da água;

- Obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contempladas nos planos de recursos hídricos.

Para isso, é fundamental que o poder público intervenha através da instituição da cobrança pelo uso da água, como forma de racionalizar a utilização dos recursos hídricos,

satisfazendo as necessidades dos usuários e garantindo assim uma maior produção (Garrido, 1996).

Para Garrido (1996) a cobrança pelo uso da água é um eficiente mecanismo na preservação dos recursos hídricos. Através dele é possível:

- Gerenciar a demanda, aumentando a produtividade e eficiência na utilização dos recursos hídricos;
- Redistribuir a localização dos usuários, buscando a conservação dos recursos hídricos de acordo com a utilização;
- Garantir a geração dos recursos financeiros para a elaboração dos planos de desenvolvimento dos recursos hídricos;
- Promover o desenvolvimento regional integrado;
- Estimular a melhoria dos padrões de efluentes descartados nos corpos de água.

Para alcançar seus objetivos, a cobrança pelo uso de água deve estar inserida no contexto de um sistema de gerenciamento de recursos hídricos descentralizado, participativo, transparente e que promova o uso múltiplo dos recursos hídricos. Sem a participação da sociedade no sistema de gestão, qualquer planejamento corre o risco de não se tornar eficiente, na medida que não incorpora prioridades e anseios dos principais agentes diretamente envolvidos no processo (Garrido, *op cit.*).

Para o uso racional da água não basta estabelecer leis. É necessário um comprometimento de todos os municípios que usufruam a água de um determinado local. É necessário também, que exista um gerenciamento deste recurso em nível de bacia hidrográfica. Para isso, foram criados os Consórcios Intermunicipais de Bacias Hidrográficas, a fim de facilitar a implementação das ações e alcançar melhores resultados.

Consórcios de Bacias Hidrográficas são entidades de gerenciamento dos recursos hídricos que reúnem diversos municípios para a realização de ações conjuntas, buscando atingir melhores resultados com um maior volume de recursos. Muitos consórcios têm surgido a partir de projetos de recuperação ou preservação do meio ambiente, em busca de

soluções para problemas em torno do manejo de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, como exemplo pode-se citar o Consórcio Intermunicipal da Bacia do Rio Piracicaba, em São Paulo (Vaz, 1996).

Segundo Costa (1998), os Consórcios de Bacias Hidrográficas tem realizado um importante trabalho nas regiões onde atuam, tendo como destaque:

- A conscientização da população sobre o uso racional da água;
- O reflorestamento das matas ciliares;
- A formalização de convênios com os órgãos estaduais;
- Rateios para a realização de obras de saneamento e tratamento de esgotos;
- Integração dos municípios para a realização de estudos que favoreçam a elaboração de um Plano Diretor de Bacias Hidrográficas.

Cada Consórcio é formado basicamente por três instâncias, a saber:

- ✓ Conselho de Sócios ou de Municípios (CM): constituído pelos prefeitos de cada município consorciado e por representantes da sociedade civil.
- ✓ Conselho Fiscal: formado por representantes das Câmaras Municipais e representantes da sociedade civil e da iniciativa privada. É responsável por acompanhar a gestão e a fiscalização das finanças e contabilidade.
- ✓ Secretaria Executiva (SE): formada pela equipe técnica e administrativa e é responsável pela coordenação e pela implementação das ações definidas pelo Conselho dos Municípios (CM).

O Consórcio pode optar também pela formação de uma Plenária de Entidades, que funcionará como órgão consultivo e será composto por entidades da sociedade civil como universidades, centro de pesquisas, ONG's, etc.

Os recursos financeiros necessários para a administração dos consórcios podem vir de receitas próprias, obtidas com suas atividades ou a partir das contribuições dos

municípios integrantes. Os municípios podem dar a mesma contribuição financeira, ou esta pode variar em função da receita municipal, da população, do uso dos serviços e bens do consórcio ou por outro critério julgado conveniente (Vaz, 1997).

2.2 – O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO NO CONTEXTO AMBIENTAL.

Segundo Prandini *et al.* (1991), a Cartografia Geotécnica reflete, desde a avaliação dos problemas do meio físico até a formulação das orientações de uso. O grande valor do Mapeamento Geotécnico está no estabelecimento prévio de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e de fenômenos atuantes do meio físico, de modo que os mapas possam ser aproveitados em ações disciplinadoras do uso do solo e preventivas.

Segundo D' Orsi (1992), os estudos geológicos objetivando o ordenamento territorial está inserido num ramo maior das geociências, denominado Geologia Ambiental ou Geologia do Ambiente. Entretanto, a Geologia Ambiental tornou-se significativa a partir da compreensão do papel da geologia no contexto das ciências ambientais e da consciência de que a exploração dos recursos existentes, territorial, mineral, hídrica e energética, deve ser equilibrada e harmônica.

Sobreira (1995) discute várias definições de Geologia Ambiental com o objetivo de uma melhor gestão do ambiente em que se vive, através da sua conservação, preservação e recuperação (Tabela 1). Refere-se também ao trabalho efetuado por Flawn (1970), enfatizando que este trabalho vem sendo apontado como a base dos estudos geoambientais, onde a Geologia Ambiental é considerada um ramo da geologia que busca compreender e apresentar soluções para problemas decorrentes do uso do solo pelo homem e das conseqüências desta interação.

Tabela 1 – Definições de Geologia Ambiental (Sobreira, 1995)

Autor	Definição de Geologia Ambiental
Coates (1981)	A geologia ambiental é a aplicação prática de um conjunto de muitas subdisciplinas geológicas a serviço da sociedade, sendo uma multidisciplinar com caráter interdisciplinar.
Carvalho (1982)	É o domínio da geologia que aproveita os respectivos conteúdos e dados analíticos das várias ciências da Terra para a proteção e melhor aproveitamento dos recursos naturais
Villar et. al. (1984)	É uma parte das ciências da terra dirigida para a resolução de problemas ambientais que derivam de uma utilização intensa da superfície terrestre por parte do homem.
Ayala Carcedo (1988)	É uma ciência geológica, cujo objetivo é o conhecimento dos sistemas ambientais, terras e águas continentais, visando a compreensão do meio ambiente, seu aproveitamento racional e sua conservação.

No decorrer dos anos, vários autores desenvolveram considerações sobre a geologia ambiental e suas aplicações no estudo de planejamento do solo. Entretanto, para Sobreira (1995), a Geologia Ambiental não é considerada uma ciência nova, e sim uma ação e cooperação multidisciplinar, que deveriam atuar em conjunto e com objetivos comuns, ou seja, o uso e ocupação do planeta, a utilização racional de seus recursos e a segurança das populações.

Segundo Cendrero (1990), na década 70 tiveram início duas linhas metodológicas no ramo da Geologia Ambiental e que até hoje são amplamente utilizadas. A primeira engloba trabalhos de caráter geral, cujos objetivos são analisar e diagnosticar territórios desde escalas muito pequenas até escalas locais, visando orientar a ocupação humana de modo que provoque danos mínimos ao meio ambiente. Neste grupo, enquadram-se os primeiros trabalhos que foram denominados de Mapas Geoambientais. Já a segunda enfoca temas relacionados a problemas ambientais mais específicos, dando origem aos trabalhos voltados à avaliação, predição e prevenção de riscos geológicos.

De acordo com Oliveira (1991), existe no Brasil, uma controvérsia na adoção de uma terminologia para o ramo das geociências. Vários termos como Geologia Ambiental

ou de Planejamento e Geologia de Engenharia são utilizados, sendo que estas divergências resultam em diversas formas de abordagens dos problemas ambientais.

Para Zuquette (1993), a Geologia Ambiental e a Geotecnia Ambiental vem se destacando em estudos do meio físico, sendo que ambas normalmente se associam na resolução de problemas, considerando-se que a Geologia Ambiental é mais regional e preventiva, voltada ao diagnóstico, caracterização, avaliação, classificação e extensão dos problemas, enquanto que a Geotecnia Ambiental é mais restrita em área local e específica, direcionando os recursos operacionais para evitar, recuperar ou controlar os problemas.

Para Prandini *et. al.* (1974), a Geologia Ambiental congrega os elementos básicos necessários para o bom uso da terra e para a Geologia de Planejamento, que se apresenta como um termo mais intimamente ligado ao aproveitamento racional da superfície terrestre. Visa indicar, do ponto de vista geológico-geotécnico, áreas onde a ocupação humana se desenvolve de modo mais seguro e econômico, além de contribuir na execução do planejamento de uso territorial e urbano e participar de programas de prevenção, recuperação e controle da degradação ambiental.

Fabri & Cendrero (1995), enfatizam que a Geologia Ambiental dentro do cenário das ciências da Terra voltadas à análise ambiental, pode ser entendida como o estudo da interação entre a atividade humana e o meio ambiente geológico, abrangendo assessoria geocientífica ao planejamento e manejo do ambiente.

Para Sobreira (1995), os estudos visando ao planejamento e o ordenamento territorial, a análise dos perigos e riscos naturais e os estudos de impactos ambientais e sua recuperação formam os três grandes ramos que compõem a investigação de natureza geoambiental.

De acordo Cendrero (1990), a Cartografia Geoambiental passa de uma abordagem essencialmente geotécnica a uma abordagem ambiental, incorporando informações sobre riscos naturais, erosão, contaminação de águas subterrâneas, além da preocupação com destruições de recursos minerais ou naturais, procurando assim minimizar ao máximo o impacto ambiental provocado por estes problemas.

Na busca de soluções para os problemas geoambientais, a Geologia de Engenharia vem ampliando sua atuação firmando-se como importante contribuinte tanto no planejamento quanto na resolução de problemas ambientais.

Segundo Dermentzopoulos & Katsaridis (1997), o Planejamento Ambiental é uma complexa operação o qual requer a interação de muitas disciplinas. O papel da Geotecnia no planejamento físico e especialmente no planejamento urbano é de prover a informação essencial para racionalizar o planejamento do uso do solo respeitando as condições geológicas e de risco.

Segundo Cendrero (1975), o planejamento de acordo com a capacidade de uso e ocupação das unidades, permite o máximo uso dos recursos naturais da área com um mínimo de dano ambiental. Assim sendo, a necessidade da utilização da Cartografia Geoambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial, seja de enfoque local ou regional, torna-se fundamental.

Segundo Infanti (1976) cabe à Geologia de Planejamento:

- ✓ Definir as limitações do ambiente físico;
- ✓ Planejar tecnicamente a utilização mais racional, segura e econômica do ambiente físico;
- ✓ Participar do acompanhamento da implantação de planejamento do uso do solo, da elaboração de normas e da fiscalização do uso;
- ✓ Participar da concepção de métodos de recuperação e controle de processos de degradação ambiental já em desenvolvimento.

Nas últimas décadas, tem-se notado uma grande queda na qualidade de vida dos grandes centros urbanos, sendo que um dos motivos deste fato são as diversas atividades que o ser humano vem desenvolvendo, sem se preocupar com as conseqüências que estas atividades podem vir a trazer ao meio físico.

Perante isto, os estudos geoambientais vêm se tornando cada dia mais essenciais no que diz respeito ao planejamento e conservação do solo e também na prevenção e solução de problemas ambientais.

O Mapeamento Geotécnico tem-se mostrado uma ferramenta fundamental na aplicação da Geologia de Engenharia nos problemas ambientais. O conhecimento do meio físico torna-se imprescindível no que diz respeito à utilização do Mapeamento Geotécnico no processo de planejamento e ordenamento territorial.

O meio físico é o componente ambiental que mais interage com o ambiente construído, logo ele requer um maior detalhamento de suas características. O Mapeamento Geotécnico se torna uma ferramenta essencial no estudo do meio físico, refletindo desde a avaliação dos problemas geoambientais existentes até a formulação das orientações de uso do solo.

Segundo Prandini *et. al.* (1974), as cartas geotécnicas como expressão prática do conhecimento geológico aplicado aos problemas causados pelo uso e ocupação do solo, possibilitam:

- ✓ Prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial;
- ✓ Orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar problemas econômicos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Zuquette (1987), afirma que o Mapeamento Geotécnico é um processo de análise dos componentes do meio físico, tendo por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico sejam eles geológicos, hidrogeológicos ou outros. Para o autor, o Mapeamento Geotécnico, além de ser usado como fonte de informações a respeito do meio físico para o planejamento regional e urbano, atua também como um importante instrumento de fiscalização.

A *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* –UNESCO (1976), considera como princípios básicos do Mapeamento Geotécnico:

- ✓ Apresentar informações de maneira que sejam facilmente compreendidas pelo usuário não especializado;
- ✓ Conter informações necessárias à avaliação das feições geológicas e de engenharia envolvidas em planejamento regional, para que estas possam auxiliar na seleção do local e dos métodos construtivos mais apropriados à região em questão;
- ✓ Prever prováveis mudanças na situação geológica, causadas pela ação de empresas ou pela ocupação urbana e as possíveis medidas preventivas.

Um dos objetivos do Mapeamento Geotécnico é transferir todas as informações geológicas e características geotécnicas de uma determinada região, para a forma de um documento cartográfico de fácil manuseio e que possa ser usado por planejadores, políticos e engenheiros. Para Derman & Matula (1986), essas informações devem ser fornecidas de modo que os usuários possam reconhecer a sua importância no planejamento do uso do terreno.

Para Wolski (1997) os estudos geotécnicos em escala regional constituem-se num importante elemento de suporte ao planejamento físico territorial, prestando-se em geral, a uma primeira aproximação da utilização potencial da área mapeada. Ao identificar as zonas de ocorrência dos solos com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes, ou seja, unidades geotécnicas similares, pode-se estabelecer um zoneamento preliminar da região de interesse.

De acordo com Bueno *et al.* (1997), o Mapeamento Geotécnico assume um papel relevante na administração municipal ao fornecer subsídios para a elaboração de planos diretores e ao orientar os projetos e a implantação de núcleos populacionais, industriais e comerciais, bem como a requerida infra-estrutura básica (saneamento, transporte, energia, entre outros). Neste sentido cabe ressaltar que o planejamento não pode ser elaborado sem levar em consideração a Geotecnia que, através dos conhecimentos de geologia, pedologia e geomorfologia, aliados a ensaios laboratoriais, informam os componentes qualitativos e quantitativos do meio físico, quanto ao uso do solo, que poderão estar disponibilizados através de mapas e cartas geotécnicas, gráficos e dados alfanuméricos.

2.2.1 – Zoneamento geoambiental e planejamento territorial

A necessidade de um planejamento territorial surge a partir do momento em que o crescimento econômico começa a influenciar de maneira negativa, promovendo uma série de efeitos que venham a colocar em risco as características do meio ambiente, sejam elas de natureza física, biológica ou social.

Através do planejamento ambiental é possível se alcançar o desenvolvimento sustentável, podendo-se dizer que este é o objetivo em longo prazo de qualquer iniciativa de gerenciamento ambiental.

No final dos anos 60, vários órgãos ambientais foram instalados no Brasil, com a missão de promoverem o desenvolvimento integrado e equilibrado de forma racional e controlada, tentando impedir que a apropriação do espaço fosse feita de maneira imprevista e fora dos padrões das normas. Nesse período, começaram a ser desenvolvidos os planos diretores e outros instrumentos de intervenção. Dentre estes instrumentos pode-se citar o Zoneamento Ambiental (Peloggia, 1997).

Segundo Griffith *et al.* (1995 *apud* Alvarenga, 1997), Zoneamento Ambiental é definido como “divisão de uma área geográfica em setores nos quais, depois da devida deliberação, certas atividades de uso e ocupação são permitidas ou não, de maneira que as necessidades antrópicas de alterações físicas e biológicas dos recursos naturais se harmonizem com as de conservação do meio ambiente”.

O Zoneamento Geoambiental é um instrumento técnico constituído pelas técnicas do Zoneamento Ambiental, que visa o planejamento territorial que se enquadra como ramo da Geologia Ambiental, e é elaborado a partir de uma série de informações, proporcionando assim parâmetros e referências para uma reavaliação permanente do processo de planejamento. Resulta em um plano de ocupação do espaço e uso dos recursos, que definirá as unidades ambientais em termos de áreas para uso intensivo, extensivo, de preservação e de uso múltiplo (Diegues, 1989).

O planejamento inicia-se com a coleta de informações básicas como, características ambientais gerais; recursos de solo e água; florestas naturais; erosão do solo; padrões de

uso de solo; impactos ambientais; poluição, etc. Estas informações têm por objetivo, determinar o potencial e as vocações naturais dos ecossistemas para a produção de bens e serviços, bem como os fatores limitantes encontrados. Algumas técnicas complementares e ferramentas auxiliares são utilizadas a fim de que juntas possam ajudar nas análises e monitoramento das atividades humanas sobre o meio ambiente. Como exemplo destas técnicas e ferramentas pode-se citar a sobreposição de cartas temáticas; o uso de sensoriamento remoto, de imagens de datas sucessivas, de imagens de satélite e utilização de dados sócio-econômicos (Diegues, *op cit.*), além de trabalhos de campo, levantamento de material cartográfico existente e análise dos parâmetros hidroclimáticos.

Através do Zoneamento Geoambiental é possível também monitorar espaços degradados a fim de subsidiar programas permanentes de monitoramento ambiental visando um acompanhamento sistemático dos resultados da conservação do solo e controle da degradação/desertificação. É possível também obter a identificação das alterações gradativas das condições geoambientais em relação a solos e vegetação.

Os principais problemas geoambientais encontrados nas regiões tropicais e subtropicais estão relacionados aos processos de erosão, escorregamentos e processos correlatos, assoreamentos, inundações, contaminação de aquíferos subterrâneos, impermeabilizações da superfície, associados à ocupação humana.

De acordo com Cendrero (1988), as etapas de estudos de natureza geoambiental são:

- Planificação: análise, diagnóstico e recomendações;
- Ordenamento: normas estabelecidas com base na etapa anterior;
- Manejo e gestão: implantação, acompanhamento e controle das atividades de usos do território.

Baseado nas características do meio físico e nas atividades desenvolvidas pelo ser humano em cada região, várias metodologias de estudos geoambientais são aplicadas em trabalhos de planejamento territorial. Para Sobreira (1995), o desenvolvimento destas metodologias tem por objetivo a representação territorial, em forma de mapas de vários

tipos, os quais deverão servir de base para as avaliações e decisões futuras a organismos de planejamento.

Para Diaz de Terán (1988) as metodologias de estudos geoambientais podem ser de três categorias:

- Sintético: com representação de unidades integradas;
- Analítico: representam separadamente os aspectos do território;
- Mistas: usando os dois procedimentos

2.2.2 – Principais metodologias para estudos geoambientais

⇒ Metodologia empregada por Cendrero (1975)

Cendrero (1975), utilizou como base a metodologia, com algumas modificações, que foi desenvolvida pelo departamento de Geologia Econômica da Universidade do Texas. Esta metodologia baseia-se na realização de um trabalho, onde são comparadas as feições geológicas e ambientais da região com a capacidade de suporte das unidades de uso da terra e da água, gerando um Mapa Geológico Ambiental. Neste mapa são individualizadas unidades ambientais, definidas em função dos processos ativos, *landforms*, propriedades físicas dos materiais, grupos biológicos e influência antrópica, agrupadas em sistemas ambientais maiores. Posteriormente, foram estabelecidas para cada unidade ambiental, a capacidade de receber diferentes tipos de atividades humanas, que foi avaliada através de uma matriz elaborada por Brown *et. al.* (1971) e medida em termos de habilidade para sustentar impactos derivados de tais atividades.

⇒ Metodologia empregada por Matula & Letko (1980).

Esta metodologia é denominada também de Metodologia Tcheca. Surgiu da necessidade de se obter um planejamento urbano e para o seu desenvolvimento, os autores

levaram em conta os aspectos específicos de adequabilidade geotécnica para construções e a vulnerabilidade do ambiente geológico.

Nesta metodologia foram delineados três grupos de fatores geoambientais limitantes do desenvolvimento urbano. Para cada grupo de fatores foi determinada uma escala de intensidade com três graus de classificação (A, B e C). Para cada classificação foi feito um mapa de zoneamento da região seguindo os critérios (I, II e III), gerando zonas para cada geofator, como por exemplo, as zonas AI, AII e AIII para o geofator A, as zonas BI, BII e BIII para o fator B e assim sucessivamente.

Da sobreposição destes três grupos de mapas gerados foi obtido o mapa final com as seguintes unidades (zonas) geotécnicas do uso racional do terreno para o desenvolvimento urbano:

- 1) Unidades geoambientais mais adequadas ao desenvolvimento urbano
- 2) Unidades geoambientais condicionalmente adequadas ao desenvolvimento urbano.
- 3) Unidades geoambientais menos adequadas ao desenvolvimento urbano.

⇒ Metodologia empregada por Zuquette *et. al.* (1997)

Segundo Zuquette *et. al.* (1997), a carta de Zoneamento Geoambiental, quando utilizada no estudo das potencialidades do meio físico, deve ser elaborada considerando-se a interação dos constituintes do meio ambiente e da análise de documentos previamente elaborados como:

- Documentos Fundamentais Básicos (mapa de substrato rochoso, mapa de qualidade das águas, mapa de *landforms*, etc).
- Cartas Interpretativas (carta de potencial ao escoamento superficial; carta de potencial ao movimento de massa, carta de zona de recarga de aquífero, etc).
- Cartas Analíticas Básicas (carta de probabilidade da ocorrência de eventos naturais; carta de possibilidade de ocorrer eventos perigosos, etc).

Para Zuquette (1993), o estudo da avaliação e especificações das unidades e de suas potencialidades deve seguir as seguintes etapas:

- Levantamento e análise das informações existentes;
- Reconhecimento dos atributos e
- Identificação das unidades homogêneas.

Para o autor, a produção e a análise de uma série de documentos gráficos que representem o meio físico, associada a outros documentos relativos aos componentes do meio ambiente permite analisar a viabilidade de ocupação e conseqüentemente a priorização e hierarquização das áreas seguindo a sua adequabilidade. Para isso, Zuquette (1993), salienta a importância de que seja feita uma criteriosa análise sequencial dos componentes do meio físico, para que se possa ordenar e adquirir os atributos através da hierarquização destes para cada componente. Os atributos considerados essenciais em estudos de natureza geoambiental, encontram-se descritos na Tabela 2, e as formas de obtenção dos atributos encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 2 – Componentes x atributos fundamentais para Zoneamento Geoambiental (modificado de Zuquette, 1993).

Componente do Meio Físico	Tipo	Atributo	Forma de Obtenção (*)
Águas	Superficiais	Escoamento superficial	M. Cook/Es
		Áreas de acúmulo de águas (temporário e permanente)	FI
		Bacias hidrográficas desde 1ª ordem	FI
		Canais com fluxo permanente	TC; FAb; Im
	Subterrânea	Presença de lentes salgadas	TC
		Aqüíferos (livres e confinados)	FI; TC
		Áreas de recarga	FI
		Fontes naturais	TC (GPS)
		Escoamento básico	AR
		Áreas de descarga	FI
Geomorfologia	Morfometria	Declividade	TC; TE
	Morfologia	<i>Landforms</i>	FI
Geologia	Substrato rochoso	Litologia	TC
		Distribuição (área/profundidade)	FI; TC
	Evidência de Processos	Deposição (indício de assoreamento)	TC
		Sismicidade	Re
		Subsidência (áreas calcárias abandonadas)	TC; FI
		Erosivos (concentrados/laminares)	TC; FI
		Alterações naturais de canais de drenagem	FI; TC
		Movimento de Massa.	FI; TC
	Materiais Inconsolidados (gerais)	Origem (residual/trabalhado)	FI; TC; L
	Materiais Inconsolidados (gerais)	Textura	TC; L
		Variação em profundidade (perfis de alteração)	TC
		Distribuição (em área)	FI; TC
		Potencial à salinidade	L
	Materiais inconsolidados (específicos)	Potencial quanto à fertilidade	L; Es

Tabela 2 (continuação) – Componentes x atributos fundamentais para Zoneamento Geoambiental (modificado de Zuquette, 1993).

Componente do Meio Físico	Tipo	Atributo	Forma de Obtenção (*)
Feições do tecnógeno		Áreas de aterro e entulho	TC; FI
		Áreas de exploração para materiais de construção civil	TC; FI
		Depósitos relacionados à exploração mineral	TC; FI
		Explorações minerais	TC; FI
		Antigos depósitos de rejeitos e resíduos	TC; FI
		Depósitos devido a alterações antrópicas junto a canais de drenagem	TC; FI
Biológico	Corpos d'água	Tipos de corpos d'água	TC; FI
	Animais	Tipos	
		Inventários	
		Anomalias	
		Distribuições/ tendências	
	Vegetação	Natural	
		Tipos	
		Distribuições/ tendências	
		Classificação quanto à taxa de massa verde	
		Profundidade das raízes	
		Capacidade de retenção de água na superfície	
		Antrópica	
		Tipos/ciclos	
		Pluviosidade	
Climático		Temperatura/ Evapotranspiração	Li
		Intensidade pluviométrica	Li
		Distribuição temporal das chuvas	Li
Processos recentes(antrópicos)		Cordões de nível	
		Canais construídos para drenagem	
		Barragens	
		Áreas com irrigação	
		Obras que interferem no fluxo das águas superficiais	

* Significado das formas de obtenção (Vide Tabela 3)

Tabela 3 – Forma de obtenção dos atributos necessários para a realização de trabalhos de natureza geoambiental.

Forma de obtenção dos atributos	
TC – trabalho de campo	M. Cook – método de Cook
FI – fotointerpretação	FAB – foto aérea baixa
L – ensaios laboratoriais	TE – trabalho de escritórios
ES – estimativas	Re – registros
Im – imagens de satélite	Li – literatura
AR – análise relativa	GPS

⇒ *Metodologia aplicada por Sobreira (1995)*

Sobreira (1995) realizou um estudo de natureza geoambiental no Conselho de Sesimbra (Portugal), onde foi elaborada uma carta geoambiental de caráter sintético. A metodologia adotada pelo autor considera mais profundamente os aspectos geológicos e busca quantificar algumas propriedades dos terrenos e características de processos geodinâmicos existentes.

O trabalho de mapeamento realizado pelo autor se resumiu basicamente em três etapas:

1ª Etapa:

- Elaboração da Carta Litológica, através dos trabalhos cartográficos existentes e de intenso trabalho de campo, posteriormente esta carta serviu como base para as etapas seguintes;

- Elaboração da Carta Geomorfológica, onde foi feita uma compartimentação em unidades, baseada em análises de drenagem, declividade e demais aspectos geomorfológicos para caracterização geomorfológica da área.

2ª Etapa:

A segunda etapa constou da análise dos recursos naturais, tais como:

- Caracterização dos recursos de ocupação do espaço, onde foi elaborada uma carta de aptidão à construção, para toda área e uma carta geotécnica, para porção da área com maior índice de ocupação;
- Caracterização da água subterrânea a partir de poços de captação e análises químicas destas;
- Caracterização dos recursos minerais, através de dados bibliográficos e dados de extração levantados;
- Caracterização dos recursos de interesses científico, cultural e paisagístico, onde foram definidos locais que, por sua raridade e singularidade, possuem condições únicas de observação e apreciação, devendo ser classificadas como patrimônio cultural.

3ª Etapa:

Constou da caracterização dos perigos e das suscetibilidades aos efeitos das catástrofes naturais, como:

- Movimentos em vertentes, através da quantificação da taxa de recuo das falésias litorâneas;
- Erosão hídrica através da caracterização da erosão potencial por meio da elaboração da carta de suscetibilidade à erosão, obtida pelo cruzamento das cartas de litologia, declividade, densidade de drenagem e o uso atual do solo;
- Sismos: através dos dados do catálogo sísmico nacional e as cartas de perigos sísmicos existentes, com posterior análise de situações de risco.

Por fim foi elaborada a Carta Geoambiental de caráter sintético, através dos estudos realizados anteriormente e do intenso conhecimento da área.

Muitas outras metodologias vêm sendo utilizadas nos estudos geoambientais por diversos autores, dentre as quais podem se destacar (Tabela 4):

Tabela 4 – Síntese de metodologias utilizadas em estudos geoambientais

Autores	Descrição da Metodologia
Meireles <i>et. al.</i> (1987)	Nesta metodologia utiliza-se um método de abordagem específica, tendo como base essencial a cartografia. Resulta em um roteiro de investigação subdividido em quatro níveis: compilatório, correlativo, semântico e normativo.
Cendrero & Dias de Teran (1987)	Esta metodologia é feita em duas etapas: <i>analíticas</i> , onde são elaborados mapas temáticos separados; avaliação de elementos em mapas temáticos; integração e <i>sintético</i> , através da elaboração de mapas de unidades homogêneas; avaliação das unidades.
Alonso <i>et. al.</i> (1990)	Foram feitos um mapeamento e avaliação ambiental das unidades segundo as seguintes etapas: - divisão em unidades, considerando as feições fisiográficas, climáticas e litoestruturais, que posteriormente foram subdivididas com base nos dados litoestruturais e na geomorfologia e avaliadas considerando-se as atividades de uso da terra. - definição de unidades mais detalhadas com base em rochas, regolito, <i>landforms</i> , solo e vegetação. Estas unidades foram descritas em função de suas feições geológicas-geotécnicas, eventos perigosos naturais e ecológicos. Posteriormente, foram utilizadas na obtenção de outras cartas como, por exemplo, cartas de eventos perigosos naturais.
Nava <i>et. al.</i> (1991)	Esta metodologia tem por objetivo apresentar e/ou subsidiar soluções de problemas ambientais, tais como escorregamentos, enchentes, erosões, etc., baseadas nas seguintes etapas: - levantamento histórico de ocorrências geotécnicas - levantamento de dados geotécnicos - elaboração da carta de declividade - mapeamento geotécnico - uso de perfis de sondagem já existentes - obtenção de dados pluviométricos - construção de um quadro de correlações dos dados levantados nas etapas anteriores, resultando em um diagnóstico ambiental.
Frances <i>et. al.</i> (1990)	Nesta metodologia a cartografia geoambiental é utilizada como ferramenta de diagnóstico de unidades territoriais nas fases de planejamento e gestão do uso da terra, devendo-se considerar a escolha da escala na elaboração dos mapas. Para trabalhos regionais, a escala adotada deve ser menor que 1:50. 000 e para trabalhos de gestão de espaços naturais e ocupação urbana ou atividades específicas, deve-se utilizar escalas de detalhes, maiores que 1:50. 000.
Rivas <i>et. al.</i> (1994)	Nesta metodologia os mapas obtidos representam uma divisão do terreno em unidades homogêneas, compartimentadas com base em <i>landforms</i> , materiais superficiais, processos ativos e uso da terra. O diagnóstico das unidades é feito em função da qualidade ambiental e do potencial de recuperação da área.
Villota (1996)	Tem por objetivo a avaliação da paisagem, através de um conhecimento profundo da área de estudo e de bases cartográficas. Como resultado obtém-se uma avaliação sintética (subjetiva) de diferentes unidades, caracterizando-as em escalas semiquantitativas de fácil compreensão. O método utilizado para a obtenção do mapa de unidades é obtido através de um sistema de sobreposições, reduzindo as unidades maiores em unidades de paisagem que apresentem uma homogeneidade em função dos atributos fisiográficos e litológicos.

No Brasil, vários trabalhos com enfoque à caracterização do meio físico e planejamento do uso do solo, estão sendo desenvolvidos, tanto por instituições, como o IG, IPT e a CPRM, como por diversas universidades. A exemplo destes trabalhos pode-se citar os descritos a seguir.

O IG (1996), desenvolveu um projeto denominado “Diagnóstico do meio físico da média bacia do Rio Piracicaba para fins de gestão ambiental”. Este projeto buscou refletir o diagnóstico do meio físico na área estudada, que compreende oito municípios da região metropolitana de Campinas: Americana, Cosmópolis, Holambra, Hortolândia, Jaguariúna, Nova Odessa, Paulínia e Sumaré.

Como resultado do projeto foi apresentado um conjunto de informações sistematizadas e integradas que apontam, em nível de diagnóstico, uma série de diretrizes e recomendações para um adequado manejo do meio físico nas áreas correspondentes aos municípios estudados. Estas informações visam à organização dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, procurando desta forma, orientar os poderes públicos no planejamento territorial e na adoção de medidas mitigadoras para o enfrentamento de impactos adversos e conflitos gerados pela ocupação inadequada do meio físico. Para a obtenção deste resultado foram estabelecidas seis metas:

- 1) Caracterização dos componentes do meio físico;
- 2) Caracterização do uso e ocupação atual do solo, das legislações pertinentes e políticas públicas para o desenvolvimento regional e municipal;
- 3) Diagnóstico das aptidões do meio físico;
- 4) Diagnóstico integrado dos dados levantados, com caracterização e avaliação dos conflitos existentes entre a ocupação atual e futura e os componentes e aptidões do meio físico;
- 5) Recomendações e diretrizes gerais e específicas para o planejamento do meio físico
- 6) Divulgação dos resultados obtidos, visando a orientação, treinamento e capacitação dos múltiplos usuários do projeto.

Também pelo IG (1996), foi desenvolvida a Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião, SP. Este projeto foi desenvolvido em parceria com a Prefeitura da Estância Balneária de São Sebastião e teve como objetivo subsidiar as ações do poder público municipal na gerência, além de minimizar e solucionar os problemas de riscos por movimentos de massa e inundação. Para isso, foram elaborados três produtos cartográficos principais: Mapa de Suscetibilidade aos Processos Potencializadores de Risco a Movimentos de Massa e Inundação (escala 1:50.000); Carta de Risco a Movimentos de Massa (escala 1:10.000) e Carta de Risco a Inundação (escala 1:10.000). Para a obtenção desses produtos foram levantados atributos (geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo e clima) que condicionam ou interferem no processo de movimentação de massas, bem como no de inundação.

Grechi & Pejon (1998), realizaram um trabalho de Zoneamento Geoambiental para a região de Piracicaba – SP, baseado na análise de variáveis ambientais e de atributos do meio físico (geologia, solos, hidrogeologia, etc.). No trabalho foram levantadas características geoambientais (aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e de uso e ocupação do solo), através da cartografia geoambiental, com o objetivo de produzir uma carta geoambiental de caráter sintético, na escala 1:50.000, que representasse as características da área estudada, bem como suas potencialidades e fragilidades.

O trabalho foi realizado com base em métodos aplicados na Cartografia Geoambiental, sendo que os documentos cartográficos foram gerados segundo metodologia de Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997). O trabalho envolveu a realização de trabalhos de fotointerpretação e de campo, além do auxílio do Sistema de Informação Geográfica - IDRISI e técnicas de processamento digital de imagens de satélites, que além de facilitar o armazenamento, manipulação e análise de uma grande quantidade de informações, permitiu a incorporação de novas ferramentas às formas tradicionais de obtenção e cruzamento de dados. Como produto obteve-se a Carta de Zoneamento Geoambiental, que foi compartimentada em 16 unidades geoambientais com características físicas particulares, traduzidas em limitações e potencialidades do meio.

2.2.3 – Avaliação das formas de relevo como ferramenta auxiliar nos estudos de zoneamento geoambiental

A Técnica de Avaliação do Terreno como mecanismo de descrição da paisagem, tem sido alvo de diversos estudos visando sua adaptação em estudos que envolvam a Geologia de Engenharia (Lollo, 1995).

A geomorfologia, que é a ciência que estuda as formas e processos morfodinâmicos, busca compreender os processos de evolução do relevo e dos impactos causados pela ação antrópica dando uma contribuição relevante no diagnóstico da degradação ambiental como também apontando soluções para resolver esses problemas (Cunha & Guerra, 1996).

O termo “Geomorfologia Ambiental” foi utilizado pela primeira vez no 1º Simpósio de Geomorfologia Ambiental, realizado em 1970 na Universidade de *New York* (*Binghamton* - EUA). Neste simpósio, foi debatida a utilização de uma geomorfologia aplicada, voltada para o levantamento de problemas e capacitada a apresentar sugestões e sugerir soluções para problemas referentes ao impacto causado pelo homem sobre o meio ambiente no que diz respeito à alteração do relevo e dos processos superficiais. Nesse contexto surgiu a Geomorfologia Ambiental tendo por objetivo minimizar as distorções topográficas bem como entender e atuar nos processos inter-relacionados para a restauração ou manutenção do balanço natural. Por ser uma ciência que envolve várias disciplinas em seus estudos, a Geomorfologia, dentro do contexto ambiental, assume duplo aspecto (Penteado, 1983):

1º) Planejar para preservar o meio e para usar racionalmente os recursos naturais sem romper o equilíbrio do ecossistema;

2º) Corrigir as falhas decorrentes da agressão sofrida pelo ambiente através da ação antrópica em todos os seus aspectos, desde a modificação da paisagem até a poluição

Considerando que as formas de relevo e os seus processos de formação representam os objetos principais da geomorfologia, pode-se distinguir dentro do campo geomorfológico os seguintes sistemas que influenciam na formação do relevo. Estes sistemas são os controladores mais importantes do sistema geomorfológico, representando os seus fatores e o seu ambiente (Christofolletti, 1974):

- a) Sistema Climático: através do calor, da umidade e dos movimentos atmosféricos, sustenta e mantém o dinamismo dos processos.

- b) Sistema Biogeográfico: é representado pela cobertura vegetal e pela vida animal, que de acordo com suas características atuam como fator de diferenciação na modalidade e intensidade dos processos, assim como fornecendo e retirando matéria.
- c) Sistema Geológico: através da disposição e variação litológica, é o principal fornecedor do material, constituindo o fator passivo sobre o qual atuam os processos.
- d) Sistema Antrópico: representado pela ação humana, é o fator responsável por mudanças na distribuição da matéria e energia dentro dos sistemas e modifica o equilíbrio dos mesmos. O homem produz modificações sensíveis nos processos e nas formas através de influências destruidoras ou controladoras sobre os sistemas em seqüência.

O estudo das formas do terreno (*landform*) constitui uma importante técnica no levantamento das condições naturais, na etapa de compartimentação e caracterização preliminar das unidades homogêneas.

Segundo Bell (1987) *apud* Saraiva (1995), estas técnicas incluem o mapeamento geológico, a interpretação de fotos aéreas, a utilização de métodos de sensoriamento remoto e a caracterização de terrenos através de sistemáticas ou metodologias de Mapeamento Geotécnico.

Para Lollo (1995), a Geotecnia encontrou na Geomorfologia uma ferramenta eficaz para levantamento das condições naturais, que sejam ágeis e representem custos menores na etapa de caracterização do meio físico.

Belcher (1942), conceituou os *landforms* como elementos do meio físico que possuem composição litológica definida, assim como as variações das características visuais e físicas, tais como, forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia.

Lollo (1995), propôs um conceito operacional cuja conotação é exclusivamente fisiográfica. Para o autor, *landform* é a porção do terreno originada a partir de processos naturais e distinguíveis das porções vizinhas em pelo menos um dos seguintes elementos: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e

amplitude do relevo. Os significados das feições do relevo são traduzidos não só quanto ao tipo do substrato rochoso, mas também quanto aos materiais inconsolidados a ele associados (em termos de textura, estágio de alteração, espessura) e conseqüentemente o comportamento da unidade delimitada quando solicitada, frente às mais diversas formas de uso e ocupação.

De acordo com o IPT (1981), os limites propostos para a observação dos atributos e classificação das formas do terreno se baseiam nos descritos na Tabela 5.

Para Saraiva (1995), o mapa de formas de relevo tem por objetivo a busca de possíveis correlações entre as formas de relevo (*landforms*) e a geologia (litologia e estruturas), assim como com os materiais inconsolidados desenvolvidos sobre o substrato rochoso.

No Brasil, alguns trabalhos envolvendo a Técnica de Avaliação do Terreno foram desenvolvidos. Entre eles pode-se citar: Zuquette (1991), Zuquette *et al.* (1992), Zuquette (1993), Saraiva (1995), Lollo (1996), Lollo (1998), Rodrigues (1998), Fontes (1999), Almeida (2000) e Lollo (2000). Em todos estes trabalhos foram obtidos resultados satisfatórios, auxiliando no trabalho de caracterização do meio físico.

Lollo (2000), propôs uma metodologia que se baseia na utilização de redes neurais artificiais para a identificação de *landforms* com base na Técnica de Avaliação do Terreno. Para o desenvolvimento da metodologia foi utilizado o nível hierárquico “Unidade de Terreno” e a metodologia foi desenvolvida em quatro etapas:

- 1) Seleção de um conjunto de 20 indivíduos representativos da unidade do terreno em análise;
- 2) Descrição desta unidade num formato inteligível para as redes neurais artificiais;
- 3) Treinamento da rede com o conjunto de indivíduos pré-selecionados;

- 4) Teste de eficácia da rede através da tentativa de reconhecimento de indivíduos pertencentes à classe em questão, porém não pertencente ao conjunto de treinamento.

Tabela 5 – Quantificação dos atributos das unidades de terreno (modificado do IPT, 1981).

Atributos	Categoria	Intervalo	Conceito
Amplitude local	Pequena Média Grande	0-100 100-300 > 300 m	Altura máxima da unidade em metros, acima dos assoalhos de grandes vales adjacentes.
Declividade	Baixa Média Alta	0-10% 10-20% > 20%	Inclinação média do perfil da encosta, expressa em porcentagem
Densidade de drenagem *	Baixa Média Alta	0-05 5-30 > 30	Número de cursos d'água perenes numa área de 10 Km ²
Expressão de colinas em área *	Pequenas Médias Amplas	< 1 Km ² 1-4 Km ² > 4 Km ²	Área ocupada pelas unidades de relevos entre seus vales limítrofes, ou seja, área de interflúvios
Topos	Extensos Restritos		Parte mais elevada de um morro ou de uma elevação (Guerra, 1978)
Forma dos topos	Aplainados Arredondados Angulosos		-
Vertentes	Convexo Retilíneo Côncavo		Planos de declives variados que divergem das cristas ou dos interflúvios, enquadrando o vale (Guerra, 1978).
Padrão de drenagem	Dendrítico Subdendrítico Paralelo Retangular Pinulado Em treliça		Variações de forma, organização e densidade da rede de drenagem em região geologicamente distintas, definindo-se padrões diversos (Winge, M. <i>et. al.</i> 2001)
Vales	Abertos Fechados		Conjunto de vertentes relacionados pelo nível de dissecamento do relevo e constituído para um mesmo canal de drenagem (Ponçano <i>et al.</i> , 1981)
Planícies aluvionares	Desenvolvidas Restritas		Planície desenvolvida sobre a calha de um vale preenchido por terrenos aluvionares e que apresenta meandros fluviais divagantes devido a baixa declividade do curso do rio que, em épocas de cheia, extravasa do canal fluvial e inunda a região (Winge, M. <i>et. al.</i> 2001).
Existência de drenagem fechada	Presente Ausente		Ocorrência de lagoas perenes ou intermitentes
Existência de ravinamento das vertentes	Presente Ausente		Sulcos produzidos nos terrenos, devido ao trabalho erosivo das águas de escoamento (Guerra, 1978).

* Atributos definidos com o auxílio do mapa topográfico.

O trabalho efetuado mostrou-se adequado como mecanismo de reconhecimento digital de Unidades de Terrenos.

Amorim (2003) desenvolveu o estudo dos atributos do meio físico como base para zoneamento geoambiental, com o uso do geoprocessamento. Neste estudo, o autor utilizou como ferramenta auxiliar a estatística multivariada na análise de agrupamentos hierárquicos para o tratamento das informações obtidas para a confecção do mapa de *landforms*. A técnica escolhida foi a de agrupamento por ligação completa, que utiliza como medida de distância o percentual de discordância para classificar os níveis taxonômicos de terrenos. As variáveis utilizadas para a análise foram feições de relevo, forma do topo ou tipo de vale, tipo de encosta, declividade, padrão de drenagem, densidade de drenagem, e informações referentes ao tipo, mineralogia e idade do substrato rochoso pertencente a cada unidade de terreno. As análises foram realizadas utilizando o *software* STATISTICA[®] 5.5 e o autor demonstrou que a análise estatística multivariada dos componentes do meio físico pode ser uma ferramenta útil para diminuir a subjetividade na delimitação das *landforms*.

2.3 - BACIA HIDROGRÁFICA

Uma Bacia Hidrográfica é definida como sendo a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, constituída por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que compõe a drenagem fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais depende do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e seu regime e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração (Christofolletti, 1974).

A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, que representa a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um outro sistema fluvial. Um divisor deve unir os pontos de máxima cota entre as bacias (Villela & Mattos, 1975). Na Figura 2 temos uma visão de uma bacia hidrográfica e seus principais elementos.

Figura 2 – Modelo de bacia hidrográfica e seus componentes

O balanço hídrico de um sistema definido, em geral uma bacia hidrográfica, corresponde a uma análise comparativa entre as quantidades de água que entram e que saem do sistema, levando-se em conta as variações das reservas hídricas, superficiais e subterrâneas, durante um determinado período de tempo adotado (frequentemente anual).

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; sendo que o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema de drenagem é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

De acordo com Christofolletti (1974), a análise morfométrica de Bacias Hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial. Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região.

Em uma análise morfométrica os três principais aspectos que devem ser considerados são: padrão de drenagem, ordem e a densidade dos canais de drenagem.

a) Padrão

Para Leopold *et al.* (1964), os padrões de drenagem estão ligados à geometria hidráulica dos canais de drenagem e a relação entre a área da bacia e a porcentagem de bacias de 1^a, 2^a e 3^a ordem, são importantes fatores para estabelecer relações com a descarga. Já Schum (1956), enfatiza que os padrões de drenagem estão relacionados com o clima, a hidrologia e a geologia local, o que permite que através de sua análise seja possível chegar a um entendimento sobre as formas de relevo.

Sabe-se também que a formação da rede de drenagem está diretamente relacionada com o substrato rochoso onde ela é desenvolvida. Logo, a análise dos padrões de drenagem, torna-se fator essencial para a avaliação geomorfológica, uma vez que ajuda na definição da dimensão e orientação dos tipos de relevo (Pires Neto, 1991).

Os padrões de drenagem foram propostos inicialmente por Zernitz (1932) e posteriormente completados por Howard (1967). De acordo com estes autores os principais padrões de drenagem são: drenagem dendrítica, subdendrítica, treliça, paralela, anelar e retangular (Tabela 28).

De acordo com Horton (1945) os tipos básicos de padrões de drenagem podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 – Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem (Horton, 1945)

b) Ordem

A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. A terminologia usada na classificação da ordem de cursos d'água é analisada sob vários aspectos (hidrológicos, geomorfológicos, geológico, etc).

Horton (1945), desenvolveu uma análise quantitativa num sistema de drenagem, estabelecendo um sistema de classificação de canais de rede hidrográfica. Nesta análise, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem recebem somente tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também podem receber tributários de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente (Figura 4). Desta forma, o rio principal é consignado pela mesma ordem desde a sua nascente até a foz .

Figura 4 - Classificação de drenagens segundo Horton (1945).

Em 1957, Strahler desenvolveu um sistema de classificação de canais propondo algumas modificações em relação ao sistema definido por Horton. Para Strahler, os canais sem tributários são considerados como de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os canais de segunda ordem, e assim sucessivamente, sendo a ordem da bacia hidrográfica correspondente ao valor do canal de maior ordem (Figura 5). Este procedimento elimina o conceito atribuído por Horton, de que o rio principal tenha o mesmo número de ordem da nascente até a foz, e facilita a classificação dos canais, eliminando a necessidade de se refazer a ordenação a cada confluência. Assim para o presente trabalho, o sistema de hierarquização adotado para a classificação dos canais de drenagem, foi a classificação proposta por Strahler em 1957.

Figura 5- Classificação de drenagens segundo Strahler (1957).

Segundo Christofolletti (1980), a diferença básica entre as duas sistemáticas é que pelo sistema de Horton, o rio principal apresenta a mesma ordem da nascente até a foz e no sistema de Strahler, o rio principal é o que apresenta maior variação na sua ordem a cada vez que encontra um tributário.

De acordo com Villela & Mattos (1975), além dos sistemas de drenagens, outras características físicas como a área de drenagem, a forma da bacia e as características do relevo, também devem ser levadas em consideração no estudo do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica.

c) **Densidade de drenagem.**

O conceito de densidade de drenagem foi definido por Horton (1945), como sendo a relação entre a soma do comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia de acordo com a seguinte equação:

$$Dd = \frac{\sum L}{Ad}$$

onde:

Dd = densidade de drenagem

L = comprimento total dos canais

Ad = área da bacia

Segundo Horton (*op cit.*) as bacias de menor porte e grau hierárquico, tendem a apresentar valores de densidade mais elevados. Christofolletti (1979) explicou este fato com o argumento de que os segmentos de ordens inferiores estão nos setores mais altos dos cursos d'água, onde as declividades são mais acentuadas; conforme aumenta a área da bacia e a ordem da rede hidrográfica, incorporam-se áreas topograficamente mais suaves, dando origem a espaços com densidade de drenagem baixa.

A densidade de drenagem também está relacionada com o escoamento superficial. Densidade de drenagem elevada indica um baixo índice de infiltração, resultando em uma rápida concentração do escoamento superficial e um alto potencial de fluxo, ao passo que áreas de baixa densidade de drenagem apresentam alto índice de infiltração e escoamento superficial laminar generalizado (Pires Neto, 1991). Outros fatores do meio físico, como geologia, topografia, clima, vegetação e número de ciclos de erosão, podem influenciar como condicionantes da densidade de drenagem.

Em 1987, o engenheiro Otto Pfafstetter, desenvolveu uma metodologia com o objetivo de compartimentar e codificar bacias hidrográficas, sejam elas de qualquer tamanho. Inicialmente esta metodologia foi utilizada pela Secretaria Nacional de Irrigação, sendo adotada no Cadastro Nacional de Irrigantes. Em 1998 a SRH realizou projeto objetivando elaborar uma base digital de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras, com a participação do IBAMA e apoio técnico do United States Geological Survey - USGS. A importância e utilidade do método foram reconhecidas pelo USGS, que atualmente desenvolve um projeto específico para as Nações Unidas de codificação das bacias hidrográficas para os diversos continentes, com o objetivo de atender à necessidade de estruturação de uma base de dados hidrológica digital sistemática (USGS, 2000).

Esta metodologia consiste na compartimentação e codificação de bacias hidrográficas, onde através do estudo do sistema de drenagem, é feita uma distinção entre o rio principal e os seus principais afluentes. A partir daí, são individualizados os quatro maiores tributários, de acordo com o critério da área drenada, classificados como Bacias e que recebem os algarismos pares 2, 4, 6, e 8, na ordem em que são encontradas de jusante para montante, ao longo do rio principal. Em seguida, os demais tributários do rio principal

são agrupados nas áreas restantes, classificados como regiões hidrográficas (Interbacias), que recebem na ordem em que são encontradas de jusante para montante ao longo do rio principal, os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9. Estas unidades podem ser submetidas a uma nova compartimentação. Para tanto se assume como foz o ponto de descarga da bacia a ser dividida. A análise é realizada sempre da foz para montante identificando todas as confluências e distinguindo o rio principal de seus tributários. O rio principal é aquele curso d'água que drena a maior área e os tributários, os demais que drenam áreas menores. Às novas subdivisões são adicionados ao primeiro código atribuído, os algarismos conforme for a classificação da unidade em Bacia ou Interbacia (Silva, 1999).

Considerando a importância da redefinição da sistemática de codificação de bacias hidrográficas para a Política Nacional de Recursos Hídricos e a necessidade de se adotar uma metodologia de referência que permita procedimentos padronizados de subdivisões e agrupamentos de bacias e regiões hidrográficas, o CNRH, usando de suas atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, através da Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002, define que será adotada para efeito de codificação de bacias hidrográficas no âmbito nacional, a metodologia de compartimentação e codificação de bacias hidrográficas definidas pelo engenheiro Otto Pfafstetter (CNRH, 2002).

2.3.1 - Bacias hidrográficas como unidade de estudo

A importância dos recursos hídricos em qualquer processo de desenvolvimento sócio-econômico é inquestionável. A água, apesar de cumprir seu papel natural de abastecimento das necessidades humanas, animais e produtivas, vem cada vez mais sendo degradada, ao servir como veículo para os despejos de efluentes urbanos, industriais e extrativos limitando o uso deste recurso e tornando elevado os investimentos para sua recuperação, interferindo assim no desenvolvimento econômico e social (Rocha, 2000).

Em países em desenvolvimento, o crescente desejo de um desenvolvimento econômico e demográfico acelerado e de difícil controle, associado a uma exploração dos recursos hídricos sem as devidas precauções, causou o racionamento dos recursos hídricos e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Para Bourlon (1992)

este foi um dos motivos que fez com que aumentasse a consciência da necessidade de uma gestão dos recursos renováveis, tendo em vista um desenvolvimento duradouro, e levando cada vez mais estados a buscarem um modo de gestão integrada das bacias hidrográficas.

A adoção de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento, justifica-se não só por ela constituir uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque não existe nenhuma região continental, por menor que seja, que não se integre a uma bacia (Prochnow, 1990). Para o autor a expressão “Bacia Hidrográfica” cabe tanto a áreas grandes como áreas pequenas, bastando somente localizá-las no espaço e ajustar a esta o nome do curso d’água responsável pela drenagem superficial da área.

Em setembro de 1996 foi realizado em Piracicaba um *Workshop* sobre o Projeto PiraCena. Neste *Workshop* foram discutidos vários assuntos pertinentes ao tema Bacia Hidrográfica, dentre eles a adoção da Bacia Hidrográfica como unidade de estudo. De acordo com um grupo de pesquisadores, as bacias hidrográficas são unidades funcionais com expressão espacial, sendo sistemas ambientais complexos em sua estrutura, funcionamento e evolução. Assim, podem ser tomadas como uma unidade dinâmica e serem adotadas como unidade de estudo.

No estudo geoambiental a adoção de bacia hidrográfica como unidade de estudo é fundamental, uma vez que as feições e os processos que atuam no terreno têm grande ligação com regiões da bacia e muitas vezes são condicionados pela forma da superfície e do fluxo da água que entra na bacia, associados aos materiais inconsolidados e rochosos. Estes processos naturais fazem parte da evolução do relevo e têm estreita relação com o ciclo hidrológico.

Até 1968, o sistema aquático era considerado uma unidade isolada (aquela onde dada às condições iniciais, não ocorreria mais nenhuma perda nem ganho de energia ou matéria do ambiente que o circunda), sendo que o processo mais dinâmico considerado era o fluxo entre as águas superficiais, as águas de reservatório e as águas subterrâneas. A transferência de elementos, substâncias e organismos do sistema terrestre para o sistema aquático era muito pouco conhecida (Tundisi, 1991).

Atualmente, a bacia hidrográfica é considerada um sistema aberto, ou seja, ocorre uma constante troca de energia e matéria, tanto recebendo (*input*) como perdendo (*output*) (Christofolletti, 1999). Segundo Cunha & Guerra (1996), as bacias de drenagem recebem energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica local, eliminando fluxos energéticos pela saída de água, sedimentos e solúveis

O conhecimento das perdas de energia (*outputs*) de uma bacia hidrográfica, as medidas quantitativas de fontes poluidoras não pontuais e o desenvolvimento integrado do ecossistema terrestre como um mecanismo de proteção dos recursos hídricos e o desenvolvimento desta disponibilidade torna-se um processo complexo, mas necessário para resolver problemas ecológicos relacionados aos recursos hídricos. Logo, para se promover uma política ambiental adequada, o sistema aquático tem que ser considerado como receptor do desenvolvimento e dos usos da bacia hidrográfica, ou seja, pode ser considerada uma unidade fundamental para o planejamento regional (Tundisi, 1991).

O processo de planejamento ambiental consiste em definir os objetivos e as metas que orientarão o plano de gerenciamento da bacia hidrográfica. A área de atuação deve englobar todos os municípios pertencentes à área da bacia de drenagem, contemplando, necessariamente, o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, cujos limites constituem as vertentes que por sua vez, limitam outras bacias (Pires & Santos, 1995).

Segundo Lazlo (1986), planejar uma bacia hidrográfica significa estruturar um conjunto de procedimentos capazes de assegurar um uso ambientalmente correto dos seus recursos naturais, com o objetivo de:

- Promover o desenvolvimento sustentável da bacia;
- Melhorar a qualidade de vida da população;
- Garantir a construção e preservação ambiental.

Todo trabalho de planejamento de bacias hidrográficas é necessariamente um processo interativo, no qual informações ou conhecimentos preliminares permitem a identificação de possibilidades e oportunidades de desenvolvimento de recursos, que por

sua vez geram a necessidade de novas informações, investigações e estudos adicionais mais detalhados e minuciosos. Este processo deve se repetir por todas as fases do planejamento, desde a decisão inicial sobre o tamanho da área até a elaboração dos anteprojetos básicos (Rodrigues, 1967).

Para Rodrigues (1967), nos estudos de planejamento de bacias hidrográficas, a primeira decisão a ser tomada diz respeito à delimitação da área a ser estudada. O problema deve ser examinado em um âmbito mais amplo possível, obtendo-se assim um conjunto de diretrizes para o planejamento de bacias hidrográficas. Definida a área de estudo, a fase seguinte no planejamento seria definir o objetivo do trabalho e o tempo necessário para o estudo, onde através de um levantamento ou reconhecimento preliminar, seriam levantados dados e elementos disponíveis para o estudo de planejamento de bacias hidrográficas. Depois de obtidos, os dados deverão ser compilados, ordenados e homogeneizados para a análise de sua adequabilidade e suficiência. Os principais dados necessários para o processo de planejamento de bacias hidrográficas são:

- Dados sobre a quantidade de água;
- Dados sobre a qualidade da água;
- Dados morfológicos da região;
- Dados geológicos e geotécnicos;
- Dados sócios econômicos.

Segundo Pires & Santos (1995), uma das metodologias utilizadas no gerenciamento de bacias hidrográficas, é a técnica de Análise Integrada de Recursos (AIR). Esta técnica visa incorporar considerações ecológicas como produtividade e estabilidade no planejamento do uso e manejo destas unidades ambientais e envolve a utilização de cartografia geotécnica, para representar as características ambientais da área, integrar informações e elaborar mapas derivados, informando a capacidade de uso do solo ou as áreas de conflito e restrições de uso. O autor sugere que, em conjunto aos métodos de cartografia, deve-se fazer o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para facilitar o processo no que diz respeito à análise de dados e informações ambientais de caráter

espacial. De acordo com esta técnica, as etapas do plano de gerenciamento da bacia hidrográfica se classificam em três:

- 1) Diagnóstico Ambiental: busca analisar as condições ambientais frente a ocupação humana, através do inventário e levantamento de dados e informações sobre o ambiente físico e biológico e do levantamento das áreas ambientais críticas, e posteriormente das análises das informações e classificações das unidades geográficas de acordo com a capacidade de absorver os diversos usos humanos, considerando suas restrições ambientais.
- 2) Prognóstico Ambiental: é a análise das prováveis condições futuras em diferentes cenários de tempo e ocupação de espaço, frente às tendências de desenvolvimento e à demanda de serviços.
- 3) Integração das análises ambientais, políticas e econômicas.

Por fim este plano deverá gerar uma proposta de divisão do território estudado (Zoneamento Ambiental) com base na classificação ambiental e na análise dos quadros ambientais atuais e futuros.

2.3.2 – Exemplos de estudos de planejamento utilizando a bacia hidrográfica como unidade de estudo.

Nos últimos anos, a não preservação e a má utilização dos recursos hídricos tem colocado em risco o futuro deste bem, o que faz com que vários órgãos e pesquisadores se mobilizem no que diz respeito à preservação da água no mundo.

As abordagens de planejamento e gerenciamento, utilizando bacias hidrográficas como unidade de trabalho, tem evoluído bastante. Com o aumento da demanda por recursos hídricos, surgiu a necessidade de incorporar aspectos relacionados aos vários usos da água para atender às estruturas dos usuários.

A França é um dos principais países que se preocupa com o problema de gerenciamento dos recursos hídricos, detendo uma experiência única de gestão

descentralizada no âmbito das bacias hidrográficas (Agências de Bacia). A política francesa de recursos hídricos consiste em pesquisar para cada problema, a melhor solução em termos econômicos sobre o meio ambiente e gestão.

No Brasil, os primeiros programas de planejamento e desenvolvimento regional utilizando as bacias hidrográficas como unidade de estudo, tiveram início nas décadas de 60 e 70. Os governos estaduais e federal iniciaram a partir de 1976, as primeiras tentativas e experiências de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. O primeiro programa foi o Comitê de Acordo entre o Ministério de Minas e Energia e o Governo do Estado de São Paulo, com atuação no Alto Tietê e Baixada Santista. Como resultado, foram formuladas as ações integradas e a administração de conflitos localizados, envolvendo a operação da Usina Hidrelétrica Henri Borden (Cubatão), a poluição da Represa Billings e o abastecimento de água para o complexo industrial de Cubatão. Este Comitê continua em atuação, tendo como principal preocupação gerenciar conflitos dos múltiplos usos das águas da Billings/Alto Tietê e os problemas ambientais deles decorrentes (Ross & Del Prette, 1998).

Ainda segundo Ross & Del Petre (1998), outras experiências de gerenciamento deram continuidade ao programa a partir de 1979, contando com a participação dos governos estaduais e federal através dos Comitês Executivos de Estudos Integrados de Bacias de rios federais, destacando-se entre estes as bacias dos rios Paraíba do Sul (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro), Paranapanema (São Paulo e Paraná), Grande (São Paulo e Minas Gerais), Ribeira do Iguape (São Paulo e Paraná), Jaguari – Piracicaba (São Paulo e Minas Gerais), Iguaçu (Paraná e Santa Catarina) e São Francisco (Minas Gerais, Bahia, Sergipe e Pernambuco).

A seguir serão descritos alguns projetos onde foram desenvolvidos estudos para planejamento utilizando as bacias hidrográficas como unidades de estudo.

• **Projeto Bacia do Rio Piracicaba-Capivari (Estado de São Paulo)**

Este projeto nasceu da iniciativa de uma organização da sociedade civil, e que teve por objetivo reunir as prefeituras, formando um consórcio para recuperação da bacia do Rio Piracicaba. Este Consórcio abrange 57 municípios e envolve 3,7 milhões de habitantes,

compreendendo uma área total de 25.591 Km², sendo que 12.756 Km² na bacia do rio Piracicaba e 1.655 Km² na bacia do Rio Capivari. As finalidades do consórcio são:

- Representar o conjunto dos Municípios que o integram, em matéria de interesse comum, perante quaisquer outras entidades de direito público e privado, nacional e internacional;

- Planejar, adotar e executar, sempre que cabível em cooperação técnica e financeira com os Governos da União e do Estado, projetos, obras e outras ações destinadas a promover, melhorar e controlar: o abastecimento de água; o saneamento básico e ambiental e a qualidade das águas; a coleta, o tratamento e a disposição dos resíduos sólidos; a drenagem das águas pluviais, as atividades de prevenção das enchentes e o controle da erosão;

- Promover formas articuladas de planejamento do desenvolvimento regional, criando mecanismos conjuntos para consultas, estudos, execução, fiscalização e controle de atividades que interfiram, na qualidade das águas na área compreendida no território dos municípios consorciados, nas questões referentes a: integração do sistema viário e de transportes; desenvolvimento urbano e controle de uso do solo; caracterização sócio - econômica e dinâmica demográfica; desenvolvimento econômico e social e da qualidade de vida da população; planejamento e desenvolvimento de serviços, obras e outras medidas nas áreas limítrofes entre municípios consorciados;

- Desenvolver serviços e atividades de interesse dos Municípios consorciados, de acordo com programas de trabalho aprovados pelo conselho de Municípios.

Posteriormente foram criados o comitê de bacias (Comitê da Bacia do Piracicaba-Capivari-Jundiaí) e a sua correspondente Agência de Bacias, bem como foram estabelecidos critérios e valores a serem cobrados pelo uso das águas (Ross & Del Prette, 1998).

• Projeto Rio Doce (Estados de Minas Gerais e Espírito Santo)

Em abril de 1988, a França e o Brasil assinaram um acordo de cooperação sobre o tema de gestão integrada das bacias hidrográficas, com o objetivo de aplicar no Brasil a lei

sobre a água desenvolvida na França. Para que o projeto tivesse sucesso, era necessário que a bacia escolhida fosse representativa dos problemas existentes no Brasil. A bacia escolhida foi a Bacia do Rio Doce, situada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, compreendendo uma área de 83.400 Km². O projeto foi denominado Projeto Rio Doce e teve início em junho de 1989, dando origem ao Comitê da Bacia do Rio Doce. O projeto fundamentou-se basicamente em três fases (Bourlon, 1992):

- **1ª fase:** elaboração do diagnóstico da qualidade das águas, onde ficou estabelecido que os principais problemas ambientais da bacia eram atribuídos ao desmatamento e ao mau planejamento dos solos agrícolas, que resultam em fenômenos erosivos acelerados; às atividades de garimpagem, que destroem as encostas dos rios; à intensa atividade industrial do Vale do Aço e ao saneamento precário das áreas urbanas e rurais.
- **2ª fase:** elaboração do plano diretor da bacia, que abrange medidas de controle dos problemas ambientais que ocorrem dentro da área da bacia
- **3ª fase:** estudo de novos mecanismos de financiamento, através da aplicação dos princípios usuário - pagador e poluidor - pagador.

• **Projeto Rio Ribeira do Iguape (Estado de São Paulo)**

Este projeto foi desenvolvido em 1988/89 pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, no litoral sul do Estado, mais precisamente no Baixo Vale do Rio Ribeira do Iguape, região lagunar Iguape-Cananéia. Neste projeto, foi desenvolvido um Plano de Gerenciamento Ambiental, onde foram desenvolvidos estudos básicos objetivando o desenvolvimento do macrozoneamento, elaborado na escala 1:50.000. Em seguida foram geradas uma série de mapas temáticos e que posteriormente foram cruzados, obtendo como resultado o zoneamento ambiental para a região. Neste zoneamento foram definidas as unidades com usos previstos para a agricultura, extrativismo, pesca, agricultura, turismo, mineração, expansão urbana, etc (Ross & Del Petre, 1998).

O projeto teve como diretriz geral, a introdução de um processo de Desenvolvimento Sustentável para a região, estruturado em torno de um modelo denominado eco-turístico-pesqueiro. O macrozoneamento gerado passou a ser apresentado

e discutido com a comunidade e com os órgãos públicos atuantes na região com o objetivo de formular uma minuta de Lei de Gerenciamento que melhor se ajustasse à realidade da região.

• **Projeto Sado (Portugal)**

No período de 1994 a 1997, através de um convênio firmado com vários órgãos e instituições de Portugal, entre eles o Instituto Geográfico do Exército e a Universidade de Évora, teve início um projeto de conservação e valorização de sistemas fluviais no quadro de ordenamento e gestão integrado de bacias hidrográficas denominado Projeto Sado. Para este trabalho, adotou-se como unidade de estudo a bacia hidrográfica do Rio Sado, e a metodologia se baseou nas seguintes etapas (Projeto Sado, 1997):

- Macrozoneamento da área da bacia, fazendo uso de uma base de dados bibliográficos e cartográficos previamente estruturados, possibilitando a definição de áreas em termos de litologia, geologia, relevo, uso do solo, configuração da rede hidrológica e vegetação, que foram designadas unidades de paisagem;
- Elaboração de um estudo aprofundado das características hidrológicas do sistema, atendendo às influências climáticas e ao regime pluviométrico;
- Reconhecimento global da área, com a sua caracterização e avaliação do estado de conservação;
- Identificação, através de fotografias aéreas, do tipo de uso e ocupação do solo.

Este projeto teve como principal objetivo fazer uma avaliação dos aspectos biofísicos e ecológicos, bem como valores paisagísticos, culturais e sociais associados aos sistemas fluviais, para que se pudesse fundamentar a formulação de critérios de ordenamento e de gestão de bacias hidrográficas.

2.4 – UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO PARA TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES

2.4.1 – Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento é definido como sendo o ramo do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais no tratamento de informações geográficas, sendo suas ferramentas computacionais denominadas Sistema de Informações Geográficas-SIG (Câmara & Simões, 1996).

Embora os termos geoprocessamento e sistemas de informações geográficas sejam usados correntemente como sinônimos, existe uma diferença a ser considerada. Geoprocessamento designa qualquer processamento de dados com referência espacial. Para Vaz (1997), o Geoprocessamento é o processamento informatizado de dados georreferenciados, que utiliza programas de computador que permitem o uso de informações cartográficas (mapas e plantas) e informações a que se possa associar coordenadas desses mapas ou plantas. Por exemplo, uma planta de uma cidade onde se possa identificar as características de cada imóvel ou onde moram as crianças de uma determinada escola.

Já um SIG pode ser definido como um conjunto computacional organizado de dados geográficos, hardware, software e pessoal, para capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar informações geograficamente localizadas (ESRI, Environmental Systems Research Institute, 1996).

O Geoprocessamento tem influenciado cada dia mais as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, Energia e Planejamento Urbano e Regional (Câmara & Davis, 1999). As áreas que utilizam a tecnologia do Geoprocessamento têm em comum, o interesse por entes de expressão espacial, sua localização ou distribuição, ou ainda a distribuição espacial de seus atributos. Os procedimentos de coleta, tratamento e utilização das informações espaciais têm desenvolvimento próprio e adequado às necessidades específicas de cada área (Rodrigues, 1990).

As técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial podem ser divididas em pelo menos quatro categorias (Fator GIS *on line*, 2000):

- Técnicas para coleta de informação espacial, através da cartografia, sensoriamento remoto, GPS (*Global Positioning System*), topografia, fotogrametria, levantamento de dados alfanuméricos;
- Técnicas para armazenamento de informação espacial, através de banco de dados;
- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial, como modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, análise topológica, reclassificação, análise de redes;
- Técnicas para uso integrado de informação espacial.

O Geoprocessamento adquiriu um papel muito importante em trabalhos que envolvam coletas de informações para a tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, pois além de permitir a realização de análises complexas, baseia-se em tecnologias de custo relativamente baixo.

Segundo Barbosa *et. al* (1999), os dados utilizados em Geoprocessamento são:

- 1) **Dados Temáticos:** descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica representada de forma qualitativa, como por exemplo, o mapa pedológico e de declividade de uma região. São obtidos a partir de trabalhos de campo e são inseridos no sistema por digitalização ou a partir da classificação de imagens.
- 1) **Dados Cadastrais:** em um dado cadastral cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributo e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os países de um continente, possuem atributos (população, PIB, etc) e podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos ficam armazenados em um sistema gerenciador de banco de dados.
- 2) **Rede:** cada objeto geográfico (cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água, etc) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a

atributos descritivos presentes no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais.

- 3) **Modelos Numéricos de Terreno (MNT):** são utilizados para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados a altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas ou propriedades do solo ou subsolo.
- 4) **Imagens:** Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou sensores aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matriz, cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos na imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.

2.4.2 - Sistema de Informação Geográfica

2.4.2.1 – Histórico e definição

Inicialmente, as operações com dados georreferenciados eram feitas manualmente, através de diferentes maneiras. Com o crescimento do uso dos computadores e das facilidades que eles ofereciam para realizar essas operações automaticamente, começaram a surgir os Sistemas de Informação Geográfica, atualmente conhecidos por SIG.

Os primeiros SIG's surgiram no Canadá, na década de 60, como resultado de um projeto do governo para identificar terras úteis, para a agricultura e reflorestamento usando mapas de solo, clima, drenagem, distribuição de terras. Porém, devido a alguns problemas técnicos como a baixa velocidade de processamento e capacidade de armazenamento, muitos projetos não se mostraram satisfatórios (Olenski, 1994).

Nos anos 70, o SIG atingiu a sua primeira etapa de desenvolvimento, devido ao maior envolvimento que o governo americano passou a ter com os problemas ambientais. Isto fez com que uma grande quantidade de dados geográficos fossem gerados e que precisassem ser manipulados e analisados (Olenski, 1994). Foram desenvolvidos recursos

de *hardware* novos e acessíveis. Enquanto a capacidade de armazenamento da memória aumentava, os custos e o tempo de processamento diminuía. Foi nessa época que surgiram a expressão *Geographic Information System* (GIS ou SIG – Sistema de Informação Geográfica), os primeiros recursos de CAD (*Computed Aided Design*) e também alguns fundamentos matemáticos para a cartografia (Câmara & Davis, 1999).

Na década de 80, iniciou-se uma nova era para a tecnologia do SIG. Nesse período, ocorreu uma massificação causada pelo avanço da microinformática e de estabelecimentos de estudos sobre o assunto, o que proporcionou a popularização e o barateamento das estações de trabalhos gráficos, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) e conseqüentemente a difusão do SIG (Câmara & Davis, 1999).

A partir da segunda metade da década de 80, foram introduzidos no mercado os predecessores das atuais ferramentas de Geoprocessamento, o que favoreceu a integração das bases de dados e bases cartográficas (Ávila & Silveira, 1998).

Atualmente, pode-se observar um grande crescimento na utilização do SIG nas organizações, sendo que o decréscimo dos custos de *hardware* e *software* e também o surgimento de alternativas menos custosas para a construção de bases de dados geográficos, faz com que cada dia mais aumente o interesse destas organizações na utilização destes sistemas (Câmara & Davis, 1999).

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG), é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Devido sua ampla gama de aplicações, que incluem temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes concessionárias (água, energia e telefone), existem pelo menos três grandes maneiras de se utilizar um SIG (Câmara & Davis, 1999):

- Como ferramenta para produção de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos;

- Como banco de dados geográficos, com função de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Segundo Alves (1990), a utilização em larga escala de tais sistemas tornou-se possível a partir da disponibilidade, a custos aceitáveis de diversas tecnologias como a cartografia digital, bancos de dados e o processamento digital de imagens. Um SIG combina estas tecnologias com técnicas de análise e manipulação da informação espacial.

Atualmente, existe uma grande variedade de Sistemas de Informações Geográficas sendo aplicados em diversos campos do conhecimento. Entretanto, qualquer que seja a sua função ou aplicação, os SIG's devem apresentar em comum um conjunto de funções básicas que visam (Câmara, 1994):

- Inserir e integrar numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Para Teixeira *et al.* (1991), todo SIG deve conter funções específicas para tratamento de informações georreferenciadas com base em operações aritméticas e lógicas. Os autores consideram que as operações básicas mais comuns são: medida da distância sobre linhas retas e curvas, cálculo da maior distância entre pontos, cálculos de áreas, zonas de influência, operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação, divisão, etc., operações com mapas binários, operações com polígonos como superposição, tratamento de dados altimétricos, transformação de coordenadas, traçados de redes, tratamento de imagem orbital, etc.

Um SIG possui basicamente cinco componentes principais (Câmara & Medeiros, 1998):

- Interface com o usuário;

- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados organizados sob a forma de um banco de dados geográficos.

De acordo com Câmara & Davis (1998), estes componentes se relacionam de forma hierárquica, mas é importante ressaltar que todos os componentes citados devem estar presentes em um SIG. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos (Figura 6).

Figura 6 – Componentes de um Sistema de Informações Geográfica (Câmara & Medeiros, 1998).

As operações de manipulação num SIG requerem a utilização de técnicas especiais para a organização dos dados, principalmente para permitir a definição de propriedades de natureza espacial. O SIG contempla dois tipos de dados, um geométrico e outro não geométrico (Alves, 1990):

- **Dados geométricos:** descrevem características do próprio espaço ou características geométricas de objetos, como características posicionais, topológicas e amostrais. São diferenciados em *raster*, que são dados que descrevem características do espaço quanto a uma propriedade e correspondem à divisão da área numa matriz de células, sendo que a cada uma das células é atribuído um valor; e *vetor* que são dados que descrevem objetos na forma de vetores de pontos.
- **Dados não geométricos:** são atributos de objetos ou informações auxiliares que descrevem características não geométricas. Para caracterização de dados não espaciais são usados bancos de dados convencionais.

Para Wolski (1997), a eficiência das análises no SIG está condicionada à qualidade das informações introduzidas no sistema. Como na maior parte das situações, os dados existentes estão disponíveis apenas na forma analógica (mapas de traço), torna-se necessário convertê-las para meio digital, prepará-las para a entrada no SIG, introduzi-las no sistema, e só então proceder às análises desejadas. Deste modo, em função do volume de dados que são trabalhados, da precisão cartográfica requerida e da necessidade de recursos humanos aptos, essa etapa é considerada como a mais cara e demorada de um projeto de SIG.

2.4.2.2 – Utilização do SIG como ferramenta de trabalho em projetos ambientais e planejamento urbano

Os SIG's têm sido amplamente utilizados nos trabalhos de Mapeamento Geotécnico desde 1982, quando foi projetado no Canadá o primeiro SIG com a finalidade de realizar o inventário dos recursos naturais daquele país. A partir daí a aplicação dos SIG's associados à utilização de cartas temáticas para avaliação dos recursos naturais e planejamento do uso e ocupação do solo, teve um crescimento significativo.

A utilização dos SIG's para o Mapeamento Geotécnico e Planejamento Ambiental pode ser de grande importância, especialmente quando se trabalha com mapeamento de grandes áreas, em que o volume de informações dificulta as análises por processos não computacionais. As informações provenientes dos levantamentos podem ser armazenadas em bancos de dados no SIG e manipuladas com o objetivo de gerar informações derivadas que possam contribuir ao planejamento do meio físico e à tomada de decisões.

A aplicação do Geoprocessamento na área ambiental, em feita dentre outras, principalmente em instituições ligadas a Agricultura, Meio-Ambiente, Ecologia e Planejamento Regional, que lidam com escalas típicas de 1:10.000 a 1:500.000. Para os autores, as capacidades básicas do SIG para atender a este segmento são: integração de dados, gerenciamento e conversão entre projeções cartográficas, modelagem numérica de terreno, processamento de imagens e geração de cartas (Câmara & Davis, 1999).

A utilização de Geoprocessamento em projetos ambientais requer o uso intensivo de técnicas de integração de dados. Os estudos ambientais, para serem feitos de forma adequada, requerem que o especialista em Geoprocessamento combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geoestatística e modelagem numérica de terreno (Câmara *et. al.*, 1999).

Para Câmara *et. al.* (1998), para que uma aplicação de Geoprocessamento em análises ambientais seja consistente, é preciso que sejam definidos três procedimentos :

- 1) Uma metodologia de integração dos dados que estabeleça a contribuição de cada variável geográfica para o resultado desejado;
- 2) Um roteiro de trabalho, consistindo numa seqüência de etapas a serem cumpridas, incluindo o levantamento, a análise e a síntese;
- 3) Um conjunto de operações executáveis em um SIG, que materialize computacionalmente o procedimento do item 2.

Segundo Câmara *et. al.* (1999), em um projeto de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seu inter-

relacionamento. Assim, pode-se apontar pelo menos quatro áreas ligadas aos Estudos Ambientais, onde o uso da tecnologia de SIG é grande:

- **Mapeamento Temático** são estudos que visam caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento de ações e estudos futuros. Incluem-se os levantamentos temáticos de geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal, dos quais o Brasil ainda é bastante deficiente, especialmente em escalas maiores.

- **Diagnóstico ambiental:** tem por objetivo estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse, com vistas a projetos de ocupação ou preservação.

- **Avaliação de impacto ambiental:** envolve o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente.

- **Ordenamento territorial:** objetiva normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, com vistas a um processo de desenvolvimento sustentado, como os projetos de zoneamento que estão em andamento hoje no Brasil.

Os SIG's voltados para aplicações urbanas, constituem também uma especialidade dentro dos SIG's, como disciplina. O tratamento de informações georreferenciadas tem por objetivos principais, o planejamento e o controle do uso e ocupação do solo para fins de cadastro (tributação imobiliária). A classificação dos dados que devem ser utilizados para trabalhos de planejamento encontram-se descritos na Tabela 6 (Lombardo & Machado, 1996).

2.4.2.3 – Exemplos de aplicação do SIG em projetos de planejamento

A seguir serão apresentados alguns trabalhos onde se utilizou a tecnologia de SIG como ferramenta de auxílio nos trabalhos de planejamento.

Dermentzopoulos & Katsaridis (1997), utilizaram o SIG ARC/INFO no estudo de planejamento urbano da cidade de Piraceus (Grécia). Segundo os autores o uso do SIG possibilita uma análise dos problemas complexos relacionados à associação entre desenvolvimento urbano e parâmetros geotécnicos. O SIG ARC/INFO foi utilizado pelos

autores de dois modos: como uma “máquina de integração” para administrar os vários dados obtidos de diferentes fontes e como uma poderosa ferramenta para modelamento e análise espacial.

Tabela 6 - Dados utilizados para aplicações urbanas orientadas ao planejamento (Lombardo & Machado, 1996)

Classe	Descrição	Escalas	Tipo de Dado
Planejamento para gestão municipal	Subsídios ao planejamento físico-territorial e econômico, como planos diretores e sistemas de tomadas de decisões.	1:10.000 a 1:50.000	Vetorial e raster
Redes de infraestrutura	Planejamento, simulação e gerenciamento das redes de água, esgotos, gás, eletricidade, comunicações e transportes,	1:500 a 1:50.000	Vetorial
Meio ambiente	Controle de poluição ambiental. Sistemas Informatizados para subsídio a relatórios de impacto sobre o meio ambiente (RIMA) e de Impacto sobre a Vizinhaça (RIVI). Prevenção e controle de enchentes e outros desastre naturais. Controle e planejamento da destinação dos resíduos urbanos. Geralmente utiliza-se imagem de satélites	1:20.000 a 1:250.000	Raster e Vetorial

Foram criados mapas temáticos como mapas geológicos e estruturais, de profundidade de rochas, litológicos, topográficos, hidrológicos, sísmicos, etc. Posteriormente, os mapas temáticos foram compilados e foram criados os modelos digitais do terreno (MDT), mapa de declividade, etc. A partir desta etapa, através da técnica de sobreposição, foi possível gerar os mapas geotécnicos sintéticos que foram agrupados em duas categorias: mapas de multifinalidades e mapas de finalidades especiais, conforme a definição da comissão da IAEG (1976). Dentre estes mapas foram elaborados o mapa de zoneamento geotécnico e o mapa de adequabilidade geotécnica para uso urbano.

Gournellos *et. al.* (1997), utilizaram o SIG MAP/INFO, para analisar a inter-relação entre a variáveis geológicas, geomorfológicas e ambientais existentes para a ilha de Zakynthos (Grécia), com o propósito de estudar as estratégias de desenvolvimento apropriadas para administrar recursos naturais, para proteção ambientais, análises de risco e

planejamento regional. A metodologia do trabalho compreendeu basicamente três etapas: coletas de dados; análises dos dados e criação de diferentes mapas temáticos.

Carvalho *et. al.* (1998), desenvolveram um banco de dados para o município de Almada, zona sul da área metropolitana de Lisboa, com o auxílio do SIG–SIGMA. Este banco de dados foi denominado Banco de Dados Geo-Almada, e teve como propósito cobrir todo o território municipal e desenvolver uma ferramenta de suporte para conciliar a administração e o planejamento do uso do solo. Segundo o autor, para lidar com a informação que é gerada constantemente, os dados devem ser armazenados e administrados de uma maneira sistemática em um sistema de fácil avaliação para o potencial de uso, como por exemplo o Banco de Dados de Sistema de Administração (BDSM).

No Brasil, os principais projetos desenvolvidos na área de SIG são citados a seguir (Alves, 1990):

- Projeto RADAM: criou uma extensa base de dados digitais cobrindo a totalidade do território brasileiro com informações relativas aos temas de geologia, geomorfologia, solos, vegetação, recursos naturais, metalogenética e potencial hidrológico;
- Sistema SGI, desenvolvido pelo INPE: objetiva facilitar as tarefas de integração de dados de sensores orbitais com mapas temáticos e outras fontes de dados. Este sistema manipula dados em formato “raster” ou “vetoriais”, combinando mapas, imagens de satélite, modelos numéricos de terreno e informações descritivas;
- SIG’s e aplicações como análise ambiental, levantamento e monitoramento de recursos naturais e planejamento urbano e regional, como os executados por diversas universidades como, por exemplo, a UNESP - Rio Claro, EESC/USP - São Carlos, UnB, etc;
- Projeto SIGA (Sistema de Informação Geográfica da Amazônia): foi utilizado o Geoprocessamento para desenvolver uma base de dados geográficos para a Amazônia Legal, correspondente à 318 folhas das Cartas do Brasil (escala 1:250.000), sobre as quais serão inseridas diversos tipos de dados geográficos;

- EMBRAPA: o Núcleo de Monitoramento Ambiental da EMBRAPA utiliza o geoprocessamento como ferramenta para análise e monitoramento ambiental em projetos que buscam caracterizar a dinâmica, espaço temporal do uso da terra e o impacto ambiental decorrentes da modernização e expansão da agricultura no Brasil.

2.4.3 – Sensoriamento remoto

O Sensoriamento Remoto é uma das mais importantes tecnologias de obtenção de informações para o geoprocessamento. Depende de várias ciências, e tem seu avanço diretamente ligado aos avanços destas. Tem por objetivo expandir a percepção sensorial do ser humano, seja através da visão sinóptica (panorâmica) proporcionada pela aquisição aérea ou orbital da informação, seja pela disponibilidade de se obter informações em regiões de espectro eletromagnético inacessível à visão humana (Amaral,1990).

Segundo o autor, o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos sensores que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra.

O sensoriamento envolve a medida e o registro de energia no espaço e no tempo. Essas observações podem ser reunidas em três domínios, que normalmente se apresentam como imagens bidimensionais de trocas energéticas num determinado instante (Amaral, *op cit.*):

- 1) Espacial: tamanho, forma e distribuição. Neste domínio, grande parte dos esforços é dirigida para as técnicas de tratamento digital de imagens, possibilitando a identificação, delimitação, mensuração e análise de inter-relacionamento de objetos e fenômenos.
- 2) Temporal: variações no decorrer do tempo;
- 3) Físico: trocas energéticas por radiações eletromagnéticas ou alterações em campo de força.

Nas últimas décadas, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os SIG's têm permitido uma análise de dados, contribuindo para estudos interdisciplinares.

2.4.3.1 – Imagens de satélites

Atualmente as imagens de satélite como fonte de dados, tem sido amplamente utilizadas, quer seja em estudos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, urbanos, etc. Devido a sua rapidez, eficiência e abrangência de informações, têm surgido ferramentas cada mais eficientes, possibilitando o monitoramento das mudanças globais na superfície da Terra (Crosta, 1992).

Cada imagem de satélite (Figura 7) é constituída por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha (matriz). A matriz é formada por elementos (*pixel*) que tem sua localização definida com um sistema de coordenadas do tipo coluna (x) e linha (y) e um atributo numérico (z), que indica o nível de cinza, representando a intensidade da energia eletromagnética medida pelo sensor para a área da superfície terrestre correspondente. Para um mesmo sensor remoto, cada *pixel* corresponde sempre a uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra (Lazzarotto, 2000)

Figura 7 – Exemplo de imagem de satélite (INPE, 2000)

Cada *pixel* da imagem é associado a um “rótulo” relativo a um objeto real (solo, vegetação, águas, etc.), que é definido pela reflectância dos materiais que o compõe e está associado a um valor numérico (Crosta, 1992). Uma imagem digital pode então ser vista como uma matriz, de dimensões “x” colunas por “y” linhas, com cada elemento possuindo um atributo “z” (nível de cinza). O Sistema Landsat, por exemplo, gera imagens de 6550x 6550 elementos, o que significa mais de 42 milhões de pixels para cada cena (Lazzarotto, 2000).

As principais características de uma imagem de satélite e que devem ser levadas em consideração em estudos que envolvam a sua análise são: a quantidade e a faixa espectral das bandas do sensor eletromagnético imageadas (resolução espectral), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), o nível de energia registrado pelo sistema sensor (resolução radiométrica) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal) (Barbosa *et al.*, 1999).

Segundo D’Alge (1999), devido à motivos como a alta frequência de recobrimento e o baixo custo operacional, o Sensoriamento Remoto representa uma fonte única de informação atualizada para um SIG. Além disso, a união da tecnologia com os conceitos e teorias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento possibilitam a criação de sistema de informações mais ricos e sofisticados. A integração entre Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento depende da inserção das imagens aéreas ou de satélite na base de dados do SIG. Para isso é necessário que se utilize os procedimentos de correção geométrica de imagens, chamados de geo-referenciamento ou geocodificação.

As imagens de satélite estão cada vez mais sendo utilizadas em qualquer atividade que envolva o conhecimento do recobrimento do solo em nível regional. Com imagens como o Landsat Thematic Mapper (TM), Spot High Resolution (HRV) e IKONOS vários estudos são realizados para acessar o potencial das técnicas de processamento digital de imagens para mapear, monitorar e planejar.

As possibilidades das técnicas de sensoriamento tem proporcionado uma grande variedade de aplicação. Há algum tempo pesquisadores vêm desenvolvendo estudos visando aprimorar o potencial das técnicas de Sensoriamento Remoto.

Garcia (1982) apresentou uma listagem de áreas em que a aplicação do Sensoriamento Remoto teria um grande avanço (Tabela 7). Para o autor, cada país apresenta a sua prioridade e necessidade a serem satisfeitas em função de suas peculiaridades geo-econômicas, tempo e recursos financeiros. No Brasil, as prioridades seriam:

- Inventário dos recursos naturais e levantamento do uso da terra;
- Locação de áreas para prospecção mineral e energética;
- Elaboração e atualização de mapas.

Tabela 7 - Áreas de desenvolvimento de aplicação do Sensoriamento Remoto (Garcia, 1982)

Área	Aplicação
Água	- inventário e manejo de recursos hídricos para uso agrícola e industrial;
	- distribuição da umidade do solo;
	- Qualidade da água (controle de descargas com poluentes químicos, térmicos e biológicos);
	- correntes térmicas e distribuição da salinidade (recursos marítimos e pesca);
Solo e Vegetação:	- inventário e planejamento do uso da terra
	- classificação e conservação do solo
	- inventário e planejamento da exploração de recursos minerais
	- avaliação da queda do vigor das plantas (pragas, moléstias e deficiências minerais)
	- controle da poluição do solo
Atmosfera	- cartografia
	- mapeamento climático (distribuição de nuvens e previsão do tempo)
	- temperatura horizontal e vertical e distribuição do vapor d'água
	- controle dos teores e distribuição dos constituintes menores da alta atmosfera em termos globais
	- controle da poluição na baixa atmosfera dentro de áreas limitadas (emissão de automóveis e indústrias)
Outros	- controle de tráfego
	- atualização do crescimento de áreas urbanas
	- controle e proteção da vida selvagem
	- estudos sobre acidentes radioativos em usinas nucleares.

Além destas áreas, o Sensoriamento Remoto tem sido amplamente utilizado em diversas outras áreas. Lazzarotto (2000), mencionou as seguintes áreas em que foi utilizada imagem de satélite como ferramenta auxiliar do trabalho:

- **Análise e monitoramento do uso da terra:** informações atualizadas de uso e recobrimento da terra podem ser úteis no inventário de recursos naturais, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados e em evolução, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas, etc.

- **Agricultura:** aplica-se a atividades de levantamento e caracterização de solos ou identificação e mapeamento de culturas.

- **Floresta:** fornece diversas aplicações com relação a estudos florestais como, inventário florestal, prevenção de incêndios florestais, locação de estradas, identificação de extratos e tipologias florestais.

- **Geologia e geomorfologia:** o Sensoriamento Remoto pode ser aplicado na geologia em trabalhos de mapeamento geológico básico e em pesquisas mineral. Já na geomorfologia, pode-se avaliar os reflexos da atividade antrópica sobre a estabilidade dos sistemas de formas de relevo.

- **Planejamento municipal e regional:** utiliza-se o sensoriamento em levantamento, mapeamento e monitoramento de uso e ocupação atual e multitemporal do solo urbano e rural, estradas, acessos, ferrovias, linhas de alta tensão, bem como áreas adjacentes, mananciais de abastecimento e qualidade de água.

- **Recursos hídricos:** o uso do sensoriamento é incorporado ao estudo de recursos hídricos em análise quantitativa de imagens e fotografias aéreas que permite a identificação de alterações locais na cor e no volume de água de rios e reservatórios; mapeamento de superfícies líquidas, identificação de sistemas de falhas e fraturas; análise quantitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades espectrais da água.

Em recursos hídricos, o sensoriamento remoto tem uma vasta aplicação no que diz respeito a estudos ambientais. Segundo Garcia (1982), a aplicação das imagens de sensoriamento remoto em recursos hídricos permite:

- Observar visualmente o sistema hidrográfico de uma região, visando, por exemplo, à coleta de amostras de água;
- Definir a dimensão, forma geométrica, padrão, localização geométrica e distribuição da rede hidrográfica;
- Obter um relacionamento entre as características espectrais do terreno e as determinadas bandas e características próprias da água ou de elementos nela dispersos. Além disso, o sensoriamento remoto permite que seja feita a caracterização da vegetação, análise de redes de drenagem e caracterização dos tipos de solos e geologia.

2.4.4 – Geomorfologia e Pedologia aplicadas ao meio ambiente

O solo ocorre na paisagem compondo unidades ou compartimentos delimitáveis por meio da distinção de características morfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, etc) dos horizontes pedológicos e das características físicas e químicas (Salomão & Antunes, 1998).

A compreensão da gênese e evolução das formas de relevo e dos processos morfogenéticos atuais é essencial ao melhor enfoque dos problemas ambientais; permitindo um uso mais racional da natureza, contribuindo para o equacionamento dos problemas de conservação e/ou preservação de recursos naturais e melhorando o nível de planejamento (Modenesi & Hiruma, 1999).

Os solos refletem um equilíbrio frágil entre relevo, clima e vegetação. As vertentes evoluem com a evolução dos solos. Uma situação de equilíbrio desses três elementos, ao longo de um perfil de encosta, resulta em uma toposequência também em equilíbrio. Um desequilíbrio qualquer (climático, tectônico ou antrópico) pode acelerar os processos de desgaste (intemperismo mecânico) em relação à decomposição das rochas (intemperismo químico), podendo causar também o desequilíbrio morfogenético que acelera a evolução das vertentes (Penteado, 1983).

Para que a aplicação da geomorfologia em problemas relacionados ao meio ambiente seja eficaz, é preciso que além dos processos geomorfológicos entenda-se também o comportamento dos solos nas feições geomorfológicas.

A gênese do solo está diretamente relacionada à evolução geomorfológica de uma área. A geomorfologia aplicada preocupa-se tanto com as formas de relevo como também com os solos e os processos que atuam sobre eles, buscando assim relacionar as formas de relevo, os materiais e os processos de formação do solo com o planejamento ambiental (Merico, 1989).

A influência do relevo na formação do solo manifesta-se basicamente pela sua interferência na dinâmica e nos processos de erosão e sedimentação. Entretanto, deve-se considerar também as características dos terrenos relacionados à percolação das águas superficiais e subsuperficiais (Salomão & Antunes, 1998).

O fator clima deve ser colocado em evidência, pois a mesma rocha pode formar solos diferentes se decompostos em diferentes climas. Assim como, rochas diferentes podem formar solos idênticos quando submetidas ao mesmo ambiente climático de intemperismo (Amaral & Leinz, 1962).

Os tipos de solos são definidos dentro de duas categorias: solos residuais e solos transportados:

a) Solos residuais ou autóctones.

Solo residual é todo aquele formado no local diretamente da desagregação da rocha subjacente ao perfil do solo (Salomão & Antunes, 1998), ficando a estrutura original da rocha totalmente destruída pela alteração.

Os principais fatores que determinam a formação desse tipo de solo são o clima e a rocha matriz. O clima define, principalmente a espessura e o número de horizontes do solo residual, enquanto a principal contribuição da rocha matriz é o condicionante da composição mineralógica do solo resultante, que é determinante para definir a granulometria, a plasticidade e o tipo de argilo mineral presente no solo, definindo então grande parte do comportamento geomecânico dos solos residuais (Gomes, 1996).

b) Solos transportados ou alóctones.

São os solos que se formaram a partir do transporte dos materiais resultantes do intemperismo. Dependendo dos agentes responsáveis pelo transporte podem ser chamados de (Salomão & Antunes, 1998):

- Coluvionares: transportado pela ação da gravidade;
- Aluvionares: transportado pela ação da água;
- Glaciais: transportado pelas geleiras;
- Eólicos: transportado pelo vento.

Os solos transportados têm como sua maior fonte, os grãos minerais que constituem os solos residuais, incluindo blocos de rochas ou fragmentos de minerais mais resistentes. Durante o transporte, esses materiais ficam sujeitos à abrasão e à desagregação, sendo que, no caso das argilas, a desagregação geralmente atinge a fase de suspensão coloidal. As transformações mineralógicas não são comuns durante o transporte, porém, novos minerais podem ser formados na fase de deposição. Como os processos são superficiais, os solos transportados podem englobar materiais e restos orgânicos (Gomes, 1996).

Para Cunha & Guerra (1996), existem relações entre o Meio Ambiente, Geomorfologia e Sociedade. A Geomorfologia busca desenvolver um papel integrador visando compreender os processos de evolução do relevo e dos impactos causados pela ação antrópica, não deixando de incorporar em suas observações e análises as relações políticas-econômicas, que são importantes na determinação dos resultados dos processos e mudanças.

Além disso, a Geomorfologia deverá se preocupar com os efeitos (impactos) que um empreendimento trará ao relevo, como por exemplo, a indução aos impactos indiretos: erosão, assoreamentos, movimentos de massa, inundações ou aos impactos diretos: cortes, aterros, desmontes de morros, drenagens, desvios de canais, etc. (Ross, 1996). Sua aplicação nos estudos ambientais é dirigida basicamente para o planejamento ambiental, planejamento regional, planos diretores municipais, Avaliação de Impactos Ambientais (AIA's).

Em estudos de AIA, a Geomorfologia atua como elemento integrador através da caracterização dos padrões de formas e vertentes e suas relações com os solos, rochas e climas. Através da classificação das formas de relevo quanto a sua gênese e dinâmica atual

e conseqüentemente sua fragilidade, identifica áreas susceptíveis a erosões, deslizamentos, assoreamentos, inundações, movimentos de massa, etc. (Cunha & Guerra, 1996).

O estudo das vertentes representa um dos mais importantes setores de pesquisa geomorfológica, englobando a análise de processos e formas. As vertentes se constituem no objeto primordial da geomorfologia, pois são os componentes básicos de qualquer paisagem (Christofolletti, 1974).

Os processos geomorfológicos são os responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando a ação da dinâmica externa sobre as vertentes. O estudo dos processos geomorfológicos produz informações de ordem teórica, explicando a evolução das vertentes e esculturação do relevo e de ordem prática, fornecendo informações com o propósito de aplicabilidade na técnica de conservação dos solos (Christofolletti, *op cit.*).

Os mais importantes processos geomorfológicos são:

1) Processos Intempéricos

O intemperismo corresponde a uma mudança dos minerais às novas condições físico-químicas vigentes. As rochas alteram-se a novos minerais que estejam em equilíbrio com as condições de superfície. Descrições do estado de intemperismo dos materiais rochosos é de particular importância na geologia de engenharia devido ao seu profundo efeito nas propriedades físicas mecânicas (Merico, 1989).

A formação dos perfis de intemperismo representa uma grande importância no desenvolvimento do solo. Este por sua vez, inicia-se com o intemperismo, que é a ação dos fenômenos químicos e físicos sobre a rocha, formando resíduos sólidos não-consolidados, conhecido também como regolito.

O clima controla os processo de intemperismo através das temperaturas e das precipitações e, indiretamente através da cobertura vegetal, e o resultado da atuação desses fatores é o desenvolvimento dos solos. Além da ação do intemperismo, a ação dos seres vivos é essencial no processo pedogenético. A decomposição do húmus e dos microorganismos libera CO₂ e outros ácidos que vão atuar no ataque dos minerais. A natureza da camada de detritos vegetais decorre de condições bioclimáticas e é função de duas variáveis (Penteado, 1983):

- Velocidade de acumulação: depende do tipo de vegetação;
- Velocidade de destruição: depende da atividade bacteriana, que é função da unidade e calor.

Os fatores que condicionam o intemperismo são divididos em dois grupos: fatores endógenos e exógenos (Porto, 1996):

- Fatores endógenos:** estão diretamente relacionados à natureza do substrato rochoso e à tectônica associada. Um dos principais fatores endógenos que condicionam o intemperismo é a composição mineralógica do substrato rochoso, já que esta influencia no seu grau de alteração, de acordo com a suscetibilidade de alteração dos minerais presentes. Outros fatores como a granulometria, o *fabric* e os planos de fratura ou clivagem também detem uma grande importância no intemperismo das rochas.
- Fatores exógenos:** são interdependentes e basicamente controlados pelas condições climáticas e geomorfológicas. A presença de cobertura vegetal e o regime hidrológico favorecem a formação dos solos em situação de livre circulação de fluidos e constante lixiviação, o que evita a saturação das soluções e a conseqüente diminuição de sua reatividade.

As alterações das propriedades físicas, químicas e mineralógicas no manto de intemperismo se dão progressivamente de baixo para cima, até atingir os solos em superfície, procurando sempre atingir o equilíbrio com as condições ambientais vigentes. É no manto de intemperismo que atuam também os processos geomorfológicos, o que faz com que seja fundamental entender os processos responsáveis pela formação do solo como um todo e não apenas superficialmente, para que se possa efetuar estudos relativos ao meio ambiente. A partir da execução da compartimentação dos terrenos em regiões que sofrem ou sofreram processos evolutivos comuns, pode-se observar a influência do homem sobre o meio, que de certa forma pode acelerar ou redirecionar os processos naturais (Porto, 1996).

2) Processos Erosivos

Segundo o IPT (1980), erosão é o processo de desagregação e remoção das partículas do solo pela ação combinada da gravidade com a água, gelo, vento e/ou organismos.

Na maioria das vertentes predominam as ações das chuvas, escoamento superficial e subsuperficial. A erosão é influenciada pelo clima e litologia, sendo que as características do solo, vegetação e topografia estão interrelacionadas com os anteriores. O tipo de erosão varia com o tipo de escoamento superficial; o escoamento difuso provoca erosão laminar e o escoamento concentrado, erosão em sulcos (ravinas e voçoroca). O escoamento superficial também é função da forma das vertentes (Merico, 1989):

- Vertentes convexas são dispersoras de fluxo, provocando escoamento difuso.
- Vertentes côncavas, coletoras de fluxo, provocando escoamento concentrado.

Os processos de *piping* podem ter pouca significação em algumas vertentes, porém, podem tornar-se importantes caminhos para a água subterrânea causando colapso e formação de voçorocas. Os estudos dos processos erosivos são muito importantes na determinação do potencial erosivo de uma área e conseqüentemente no uso do solo, tais como a expansão urbana, abertura de vias, etc (Merico, 1989).

3) Movimentos de Massa

Movimento gravitacional de massa é a descida de material das vertentes (solo ou rocha), pela influência da gravidade com ajuda direta da água. A grande variedade dos materiais e processos envolvidos determinam os tipos de movimentos, condicionados pela velocidade e mecanismo, material, modo de deformação, geometria do movimento e quantidade de água (Merico, 1989). Os processos mais importantes são (Christofolletti, 1974):

- a) Rastejo (*Creep*): corresponde ao deslocamento das partículas, promovendo movimentação lenta e imperceptível dos vários horizontes do solo. A velocidade do rastejamento é maior na superfície e gradualmente diminui com a profundidade, chegando a ser nula, tornando-se incapaz de desgastar ou causar abrasão nas rochas soterradas.
- b) Solifluxão: corresponde aos movimentos coletivos do solo quando este se encontra saturado de água, podendo-se deslocar alguns centímetros ou pouco decímetros por hora ou por dia. Ocorre quando a presença de uma camada impermeável do solo impede a penetração da água, provocando a concentração e saturando a camada sobrejacente. Rompido o limite de fluidez, ocorre um flir de uma parte do solo pela vertente.

c) Deslizamento: são as formas mais comuns de movimentos de massa que ocorrem nos solos, corresponde aos deslocamentos de uma massa de solo sobre um embasamento saturado de água. A função de nível de deslizamento pode ser dada por uma rocha sã ou por um horizonte do solo possuidor de maior quantidade de elementos finos, siltes ou argilas, favorecendo atingir de modo mais rápido o limite de plasticidade e o de fluidez.

d) Desmoronamento: é o deslocamento rápido de um bloco de terra, quando o solapamento criou um vazio na parte inferior da vertente. Geralmente ocorrem em vertentes íngremes, sendo comuns nas falésias litorâneas, nas margens fluviais e em muitos cortes de rodovias e ferrovias.

As vertentes e as formas de relevo podem ser caracterizadas por uma série de índices morfométricos obtidos a partir de análises cartográficas, que fornecem informações indispensáveis para a caracterização do relevo. Os índices morfométricos mais utilizados para a descrição do relevo são (Moreira & Neto, 1998):

- Altitude: altura do relevo em relação ao nível do mar, sendo indicada diretamente nas cartas topográficas;
- Amplitude: refere-se à altura da feição do relevo, ou seja, a altura entre o topo da saliência e o fundo da reentrância contígua, que é obtida pela diferença entre a cota do topo e a cota do fundo do vale;
- Comprimento de rampa ou da vertente: distância entre a linha do divisor de águas e a linha de talvegue (canal), traçada perpendicularmente à forma;
- Declividade (ou inclinação): refere-se à relação entre a amplitude e o comprimento de rampa, que pode ser expressa em grau ou porcentagem.

CAPITULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tem por objetivo executar o Zoneamento Geoambiental da Bacia do Rio Pardo, na escala 1:100. 000. Para isso, a metodologia utilizada para compartimentar a área e promover o zoneamento, foi a técnica de compartimentação de bacias hidrográficas proposta pelo engenheiro Otto Pfafestetter (1989), denominada de Ottobacias. Esta metodologia consiste em compartimentar e codificar qualquer bacia hidrográfica, independente da sua área, utilizando dez algarismos.

Para a área em questão a compartimentação foi executada até o nível em que se alcançou uma homogeneidade tal que permitisse a análise dos atributos referentes ao meio físico e a definição de unidades geoambientais.

Para a realização do trabalho, procurou-se utilizar materiais disponíveis para a área estudada, sendo eles artigos, dissertações e teses, além de mapas e cartas elaboradas em projetos anteriores, fotografias aéreas e imagens de satélites. As etapas do desenvolvimento do trabalho foram distribuídas conforme fluxograma apresentado na Figura 8.

Inicialmente foi feito um levantamento da literatura existente, consistindo em uma revisão bibliográfica, com o objetivo de obter informações tanto em relação às metodologias de zoneamento geoambiental a partir de estudos geológicos-geotécnicos, como também quanto às técnicas que foram utilizadas como ferramentas auxiliares no processo de zoneamento geoambiental da área em questão.

Como resultado deste levantamento e visando a obtenção dos atributos do meio físico, optou-se por utilizar como base metodológica para o desenvolvimento do mapeamento geotécnico, a metodologia proposta por Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997). Esta metodologia baseia-se

na produção e na análise de uma série de documentos cartográficos representando o meio físico, que associada a outros documentos relativos aos componentes do meio ambiente, permite analisar a viabilidade de ocupação e conseqüentemente a priorização e hierarquização das áreas segundo a sua adequabilidade. Além disso, sugere que seja feita uma análise seqüencial dos componentes do meio físico, para que se possa ordenar e adquirir os atributos através da hierarquização dos mesmos.

Como metodologia para promover o zoneamento geoambiental foi adotada a metodologia utilizada pelo Departamento de Geotecnia da EESC-USP e que se fundamenta na metodologia proposta por Cendrero (1975). Como exemplos de aplicação desta metodologia podem-se citar os trabalhos desenvolvidos por Grecchi & Pejon (1998) e Lopes (2000).

Juntamente com a revisão bibliográfica foi feito um levantamento das informações produzidas em trabalhos anteriores que envolvessem a área mapeada, e que estivessem relacionados ao meio físico. Para isso, foram realizadas visitas a órgãos públicos e instituições de ensino.

Como resultado deste levantamento foram obtidas 29 cartas topográficas em escala 1:50.000, publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1971), e que foram utilizadas para compor a base topográfica e cartográfica do trabalho.

Em relação ao substrato rochoso e material inconsolidado, foram obtidos e posteriormente utilizados como fonte de pesquisa, trabalhos desenvolvidos pela EESC, IG, UNESP, USP-Ribeirão Preto, NUCLEBRAS e DNPM.

As fotografias aéreas adquiridas constituíram, juntamente com a base topográfica, um dos principais instrumentos para obtenção dos atributos referentes ao meio físico, considerados essenciais para promover o zoneamento. Foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:60.000 da FAB/USAF, obtidas em vôos realizados no período entre 1964 e 1966. Por meio da fotointerpretação em conjunto com observações extraídas do mapa topográfico foi gerado o mapa preliminar de *Landforms* e obtidas informações referentes aos tipos litológicos existentes na área mapeada.

Foram utilizadas também imagens de satélites LANDSAT 5 série *Thematic Mapper* –TM datadas de setembro de 1999, bandas 4, 5 e 3, com a finalidade de gerar o mapa de uso e ocupação para a Bacia do Rio Pardo.

A primeira etapa do trabalho consistiu na obtenção de dados referentes a caracterização do meio físico e sócio-econômica-ambiental da bacia como um todo. Para isso, foram realizadas pesquisas em órgãos federais, estaduais e municipais, citando-se, a CPRM (SP), IGAM (MG), IBGE (SP e MG), EMATER (MG), CPFL e IG. Como complemento à caracterização sócio-econômico-ambiental, foi enviado às prefeituras dos municípios pertencentes ao Estado de Minas Gerais que fazem parte da Bacia do Rio Pardo, um questionário, a exemplo do desenvolvido pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo no Estado de São Paulo e que foi enviado para os municípios pertencentes à porção paulista da bacia. Este questionário foi apresentado no Relatório Zero da Bacia do Rio Pardo e basicamente englobou dados referentes a política urbana, sistema de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos, mineração e dados sócio econômicos.

Terminada a etapa de pesquisa e levantamento de informações, passou-se para a segunda etapa, que compreendeu a confecção dos documentos fundamentais básicos. Estes documentos foram gerados com o auxílio de informações obtidas na etapa anterior e resultou na confecção dos mapas preliminares de *landforms*, topográfico, rede de drenagens e substrato rochoso, sendo este último, gerado basicamente através da compilação dos documentos desenvolvidos em trabalhos anteriores para a área estudada.

Concluída a segunda etapa, passou-se para a terceira etapa, onde tiveram início os trabalhos de campo, em que foram realizadas campanhas com o objetivo de caracterizar o meio físico em relação aos atributos considerados relevantes neste trabalho, tanto de cunho geológico, geomorfológico, hidrogeológico e ambiental, visando assim proporcionar maior precisão aos documentos preliminares gerados na etapa anterior. Com relação ao substrato rochoso, foram analisados aspectos referentes a litologia, mineralogia, cor e presença de estruturas. Para os materiais inconsolidados foi feita uma classificação táctil-visual caracterizando-os quanto a origem, cor, espessura, textura e grau de intemperismo. Os *landforms* foram caracterizados quanto aos tipos de encostas, formas de topos, vales, amplitude do relevo e densidade de drenagem. Referente a questão ambiental, procurou-se fazer um levantamento sobre os principais problemas geoambientais que ocorrem na bacia. Para auxiliar a obtenção das informações nos trabalhos de campo foi utilizada uma ficha de campo conforme apresentado na Figura 9.

Finalizada as campanhas de campo, deu-se início a quarta etapa onde as informações obtidas nas etapas anteriores foram sistematizadas e tratadas, através da utilização dos *softwares* AutoCAD[®] para digitalização das bases de informações e tratamento final da carta de zoneamento geoambiental; ENVI[®] para processamento digital de imagens e ArcView GIS[®] 3.1 para geração da carta de declividade e operações matemáticas para análise do grau de homogeneidade dos atributos, para as unidades definidas na compartimentação da área. O detalhamento dos procedimentos adotados para a elaboração de cada documento cartográfico, encontra-se detalhado nos capítulos 5 e 6.

Cabe ressaltar que as etapas citadas não foram desenvolvidas de modo seqüencial e sim à medida que novas informações eram obtidas permitindo assim o desenvolvimento do processo.

Por fim, a última etapa deste trabalho, constituiu-se do desenvolvimento, aplicação e estruturação da metodologia de compartimentação e ordenamento de bacias hidrográficas denominada Ottobacias (Pfafstetter, 1987), que foi utilizada para tratar as informações e promover o zoneamento geoambiental e da redação final do texto da tese.

Figura 8 – Etapas do desenvolvimento do projeto

Data:			Ficha de Campo:				
Coord. N	Localização	Faixa de Vão	Sub Bacia rio				
Coord. S		Foto Aérea	Obs.				
Altitude		Pto referencia					
Substrato Rochoso							
Tipo Litológico	Tipo Geotécnico	Cor	Extensão lateral/espessura	Mineralogia	Estrutura		
Material Inconsolidado							
Origem	Cor	Espessura	% argila	% areia	Estrutura	Contato	Seixo
							Laterita
							Frag de rocha
Feições Erosivas							
Estado atual	Desenvolvimento	Dimensão	Observações	Surgência de água	Clima		
Ativo	Incipiente	Compr.		Sim	Sol		
Dorm.	Médio	Larg.		Não	Chuva		
Estabilizado	Avançado	Prof.					
Landform Associados							
Formas de relevo	Formas de encostas	Forma de Vale	Altitude Média	Declividade	Croqui		
Colina	Conc-conv	U	< 10	Alta			
Morrote	Conv-conc	V	10-30	Media a alta			
Morro	Convexa	Tabular	30-100	Media			
Escarpa	Concava		100-300	Media a baixa			
Vale	Retilíneo		> 300	Baixa			
Uso e ocupação do solo							
Área de aterro ou entulho		Zona urbana muito adensada		Área industrial	Mata virgem		
Área de exploração mineral		Zona urbana adensada		Estradas	Zona de plantio		
Área de plantio		Zona urbana pouco adensada		Área desertificada	Área de proteção ambiental		
Pastagem		Unidades de Conservação		Mata ciliar	Reflorestamento		
Observações Finais							

Figura 9 - Ficha utilizada na etapa de trabalho de campo.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1 – Localização da área de estudo

A Bacia do Rio Pardo encontra-se localizada entre as coordenadas 20°45' e 22° 15'S e 46°00' - 46°15''W. Compreende terrenos drenados pelo Rio Pardo e seus afluentes desde a sua nascente na Serra do Servo, município de Ipuiúna, Estado de Minas Gerais até a confluência com o Rio Mogi Guaçu no município de Foz do Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, totalizando uma área de aproximadamente 12.588 Km² (Figura 10).

Abrange 41 municípios com áreas totais ou parciais, sendo que destes, 28 municípios pertencem ao Estado de São Paulo e 13 pertencem ao Estado de Minas Gerais (Menezes, 2000), destacando-se alguns centros de maior importância como a cidade de Poços de Caldas (MG), foco turístico, caracterizado pelas estâncias hidrominerais; a cidade de São José do Rio Pardo (SP), região predominantemente agrícola e com presença de algumas hidrelétricas e a cidade de Ribeirão Preto (SP), pólo regional com muitas indústrias e grandes propriedades rurais.

O acesso é feito principalmente pela Rodovia Anhanguera (SP-330), a partir da capital do Estado e pela Rodovia SP-340, a partir de Campinas (Campinas-Mogi Guaçu-Casa Branca). Além destas rodovias, destacam-se também a SP-333 (Ribeirão Preto – Cajuru), SP-253 (SP-330 - Santa Rosa de Viterbo), SP- 338 (Cajuru-SP-340) e SP-350 (Casa Branca – São Jose do Rio Pardo-Poços de Caldas).

Apesar de o Rio Pardo ter a sua nascente localizada no Estado de Minas Gerais, a maior parte do seu curso se desenvolve no Estado de São Paulo. É nesta fração que se encontra localizada a maior parte das atividades industriais, agropecuárias e agrícolas, o

que favorece o desenvolvimento das atividades antrópicas e as diferentes formas de uso e ocupação do solo.

Figura 10 - Localização da área de estudo

4.2 – Vegetação

A vegetação da área é constituída basicamente por espécies pertencentes à família das Spermatophytas ou Fanerógamas, ocorrendo também briófitas e pteridofitas. Na parte da bacia pertencente ao Estado de São Paulo, são observadas áreas remanescentes de cerrados, capoeiras e espécies representativas da Floresta Semidecídua (SMA, 1997b).

Na porção mineira da bacia, de acordo com Lima (1966), *apud* Cavalcante *et al.* (1979) a cobertura vegetal da área é representada pela Floresta Mesófila, que se classifica como uma formação florestal estacional, latifoliada, subcaducifólia, sendo os tipos vegetais mais comuns: o cedro, a figueira e o pau d'alho.

Na maior parte da bacia, a vegetação nativa praticamente é inexistente, sendo observada nos topos dos morros e nas encostas com altas declividades. As intensas

atividades que representam o uso e ocupação do solo promoveram a substituição da cobertura vegetal original por áreas de pastagens e grande áreas de cultivo.

4.3 – Geomorfologia

Geomorfologicamente, a bacia é representada por paisagens pertencentes à Depressão Periférica, Cuestas Basálticas, Planalto Ocidental Paulista (Almeida, 1974), Planalto de Caldas (IPT, 1981) e o Planalto de Serra Negra/Lindóia (Ross & Moroz, 1997).

A Depressão Periférica localiza-se na borda leste da Bacia do Paraná e caracteriza-se por apresentar relevo com formas suavizadas, levemente onduladas constituídas por colinas amplas, morros amplos, colinas médias, morrotes alongados e espigões; planícies aluviais e encostas sulcadas por vales subparalelos, com média densidade de drenagem; vales abertos, declividades ente 5 e 10 % e altitudes que oscilam entre 500 e 650 metros (Ab'Saber, 1970).

As Cuestas Basálticas ocorrem nas bordas dos derrames basálticos, sendo formadas por litologias pertencentes à Formação Botucatu e Serra Geral. Caracteriza-se por apresentar um relevo acidentado nos limites com a Depressão Periférica seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado. Apresenta formas dissecadas com vales entalhados e alta densidade de drenagem (Ross & Moroz, 1997). Litologicamente é formada por rochas basálticas sobrepostas aos depósitos das formações Pirambóia e Botucatu.

O Planalto Ocidental Paulista é caracterizado por um relevo monótono, levemente ondulado, constituído por colinas com topos extensos e aplainados, vale aberto com presença de planícies aluviais interiores restritas e fortes variações no sistema de drenagem (Ross & Moroz, 1997).

Ocorre ainda a presença de formas de relevo pertencentes ao Planalto de Caldas, onde é comum observar Serras Alongadas e Morros com Serras Restritas (IPT 1981c). O Planalto de Serra Negra/Lindóia caracteriza-se por formas de relevo denudacionais constituída basicamente por morros e cristas com topos aguçados e convexos. Possuem entalhamento dos vales variando entre 20 m até 160 m e as altitudes variam entre 700 e 1.100 m. As declividades nos níveis mais baixos estão entre 20 e 30%, enquanto que nas áreas serranas atingem com freqüência índices superiores a 40% (Ross & Moroz, 1997).

4.4 – Caracterização sócio-econômica

De acordo com os dados do último censo do IBGE (2000), os municípios cuja área urbana encontra-se dentro dos limites da bacia (Tabela 8) somam um total de 1.424.714 habitantes.

A partir do século XVIII, o desenvolvimento econômico da região estruturou-se nas atividades agrícolas e pecuárias. Posteriormente, no século XIX, ocorreu o desenvolvimento da cultura do café, que exerceu grande influência no crescimento demográfico e econômico dos municípios constituintes da bacia, sobretudo no território paulista. Na porção mineira da bacia, a ocupação se deu por volta do século XVIII, com o início da busca pelo ouro, sendo que também era exercida nesta época a atividade agropecuária. O processo de ocupação foi intensificado com o ciclo do café no século XIX, originado de São Paulo. A partir daí tiveram início outras atividades, como a pecuária leiteira e a indústria alimentícia. Na década de 70 surgiram as atividades ligadas à produção mineral e também ao turismo, sendo a cidade de Poços de Caldas considerada uma das mais importantes estâncias hidrominerais do Estado de Minas Gerais (SMA, 1995).

Segundo SMA (*op cit.*), atualmente a economia da área se resume basicamente nos seguintes setores:

Açúcar e álcool – desenvolvido basicamente na porção paulista da bacia, sendo considerada a mais importante região produtora do Estado. Possui 27 usinas e 19 destilarias, apresentando uma produção de mais de 40% do total estadual e 24% do país.

Complexo de papel, celulose e reflorestamento – existem na Bacia do Rio Pardo, quatro municípios pertencentes ao Estado de São Paulo, com áreas reflorestadas. Através do zoneamento econômico e florestal do Estado de São Paulo e zoneamento agrícola, foram delimitadas áreas prioritárias para o reflorestamento e áreas críticas quanto à conservação, que são parcialmente ocupadas por empresas de papel, celulose e chapas de madeira.

Industrial – o principal município que tem se destacado desde a década de 70 nas atividades industriais é o município de Ribeirão Preto. Isso se deve a modernização na agricultura regional, o que proporcionou uma diversificação na agroindústria e malha viária e conseqüentemente induziu a instalação de diversas indústrias na área. Os principais setores industriais são os alimentares, de fertilizantes, álcool, calçados e de máquinas e implementos agrícolas.

Tabela 8– População da Bacia do Rio Pardo

Município	População (hab)	Município	População (hab)
Altinópolis	15.868	Monte Santo de Minas (MG)	21.616
Arceburgo (MG)	8.198	Morro Agudo *	25.428
Bandeiras do Sul (MG)	5.067	Orlândia *	36.004
Batatais *	52.586	Poços de Caldas (MG)	140.993
Botelhos (MG)	15.281	Pocinhos do Rio Verde (MG)	Pertence a Caldas
Brodowski	17.844	Pontal	29.681
Caconde	18.608	Ribeirão Preto	520.502
Cajuru	21.244	Sales Oliveira	9.681
Caldas (MG)	12.849	Santa Rita de Caldas (MG)	9.282
Campestre (MG) *	21.208	Santa Rosa do Viterbo	21.906
Casa Branca	27.144	Santo Antonio da Alegria *	5.746
Cássia dos Coqueiros	2.903	São Jose do Rio Pardo	51.234
Cravinhos	29.642	São Sebastião da Gramma	12.590
Divinolândia	12.059	São Simão	14.030
Guaranésia (MG)	19.128	Serra Azul	7.714
Guaxupé (MG)	48.598	Serrana	34.577
Ibitiura de Minas (MG) *	3.301	Sertãozinho *	98.007
Ipuiuna (MG)	9.212	Tambau	22.763
Itobi	7.610	Tapiratiba	13.182
Jardinópolis	32.119	Vargem Grande do Sul	37.428
Mococa	67.089		

Obs. * municípios que não possuem área urbana dentro dos limites da Bacia do Rio Pardo.

Pecuária leiteira – ultimamente tem sido considerada como atividade em ascensão na área da bacia, sendo os municípios que mais se destacaram, Mococa, Cajurú, São José do Rio Pardo, Tapiratiba e Brodowski.

Café – atualmente, este tipo de cultura tem se desenvolvido basicamente na porção mineira da bacia, principalmente no município de Guaxupé (MG)

Laranja – considerada como lavoura permanente, especialmente na porção paulista da bacia.

Culturas diversas: resumem-se as lavouras temporárias que se desenvolveram na bacia, podendo-se citar, amendoim, batata inglesa, arroz, feijão, milho, soja e tomate.

Mineração – esta atividade tem sido desenvolvida em vários municípios da área, sendo que os bens explorados são basicamente os utilizados na construção civil,

como areia, rocha para brita, cascalho e argila no Estado de São Paulo e bauxita, granito e urânio no Estado de Minas Gerais.

Turismo – é uma atividade que está em amplo crescimento na Bacia do Rio Pardo. Podem-se citar como áreas de interesse turístico as estações ecológicas, instâncias climáticas e hidrominerais, áreas de proteção ambiental, florestas estaduais, sítios arqueológicos, áreas de interesse cultural, além das áreas destinadas a esportes radicais.

4.5 - Aspectos ambientais

Os dados referentes aos aspectos ambientais foram obtidos do Relatório de Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos e Estabelecimento de Diretrizes Técnicas para Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Albuquerque Filho, 2000), realizado para a porção paulista da bacia e também de informações obtidas em trabalhos de campo.

Com o objetivo de expandir os dados ambientais para a porção da bacia localizada no Estado de Minas Gerais, foi elaborado um questionário a exemplo do desenvolvido pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo para os municípios pertencentes à porção paulista da bacia. Este questionário foi enviado às prefeituras dos municípios e englobou basicamente, dados referentes à política urbana, sistema de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos, mineração e dados sócio econômicos. Entretanto, esta iniciativa não foi bem sucedida, pois somente quatro municípios (Monte Santo de Minas, Poços de Caldas, Ibitiura de Minas e Botelhos) deram retorno ao questionário.

4.5.1 – Qualidade da água

De acordo com os dados do Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2000 e 2004) e do Relatório de Estudo sobre Qualidades das Águas (FEAM/IGAM-MG, 1999 e 2000), foram identificados cinco pontos de amostragem de água para a Bacia do Rio Pardo. Estes pontos se localizam no Estado de São Paulo, sendo que o ponto BG-063, é o que se localiza mais próximo à divisa com o Estado de Minas Gerais, recebendo contribuição de afluentes localizados no Estado de Minas Gerais (Tabela 9).

A Tabela 10 apresenta os resultados do Índice de Qualidade das Águas (IQA) medidos para os pontos de controles localizados na área da bacia.

Tabela 9-Pontos de amostragem para análise de qualidade da água da Bacia do Rio Pardo

Ponto de amostragem	Corpo de água	Município	Localização
Pardo 2100	Rio Pardo	Mococa	Ponte na rodovia SP-340, no trecho que liga Casa Branca a Mococa.
Pardo 2500	Rio Pardo	Ribeirão Preto	Margem esquerda, no Clube Regatas de Ribeirão Preto.
Pardo 2600	Rio Pardo	Pontal	Margem direita, a 50 m da ponte na rodovia que liga Pontal a Cândia.
*Pardo 2010	Rio Pardo	Não foi fornecida a localização deste ponto	
BG-063	Córrego das Antas	Mococa	Córrego das Antas a jusante da cidade de Poços de Caldas nas coordenadas (334000,7596000)

(*) Em operação a partir do ano de 2001.

Tabela 10 – Resultado do IQA para a Bacia do Rio Pardo

Código do Ponto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000												
Pardo 2100												
Pardo 2500												
Pardo 2600												
2001												
Pardo 2010												
Pardo 2100												
Pardo 2500												
Pardo 2600												
2003												
Pardo 2010												
Pardo 2100												
Pardo 2500												
Pardo 2600												

Fonte: CETESB (2000 e 2004)

Legenda:

	Qualidade ótima	Qualidade aceitável	Qualidade péssima
	Qualidade boa	Qualidade ruim	Sem informação

Para o ponto de amostragem BG-063, foi feita uma análise do IQA durante um período de quatro anos. O resultado desta análise encontra-se sintetizado na Tabela 11

Tabela 11 – Resultado do IQA para o ponto BG-063 no período entre 1997 a 2000.

Código	Ano			
BG – 063	1997	1998	1999	2000
IQA	Ruim	Médio	Ruim	Médio
Grau de contaminação	Alta	Alta	Médio	Alta

Fonte: FEAM / IGAM (1999 e 2000)

Pode-se constatar que a qualidade da água piora quando o Rio Pardo começa a adentrar o Estado de São Paulo, sendo que a situação torna-se mais crítica no ponto Pardo 2600, trecho do Rio Pardo que recebe uma grande quantidade de resíduos sem tratamento que é despejada no Rio Pardo e em seus afluentes.

De acordo com a SMA (1995a), os principais rios da Bacia do Rio Pardo e os afluentes que drenam as zonas urbanas encontram-se poluídos por efluentes urbanos e industriais, agrotóxicos e rejeitos de mineração. Em relação ao lançamento de esgotos domésticos, a partir do ponto Pardo 2500, próximo à cidade de Ribeirão Preto, das seis amostras analisadas, todas apresentaram presença de coliformes fecais.

4.5.2 - Sistema de coleta, disposição e tratamento de esgoto.

As cargas poluidoras de origem doméstica e industrial constituem grande fonte de poluição dos cursos d'água da Bacia do Rio Pardo, sendo que na maioria dos municípios, os efluentes domésticos são lançados diretamente sobre o Rio Pardo ou sobre seus afluentes. Para os municípios que se localizam na porção paulista da bacia, o índice de coleta de esgoto atinge em média 80%. Porém, mesmo com um alto índice de coleta, dos 28 municípios apenas quatro tratam totalmente os esgotos e um município trata 90% de todo o esgoto coletado (CETESB, 1994). A Tabela 12 apresenta a situação de coleta e tratamento de efluentes domésticos dos municípios, paulistas e mineiros, pertencentes à Bacia do Rio Pardo.

Os efluentes industriais lançados nos cursos de água contribuem de maneira expressiva, tanto quantitativamente como qualitativamente, para contaminação dos componentes do meio físico. A grande diversidade de empresas existentes nos municípios da Bacia do Rio Pardo, principalmente as que se encontram localizadas no Estado de São Paulo, faz com que ocorra uma grande variabilidade de contaminantes lançados nos corpos de água.

De acordo com o Inventário de Indústrias fornecido pela CETESB (1998a), foram registradas 65 indústrias situadas na bacia localizada na porção paulista que

lançam efluentes no Rio Pardo ou em alguns de seus afluentes. Dentre as 65 empresas, 20 tiveram definidas as localizações em UTM dos corpos receptores de efluentes industriais com ou sem tratamento prévio (Tabela 13).

Tabela 12: Sistema de captação de esgoto doméstico para o Estado de São Paulo

Município	Coleta (%)	Tratamento (%)		
		Total	Parcial	Não possui
Municípios Paulistas				
Altinópolis	100	100		
Brodowski	100			0
Caconde	83			0
Cajurú	90	100		
Casa Branca	79		10	
Cássia dos Coqueiros	95	100		
Cravinhos	100			0
Divinolândia	94			0
Itobi	98			0
Jardinópolis	100		1	
Mococa	100		2	
Ribeirão Preto	100		98	
Sales Oliveira	100	100		
Sta Cruz da Esperança	100	100		
Santa Rosa do Viterbo	100		88	
São José Rio Pardo	92		10	
São S. da Grama	98			0
São Simão	99			0
Serra Azul	100			0
Serrana	79			0
Tambaú	89		14	
Tapiratiba	100			0
Vargem Grande do Sul	97			0
Municípios Mineiros				
Arceburgo	-	-	-	-
Bandeira do Sul	-	-	-	-
Botelhos	*	*	*	*
Caldas	-	-	-	-
Campestre	-	-	-	-
Guaranésia	-	-	-	-
Guaxupé	-	-	-	
Ibitiura de Minas	100			0
Ipuiúna	-	-	-	-
Monte Santo de Minas	60			0
Pocinhos do Rio Verde	-	-	-	-
Poços de Caldas	92		10	
Santa Rita de Caldas	-	-	-	-

Fonte: Cetesb (1994) e Prefeituras municipais (2000)

Obs: * Dados não fornecidos

Tabela 13 - Localização dos corpos receptores de efluentes industriais.

Município	Localização (UTM)	Atividade	Corpo receptor
Cássia dos Coqueiros	277578; 7368449	*	*
Cajuru	241550; 7652950	Têxtil	Rio Araraquara
Caconde	328901; 7618421	-	-
Jardinópolis	200250; 7680900	Açúcar e álcool	Ribeirão Soledad
	205650; 7674550	Aguardente	Ribeirão São Pedro
Mococa	292550; 7626400	Gelatina comestível e industrial	Córrego Santa Elisa
	293650; 7645270	Abatedouro	Córrego do Meio
	290500; 7624260	Derivados do leite	Córrego Lambari
	276250; 7638100	Açúcar e álcool	Córrego da Boiadinha, Ribeirão da Boiada
	276850; 7638250	Açúcar e álcool	Córrego da Cascata
Ribeirão Preto	206850; 7653850	Fábrica Papel Higiênico	Ribeirão Preto
	210370; 7647130	Produtos químicos não especificados	Córrego da Limeira
	205700; 7661260	Aguardente	Córrego Seco
	206890; 7662230	Aguardente	Córrego Seco
	204895; 7658537	*	*
Serrana	227250; 7656430	Açúcar e álcool	Rio Pardo
São Jose do Rio Pardo	303860; 7611812	*	*
Tapiratiba	313040; 7624000	Açúcar e álcool	Rio Guaxupé
Vargem Grande do Sul	306300; 7579700	Curtume	Rio Jaguari-Mirim
Caldas	357679; 7574949	*	*

Fonte: Albuquerque Filho (2000)

4.5.3 – Sistema de coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos.

Os locais de disposição de resíduos sólidos domésticos ou industriais constituem também um grande potencial de contaminação. De acordo com CETESB (1998a), de todo os resíduos sólidos domésticos gerados pelos municípios da bacia que pertencem ao Estado de São Paulo, 52% são dispostos de forma inadequada, 39% em condições controladas e apenas 9% em condições adequadas. Quanto aos resíduos sólidos industriais, dos 100% de resíduos gerados, aproximadamente 62 % passam por algum tipo de tratamento e 95% são produzidos por usinas de açúcar e álcool.

Os dados de disposição dos resíduos sólidos foram obtidos através das informações obtidas do questionário enviado às prefeituras dos municípios, de dados do Relatório Zero da Bacia do Rio Pardo (Albuquerque Filho, 2000) e em visitas realizadas em alguns depósitos de resíduos sólidos durante o trabalho de campo.

A Tabela 14 discrimina o tipo de disposição final dos resíduos, a localização do depósito que os municípios mineiros e paulistas respectivamente, dão para os resíduos sólidos e para os municípios paulistas as condições em que se encontram os depósitos atualmente.

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares, elaborado pela CETESB em 2003, as condições dos depósitos é avaliada em função do IQR (Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos) e IQC (Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem) e podem variar de 0 a 10. Estes índices são calculados em função das condições encontradas nos depósitos em épocas de inspeção e são classificados conforme o critério abaixo:

$0.0 \leq \text{IQR/IQC} < 6.0$ – Condição Inadequada (I)

$6.1 < \text{IQR/IQC} \leq 8.0$ – Condição Controlada (C)

$8.1 < \text{IQR/IQC} \leq 10.0$ – Condição Adequada (A)

As Figuras 11, 12 e 13, apresentam fotos duas formas de disposição final de resíduos sólidos (lixão e aterro controlado) que foram visitados durante a etapa de trabalho de campo.

Tabela 14 - Forma de disposição final dos resíduos sólidos domésticos para os municípios mineiros da Bacia do Rio Pardo

Município	Localização (UTM)	Forma de disposição final e tratamento de resíduos sólidos
Bandeira do Sul	-	-
Botelhos	-	Lixão
Guaxupé	321927; 7637284	Lixão
Ibitiura de Minas	-	-
Ipuiúna	381223; 7561522	Aterro Controlado
Monte Santo de Minas	-	Lixão
Pocinhos do Rio Verde	-	-
Poços de Caldas	337932; 7578706	Lixão
Santa Rita de Caldas	-	-

Fonte: Dados de Campo (2001-2002)

Tabela 14 (Continuação) - Forma de disposição final dos resíduos sólidos domésticos para os municípios paulistas da Bacia do Rio Pardo

Município	Localização (UTM)	Disposição final	Condição
Altinópolis	253552; 7671159	Aterro sanitário	A
Brodowski	221882; 7676578	Lixão	I
Cajurú	265774; 7651076	Lixão	I
Casa Branca	275700; 7593150	Lixão	A
Cravinhos	213269; 7638775	Aterro sanitário	I
Itobi	293370; 7594050	Aterro sanitário	I
Jardinópolis	213500; 7674300	Aterro sanitário	I
Mococa	289050; 7625300	Aterro sanitário	I
Ribeirão Preto	-	Aterro sanitário	A
Sales Oliveira	203000; 7702200	Aterro Controlado	C
Sta Cruz da Esperança	247450; 7643080	Lixão	A
Sta Rosa do Viterbo	259794; 7622487	Aterro sanitário	A
S. J. Rio Pardo	305600; 7610800	Aterro sanitário	I
S. S. da Gramma	309150; 7594940	Aterro Controlado	C
São Simão	238151; 7618709	Lixão	C
	233459; 7625009	Antigo lixão	-
Serra Azul	233235; 7639786	Lixão	I
Serrana	227800; 7648100	Lixão	I
Tambaú	260550; 7602700	Lixão	I
Tapiratiba	-	Aterro Controlado	I
Vargem Grande do Sul	299000; 7569250	Lixão (encontra-se fora da área da bacia)	I

Fonte: Dados de Campo (2001-2002)

Albuquerque Filho (2000)

A- Adequado

C- Controlado

I-Inadequado

Figura 11 – Lixão da cidade de Cajurú

Figura 12 – Aterro sanitário da cidade de Santa Rosa do Viterbo. A frente observa-se a lagoa de chorume.

Figura 13 – Lixão da cidade de Poços de Caldas

4.5.4 – Mineração

Em toda a área da Bacia do Rio Pardo, a atividade de mineração vem se desenvolvendo de maneira considerável e crescente nos últimos anos. Uma das atividades mais praticadas é a extração de areia do Rio Pardo e de alguns de seus principais afluentes (Figura 14) e as de rochas ornamentais em alguns municípios mineiros. Os impactos causados pelo processo de instalação, funcionamento e

desativação de uma mineração, tendem a provocar alterações no meio físico, influenciando na qualidade e quantidade dos recursos hídricos e conseqüentemente na qualidade ambiental.

Figura 14 – Exploração de areia em planície aluvial do Ribeirão Tamanduá

Segundo a CETESB (1998a), 18 municípios do Estado de São Paulo que integram a bacia, desenvolvem atividade de mineração, sendo que a maioria se destina à extração de areia e argila (Tabela 15). Em Minas Gerais, de acordo com a CPRM (1998 *apud* Menezes, 2000), oito municípios, desenvolvem esta atividade, sendo as mais desenvolvidas a extração de bauxita, rochas ornamentais e argila (Tabela 16).

Tabela 15 – Atividades de mineração desenvolvidas nos municípios paulistas da Bacia do Rio Pardo

Município	Recurso Mineral Explorado					
	Ar	Arg	Bri	Casc	Sai	NI
Altinópolis	X					
Caconde	X					
Casa Branca	X	X			X	
Cravinhos	X		X			
Divinolândia	X	X				X
Itobi		X				
Jardinópolis			X			
Mococa	X		X		X	
Sales Oliveira			X			
Santa Rosa do Viterbo	X	X				X
São José. do Rio Pardo	X	X	X			X

Fonte: Dados de Campo (2001-2002)
Prefeituras municipais (2002)

Tabela 15 (continuação) – Atividades de mineração desenvolvidas nos municípios paulistas da Bacia do Rio Pardo

Município	Recurso Mineral Explorado					
	Ar	Arg	Bri	Casc	Sai	NI
São Sebastião da Gramma		X				
São Simão	X	X				
Serra Azul	X					
Serrana	X			X		
Tambaú	X	X				X
Tapiratiba	X					
Vargem Grande do Sul	X	X				

Ar: areia; Arg: argila; Bri: brita; Casc: cascalho; Sai: saibro; NI: não identificado.

Fonte: CETESB (1998 a).

Tabela 16 – Atividades de mineração desenvolvidas nos municípios mineiros da Bacia do Rio Pardo.

Município	Recurso Mineral Explorado									
	Al	Arg	Ar	Zirc	U	Bri	K	Mol	Dol	Orn
Arceburgo										X
Botelhos										X
Caldas	X	X		X						X
Guaranésia	X									
Guaxupé		X								
Ibitiúra de Minas					X					
Poços de Caldas	X	X	X		X		X	X		
Santa Rita de Caldas										X

Al: alumínio; Arg: argila; Ar: areia; Zirc: zircônio; U: urânio; Bri: brita; Mol: molibdênio; Dol: dolomita; Orn: rochas ornamentais.

Fonte: Menezes (2000)

Prefeituras municipais (2002)

4.5.5 - Áreas de preservação

A cobertura vegetal nativa do Estado de São Paulo, que chegou a recobrir mais de 80% do território paulista, hoje está reduzida a aproximadamente 12%, sendo a Bacia do Rio Pardo, uma das áreas mais afetadas. As alterações ocorridas na cobertura vegetal nativa provocam significativas modificações no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica. A retirada da vegetação induz ao aumento do escoamento e do volume da água, ocasionando assim a destruição do solo e conseqüentemente o assoreamento dos rios e reservatórios, redução da recarga de aquíferos e aumento das inundações.

Silva e Fornasari Filho (1992) fizeram um levantamento das Unidades de Preservação Ambiental existentes no Estado de São Paulo, onde foram definidas para a Bacia do Rio Pardo 8 unidades de conservação, sendo 1 área de proteção ambiental, 2

estações ecológicas, 3 estações experimentais, 1 estância hidroclimática e 1 floresta estadual. Para a porção mineira da bacia, de acordo com a Secretaria de Turismo do Estado de Minas Gerais (2001) existem 2 áreas legalmente consideradas como de preservação ambiental, sendo 1 estância hidromineral e 1 área de proteção ambiental. A Tabela 17 apresenta as unidades de conservação definidas para a Bacia do Rio Pardo.

Tabela 17 – Unidades de Conservação Ambiental existentes na Bacia do Rio Pardo.

Unidades de Conservação	Nome	Municípios abrangidos	Área (ha)
Municípios Paulistas			
Área de Proteção Ambiental	APA Morro de São Bento	Ribeirão Preto	-
Estação Ecológica	Estação Ecológica Ribeirão Preto (Mata de Santa Tereza)	Ribeirão Preto	154.2
	Estação Ecológica Santa Maria	São Simão	113.0
Estação Experimental	Estação Experimental Casa Branca	Casa Branca	494.2
	Estação Experimental Bento Quirino	São Simão	416.4
	Estação Experimental São Simão	São Simão	2637.3
Estância Climática	Estância Climática Caconde	Caconde	Toda a área do Município
Horto Florestal	Horto Florestal de Casa Branca	Casa Branca	-
Floresta Estadual	Floresta Estadual Cajurú	Altinópolis e Cajurú	1909.5
Mata	Mata Gestari	Jardinópolis	-
Bosque	Bosque da Fazenda Bom Jesus	Jardinópolis	-
Parque Ecológico	Parque Ecológico José Andrade Lima	Mococa	-
Parque Ecológico	Parque São Francisco de Assis	Mococa	-
Parque Ecológico	Parque Ecológico São Sebastião	Mococa	-
Parque Ecológico	Parque Curupira	Ribeirão Preto	-
Mata	Mata do Arthur Argeri	Santa Rosa do Viterbo	-
Bosque	Bosque Municipal	Santa Rosa do Viterbo	-
-	Prainha do Tamanduá	São Simão	-
Municípios Mineiros			
Estância Hidromineral	Estância Hidromineral Poços de Caldas	Poços de Caldas	Toda a área do município
Área de Proteção Ambiental	Parque Municipal Serra de São Domingos	Poços de Caldas	-

Fonte: Secretaria de Turismo do Estado de Minas Gerais (2001) e SMA (1998)

Foram considerados também como áreas de preservação, os sítios arqueológicos encontrados na Bacia do Rio Pardo. De acordo com a SMA (1995), foram identificados vestígios arqueológicos que caracterizam aldeias indígenas e sítios líticos datados de aproximadamente 1500 anos, somando ao todo 21 sítios arqueológicos (Tabela 18).

Tabela 18 – Sítios arqueológicos cadastrados na bacia do Rio Pardo

Município	Localização	Identificação	Tipo de material
Cajurú	Fazenda São Luiz	Vale dos Dinossauros	Paleontológico
Jardinópolis	Rio Pardo	Boa Sorte	Lítico
São Simão	Ribeirão Tamanduá	Santa Maria I	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Santa Maria II	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Santa Maria III	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Santa Maria IV	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Aretuzinha	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Balneário do Tamanduá I	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Balneário do Tamanduá II	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Balneário do Tamanduá III	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Chave Silvino I	Lítico
	Ribeirão Tamanduá	Chave Silvino II	Lítico
	Córrego São Simão	São Simão	Lítico
	Serra de São Simão	Morro do Cruzeiro	Lítico
	Serra de São Simão	Belmonte	Lítico
	Serrote de Sta Maria	Serrote	Lítico
Serra Azul	Rio Pardo	Lagoa Preta I	Cerâmico
	Rio Pardo	Bebedouro da Pedra	Cerâmico
	Rio Pardo	Catingueiro	Petróglifo
	Rio Pardo	Santo Antônio	Petróglifo
	Rio Pardo	Furnas	Petróglifo

Fonte: SMA (1995)

4.5.6 – Áreas de interesse turístico

De acordo com o projeto (SMA, 1995), foram definidos 10 municípios pertencentes a porção paulista da bacia que possuem área de interesse turístico. Para a porção mineira este levantamento foi feito por meio de dados obtidos em campo, sendo constatado a presença de 5 municípios que possuem área de interesse turístico. Ao todo foram definidos 16 municípios com atrativos turísticos para a Bacia do Rio Pardo (Tabela 19).

Tabela 19 – Áreas de interesse turístico localizados nos municípios pertencentes a Bacia do Rio Pardo.

Municípios	Atrativos Naturais							
	Grutas	Morros Serras	Arte	Matas Bosque	Fazendas	Praias fluviais	Represa	Cachoeiras
Municípios Paulistas								
Altinópolis	X	X	X	-	-	-		X
Brodowski	-	-	X	-	-	-		-
Cajuru	X	X	X	-	X	X		X
Cássia dos Coqueiros	X	X	-	-	-	-		X
Cravinhos	-	-	X	-	-	-		-
Jardinópolis	-	-	X	X	-	-		-
Ribeirão Preto	-	X	X	X	-	-		-
Sta Rosa do Viterbo	-	-	-	-	-	-	X	-
São Simão	-	X	X	X	-	X	-	-
Tambaú	-	-	-	-	-	-	-	X
Municípios Mineiros								
Caldas		X		X				X
Guaranésia					X			
Guaxupé				X	X			X
Ibitiúra de Minas								X
Ipuíuna								X
Poços de Caldas		X		X	X		X	X

Fonte: Levantamentos de campo
SMA (1995)

4.5.7 – Áreas degradadas

As áreas degradadas foram analisadas em função dos processos de maior incidência na Bacia do Rio Pardo e que causam os principais impactos dos recursos hídricos, sendo eles, erosão, áreas de inundação e assoreamento.

Os processos erosivos foram levantados com base em informações obtidas por meio de trabalhos de campo (2001 e 2002) e de fotointerpretação e segundo levantamento realizado pelo CBH-Pardo/FEHIDRO (Albuquerque, 2000). Ao todo foram registradas 67 feições erosivas.

Em relação a inundação, segundo Albuquerque (2000) e dados cedidos pelas prefeituras municipais (2000), foram cadastrados para os municípios paulistas 27 locais onde foram registradas ocorrências sobre inundações (Tabela 20). A maioria foi provocada pela cheia do Rio Pardo ou de alguns de seus afluentes, podendo-se citar os ribeirões Soledad e São Jorge, Ribeirão Preto, Rio Tambaú e Ribeirão Capitão João.

Ainda segundo Albuquerque (*op. cit*) e dados fornecidos pelas prefeituras municipais, foram registrados pontos de assoreamento em vários municípios pertencentes a bacia, podendo citar ocorrências em Caconde (Córrego da Vaca), Divinolândia (todos os cursos de água), São Sebastião da Grama (Rio São Domingos), Vargem Grande do Sul (Córrego Santana e Rio verde), Cássia dos Coqueiros (Rio Cubatão e Córrego Tamanduá), Santa Rosa do Viterbo (Ribeirão Quebra Cuia), São Simão (Córregos Tamanduá, da Prata, São Simão e Rio Vazante), Serra Azul (Ribeirão do Cloro), Serrana (Rio Pardo), Tambaú (Rios Tambaú, Lúcia e Córrego Arrependido), Altinópolis (Represa Parque Ecológico), Cajurú (Rio Pardo), Santa Cruz da Esperança (Córregos Brilhante e do Bosque), Mococa (SP-340), Casa Branca (Córrego Congonhas), Poços de Caldas (Ribeirão da Ponte e Represa Saturnino de Brito), Monte Santo de Minas (Rio Pinheirinho) e Ibitiura de Minas (Rio Jaguaré).

Tabela 20 – Municípios com ocorrências de inundação

Municípios	Números de pontos de ocorrência
Altinópolis (SP)	1
Brodowski (SP)	2
Cajuru (SP)	1
Cravinhos (SP)	1
Divinolândia (SP)	3
Mococa (SP)	Ocorrência confirmada (*)
Ribeirão Preto (SP)	7
Santa Cruz da Esperança (SP)	Ocorrência confirmada (*)
São José do Rio Pardo (SP)	1
São Sebastião da Grama (SP)	1
São Simão (SP)	3
Serrana (SP)	2
Tambaú (SP)	1
Tapiratiba (SP)	1
Vargem Grande do Sul (SP)	1
Poços de Caldas (MG)	2

Fonte: Prefeituras Municipais (2000)

(*) – Municípios com ocorrências de inundação, porém não foi fornecido o número de registros.

4.6 – Caracterização Climática

A Bacia do Rio Pardo apresenta regiões com diferenças climáticas significantes, sendo que a temperatura da área é condicionada pelas diferenças de altitude existentes. Na parte alta da bacia, que compreende áreas próximas a nascente, as temperaturas médias são de 15° C no inverno e de 21° C no verão (Nimer, 1989). Já a parte média apresenta temperaturas inferiores a 18° C no inverno e superiores a 22° C no verão e a

parte baixa da bacia, que engloba regiões próximas a foz com o Rio Mogi Guaçu, o clima é quente caracterizado por invernos seco com temperaturas médias de 18° C e verão com temperaturas superiores a 22° C (Setzer, 1966).

Em relação à precipitação, a Bacia do Rio Pardo apresenta uma grande deficiência de dados. Fatores como a quantidade mínima de estações em atividades em proporção ao tamanho da área e a inexistência de séries com períodos contínuos, assim como a presença de lacunas nas séries de precipitação impossibilitam a caracterização climática de acordo com os padrões definidos para estudos no âmbito da hidrologia. Assim, optou-se por se fazer um tratamento dos dados de precipitação existentes para que o conjunto de dados analisados transmitisse informações condizentes com a realidade.

Para análise da precipitação foram utilizados dados referentes a 19 estações de medição pluviométrica que se encontram em operação. Estes dados foram obtidos do DAEE, através do Banco de Dados Hidrometeorológicos do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (www.sigrh.sp.gov.br). A identificação e características de cada estação são apresentadas na Tabela 21 e a Figura 15 apresenta a distribuição espacial das estações dentro da área de estudo.

Tabela 21 – Localização das estações pluviométricas.

Estação	Município	Localização (UTM)	Altitude (m)	Período de leitura
B4-060	Pontal	189706, 7685962	540	1970-2000
B5-064	Morro Agudo	789769, 7707538	500	1975-1998
C3-003	Caconde	164133, 7706667	880	1974-1997
C3-035	S. J. Rio Pardo	332450, 7614067	660	1944-2000
C3-041	Divinolândia	303100, 7610250	1040	1970-1997
C4-043	Sta Rosa do Viterbo	332624, 7603113	580	1942-2000
C4-052	São Simão	258298, 7609858	580	1942-2000
C4-054	Jardinópolis	247386, 7635312	580	1943-2000
C4-075	Ribeirão Preto	212453, 7673612	490	1944-2000
C4-077	Mococa	213999, 7664389	580	1961-1997
C4-079	Tambaú	291283, 7606361	610	1969-2000
C4-083	Serrana	229920, 7651689	540	1947-2000
C4-086	Brodowski	270590, 7617175	580	1969-2000
C4-088	Cajurú	224762, 7666359	650	1951-2000
C4-103	Sta Rosa do Viterbo	254469, 7641135	740	1972-2000
C4-104	Sertãozinho	253035, 7615216	540	1972-2000
C4-105	Sta Cruz da Esperança	198379, 7665926	600	1973-2000
C4-106	Altinópolis	247569, 7644499	600	1976-2000
2246047	Santa Rita de Caldas	367517, 7562896	1140	1964-1997
2146026	Guaxupé	323586, 7643724	828	1970-1997

Figura 15 – Distribuição das estações pluviométricas na área da Bacia do Rio Pardo

Observa-se na Tabela 21 que as séries utilizadas em cada estação não correspondem ao mesmo intervalo temporal. Assim, foi escolhido um intervalo de 20 anos (1977 a 1996), no qual foi observada uma continuidade dos dados. Os valores de precipitação medidos para as estações avaliadas são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Dados de precipitação anual (mm) disponíveis no período de 1977 a 1996 para as estações pluviométricas consideradas neste estudo.

ANO	ESTAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO																
	B4-060	B5-064	C3-003	C3-035	C3-041	C3-043	C4-052	C4-054	C4-075	C4-077	C4-079	C4-086	C4-088	C4-103	C4-104	C4-105	C4-106
1977	1393,5	1422,4	1757,6	1746,3	1782,5	1774,3	1504	1440,9	1261,4	1445,5	1592,9	1377,2	1362,7	1509	1479,5	1451,1	1503,9
1978	1648,5		1468	1439,8	1565,8	1469,7	1378,5	1757,2	1480,8	1196,4	1321,2	1710,3	1336,8	1324,4	1740,3	1550,5	1503,2
1979		1487,2	1464,1	1360,6	1612,9	1578,6	1387,4		1498,9	1305,1	1337	1524,8	1606,4		1672,8	1769,2	
1980	1620,7		2116	1778	1909,9	1613,8	1495,9			1626,8	1581,9	1793,7	1860,9	1554,4			
1981		1415,9	1673,5	1504,9			1561,9		1648	1550,8	1495,6		1639,6	1532,7		1835,6	1685
1982		1705,1	1867		2206,1	2013	1819,7	2366,3	1972,7	1530,5	1741,7		1930		2044,9	2028,5	1993
1983		2137,8	2456,3	2181,2		2182,2		2699,9		2080,1		2744,2			2364,9	2401,5	
1984	1254,6		1322,4	1211,9	1380,7		1159,7	1630,5	1177,2	1107,3	1169,3	1260,7	1287,5	1133,6	1274,8		1171,1
1985		1413	1203,1	1286,8	1458	1253,5	1208,7	1760,9	1444,1	1175,6	1099,6	1782	1481,2	1555,6	1429,5	1328,2	1585,8
1986	1630,5	1207,8	1682,4	1801,2	2032,4	1507,5	1363	1791,1	1642,8	1587,4	1466,4	2270,6	1457,9	1525,8	1629,8	1503,2	
1987	1132,7	1107,7	1544,9	1467,2	1709,8	1417,2	1305,7		1318,1	1401,4	1434,2	1311,2	1326,4	1682,2	1267,6	1278	1536,9
1988	1403,9	1555,1	1380,1	1348,9	1701,3	1350,5	1456,7	1592,1	1545,8	1218,7	1222,6	1627,4	1549,6	1267,7	1463	1514,4	1721,3
1989	1530,6	1441,6	1576	1434	1671,4	1518,6	1537	1685	1608,5	1541,6	1353,8	1854,6	1536,9	1764,1	1750,5	1703,7	1458,2
1990	1255,7	1348,1	1412,5	1204,3	1465,3	1255,4	1319,9	1218,4	1181,9	1441,7	1317,8	1546	1533,7	1361	1038,8	1267,6	1405,1
1991	1472,8	1606,9	1905	1696,3	2134,4	1643,1	1590,7	1611,3		1729	1575,6	1913,5	1865,6	1425,7	1574	1670,7	1424,9
1992	1664,6	1537,3	1629,7	1603,6	1875,8	1721,7	1773,5			1357,9	1628,6	2189,1	1509,7	1482,6	1478,6	1592,5	1665,3
1993	1236,9	1370,1	1653	1324,8	1393	1442,4	1229,7	1352,2	1434,4	1394,4	1360,9	1797,7	1546,2	1792,9	1092,4	1323,4	1479
1994	1277,5	1099,4	1203,7	1426	1163,7	1185	1250,4	1570,7	1298,6	1475,2	1041,7	1275,2	1475,9	994,2	904,5	1213,2	1501,3
1995	1657,6		1703,6	1769,1	1750,1	1589,2	1890,2	1517,4	1618,5	1575,4	1564,4	1637	1632,8	1594,8	1298,6		1657,7
1996	1546,2	1412,4	1916,2		1492,2	1843,1	1898,2		1448,1		1801,7	1395,2	1819,1	1642,5	1353,3	1612,9	1503,3
Media	1448,4	1454,2	1646,8	1532,5	1683,6	1575,5	1480,6	1713,9	1473,7	1460	1426,7	1722,8	1566,3	1479	1492,1	1590,8	1549,7

De posse dos valores de precipitação média anual, passou-se para a etapa de preenchimento das lacunas em estações cujas séries encontram-se incompletas. Segundo Tucci (2000), os métodos mais utilizados para preenchimento de lacunas são:

- Método da média aritmética simples: baseia-se no cálculo da média aritmética das precipitações registradas em três estações. Para a escolha das estações, as mesmas devem estar aproximadamente eqüidistantes e situar-se na mesma vertente. De acordo com Gray (1970), as estações a serem completadas devem respeitar a condição de que os valores de precipitação média das estações não difiram mais de 10% do valor médio da estação a completar.

- Método da média ponderada: é utilizado normalmente para o preenchimento de séries mensais e anuais de precipitação. Para um grupo de estações são selecionados pelo menos três que possuam no mínimo dez anos de dados. Segundo Gray (*op. cit.*) este método é satisfatório quando existe uma correlação elevada entre as estações consideradas, mas é pouco satisfatório quando isto não acontece. De acordo com Tucci, (2000), outro fator a ser considerado neste método é o fato de que as estações vizinhas escolhidas devem estar numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido, por exemplo, quando um posto se encontra próximo a um divisor de águas importante, mesmo havendo outro posto geograficamente próximo do outro lado do divisor, este não deve ser escolhido, pois provavelmente os dois terão comportamentos distintos.

- Método da regressão linear: é considerado um método mais aprimorado para o preenchimento das lacunas. Consiste em utilizar os métodos de regressão linear simples ou múltipla, onde as estimativas de dois parâmetros da equação podem ser obtidas graficamente ou através do critério de mínimos quadrados. Na regressão linear simples, os valores correspondentes as duas estações envolvidas, são plotados em um gráfico cartesiano e traçada uma reta definida pelos valores médios das duas variáveis envolvidas e de melhor ajuste a nuvem de pontos. Já na regressão linear múltipla as informações pluviométricas da estação y são correlacionadas com as correspondentes de várias estações vizinhas através da seguinte equação (Tucci, *op cit.*):

$$y_c = x_{1i} + a_1 x_{2i} + \dots + a_{n-1} x_{ni} + a_n \quad \text{onde:}$$

y_c = precipitação do posto y a ser estimada;

n = número de estações consideradas;

$a_0, a_1, \dots, a_n$ = coeficientes de correlação a serem estimados;

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ = observações correspondentes observadas nas estações vizinhas.

Tendo em vistas as considerações apresentadas para os três métodos e as características das estações pluviométricas utilizadas, constatou-se que o método que mais se adequou ao tratamento dos dados de pluviometria da região foi o método da regressão linear. Neste método as séries usadas, têm que apresentar uma correlação entre si. Para isto, foi feita uma matriz que proporcionou os valores dos fatores de correlação linear entre as séries utilizadas (Tabela 23). O fator de correlação foi calculado através da seguinte equação(Almeida, 1979):

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad \text{onde:}$$

$$\sigma_x, \sigma_y$$

ρ = fator de correlação

$$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1 \text{ e,}$$

$$\text{Cov}(x, y) = 1/n \sum (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y), \text{ sendo que:}$$

n = número de dados;

x = valor do dado analisado;

μ - média aritmética do conjunto de dados.

Para o preenchimento das séries de precipitação com lacunas utilizou-se o programa *COMPLET*, desenvolvido pelo Professor Carlos Costa Almeida do Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa-Portugal (1979) e que utiliza o método de regressão linear múltipla para o cálculo das precipitações inexistentes.

Inicialmente, foi criada uma tabela contendo os dados de precipitação de duas estações que se apresentam totalmente completa ou com maior quantidade de dados possível e da estação que apresenta lacunas. Estes dados foram organizados no *software* Excell conforme apresentado na Figura 16 e depois ajustado, gerando um arquivo digital de extensão *.prn (texto formato separado por espaços). Este arquivo foi inserido no programa *COMPLET* cuja tela de entrada de dados e apresentada na Figura 17. Este procedimento foi utilizado para todos os outros conjuntos de séries, obtendo-se no final todas as séries de precipitação completas (Tabela 24).

Tabela 23 – Matriz de correlação linear entre as estações pluviométricas incompletas

Estação	B4-060	B5-064	C3-003	C3-035	C3-041	C3-043	C4-052	C4-054	C4-075	C4-077	C4-079	C4-086	C4-088	C4-103	C4-104	C4-105	C4-106
B4-060	1	0,49	0,492	0,654	0,54	0,553	0,679	0,647	0,757	0,295	0,523	0,64	0,386	0,181	0,676	0,799	0,435
B5-064	0,49	1	0,727	0,588	0,549	0,76	0,615	0,769	0,602	0,57	0,445	0,693	0,683	0,132	0,816	0,865	0,517
C3-003*	0,492	0,727	1	0,871	0,684	0,858	0,647	0,65	0,505	0,847	0,891	0,597	0,694	0,522	0,662	0,779	0,306
C3-035	0,654	0,588	0,871	1	0,773	0,847	0,652	0,676	0,46	0,83	0,775	0,668	0,389	0,27	0,648	0,697	0,392
C3-041	0,54	0,549	0,684	0,773	1	0,662	0,537	0,548	0,738	0,581	0,68	0,627	0,504	0,327	0,718	0,675	0,561
C3-043	0,553	0,76	0,858	0,847	0,662	1	0,794	0,764	0,567	0,65	0,916	0,538	0,558	0,434	0,754	0,862	0,471
C4-052	0,679	0,615	0,647	0,652	0,537	0,794	1	0,384	0,602	0,515	0,83	0,218	0,632	0,332	0,396	0,71	0,555
C4-054	0,647	0,769	0,65	0,676	0,548	0,764	0,384	1	0,781	0,535	0,33	0,777	0,426	0,072	0,877	0,904	0,636
C4-075	0,757	0,602	0,505	0,46	0,738	0,567	0,602	0,781	1	0,443	0,474	0,726	0,687	0,436	0,748	0,839	0,85
C4-077	0,295	0,57	0,847	0,83	0,581	0,65	0,515	0,535	0,443	1	0,615	0,644	0,646	0,337	0,494	0,657	0,242
C4-079	0,523	0,445	0,891	0,775	0,68	0,916	0,83	0,33	0,474	0,615	1	0,258	0,601	0,539	0,42	0,584	0,411
C4-086	0,64	0,693	0,597	0,668	0,627	0,538	0,218	0,777	0,726	0,644	0,258	1	0,247	0,347	0,723	0,705	0,392
C4-088	0,386	0,683	0,694	0,389	0,504	0,558	0,632	0,426	0,687	0,646	0,601	0,247	1	0,268	0,337	0,658	0,51
C4-103	0,181	0,132	0,522	0,27	0,327	0,434	0,332	-0,07	0,436	0,337	0,539	0,347	0,268	1	0,285	0,25	0,251
C4-104	0,676	0,816	0,662	0,648	0,718	0,754	0,396	0,877	0,748	0,494	0,42	0,723	0,337	0,285	1	0,923	0,503
C4-105	0,799	0,865	0,779	0,697	0,675	0,862	0,71	0,904	0,839	0,657	0,584	0,705	0,658	0,25	0,923	1	0,624
C4-106	0,435	0,517	0,306	0,392	0,561	0,471	0,555	0,636	0,85	0,242	0,411	0,392	0,51	0,251	0,503	0,624	1

* Estação pluviométrica completa

Figura 16 - Séries selecionadas utilizadas no preenchimento das lacunas (A) e arquivo preparado para o processo de preenchimento das lacunas (B)

A

C4-105	C3-003	C4-052
1451,1	1757,6	1504
1550,5	1468	1378,5
1769,2	1464,1	1387,4
	2116	1495,9
1835,6	1673,5	1561,9
2028,5	1867	1819,7
2401,5	2456,3	
	1322,4	1159,7
1328,2	1203,1	1208,7
1503,2	1682,4	1363
1278	1544,9	1305,7
1514,4	1380,1	1456,7
1703,7	1576	1537
1267,6	1412,5	1319,9
1670,7	1905	1590,7
1592,5	1629,7	1773,5
1323,4	1653	1229,7
1213,2	1203,7	1250,4
	1703,6	1890,2
1612,9	1916,2	1898,2

B

20 3		
1451,1	1757,6	1504
1550,5	1468	1378,5
1769,2	1464,1	1387,4
	2116	1495,9
1835,6	1673,5	1561,9
2028,5	1867	1819,7
2401,5	2456,3	
	1322,4	1159,7
1328,2	1203,1	1208,7
1503,2	1682,4	1363
1278	1544,9	1305,7
1514,4	1380,1	1456,7
1703,7	1576	1537
1267,6	1412,5	1319,9
1670,7	1905	1590,7
1592,5	1629,7	1773,5
1323,4	1653	1229,7
1213,2	1203,7	1250,4
	1703,6	1890,2
1612,9	1916,2	1898,2

Obs.: 20 3 = 20 linhas e 3 colunas

No exemplo acima, as estações C3-003 e C4-052 foram utilizadas como base para o preenchimento da estação C4-105, que apresentava lacunas na série de precipitação.

***** PROGRAMA COMPLET *****

Programa para completar séries hidrológicas por regressão multilinear

Titulo do arquivo incluindo extensão **C4105.prn**

Indique o nº de estações que vão servir para completar os dados **2**

Nº da coluna da 1ª estação **2**

Nº da coluna da 2ª estação **3**

Nº da coluna da estação a completar **1**

Pretende incluir um termo aleatório nos dados a completar (s/n) ? **n**

Coefficiente de correlação = **0.7827**

Serie reproduzida:

Precipitação do 4º ano = **1950.0**

Precipitação do 8º ano = **1366.4**

Precipitação do 19º ano = **1614.7**

Trabalho terminado!

Figura 17 - Painel de entrada do programa COMPLET utilizado para preenchimento das lacunas existentes nas series de precipitação

Tabela 24 – Estações pluviométricas com as séries completas.

ANO	ESTAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO																
	B4-060	B5-064	C3-003	C3-035	C3-041	C3-043	C4-052	C4-054	C4-075	C4-077	C4-079	C4-086	C4-088	C4-103	C4-104	C4-105	C4-106
1977	1393,5	1422,4	1757,6	1746,3	1782,5	1774,3	1504	1440,9	1261,4	1445,5	1592,9	1377,2	1362,7	1509	1479,5	1451	1503,9
1978	1648,5	1358,8	1468	1439,8	1565,8	1469,7	1378,5	1757,2	1480,8	1196,4	1321,2	1710,3	1336,8	1324,4	1740,3	1551	1503,2
1979	1391,9	1487,2	1464,1	1360,6	1612,9	1578,6	1387,4	1604,1	1498,9	1305,1	1337	1524,8	1606,4	1481,4	1672,8	1769	1559,9
1980	1620,7	1728	2116	1778	1909,9	1613,8	1495,9	1905,3	1768,8	1626,8	1581,9	1793,7	1860,9	1554,4	1943,1	1950	1642,8
1981	1469,4	1415,9	1673,5	1504,9	1822,9	1636,1	1561,9	1777,7	1648	1550,8	1495,6	1708,4	1639,6	1532,7	1503,4	1836	1685
1982	1540,2	1705,1	1867	1902,7	2206,1	2013	1819,7	2366,3	1972,7	1530,5	1741,7	2002,9	1930	1714,4	2044,9	2029	1993
1983	1757,8	2137,8	2456,3	2181,2	2455,5	2182,2	2098,3	2699,9	2345,3	2080,1	1997,9	2744,2	2134,2	1894,4	2364,9	2402	1741,5
1984	1254,6	1263,5	1322,4	1211,9	1380,7	1143,7	1159,7	1630,5	1177,2	1107,3	1169,3	1260,7	1287,5	1133,6	1274,8	1366	1171,1
1985	1295,9	1413	1203,1	1286,8	1458	1253,5	1208,7	1760,9	1444,1	1175,6	1099,6	1782	1481,2	1555,6	1429,5	1328	1585,8
1986	1630,5	1207,8	1682,4	1801,2	2032,4	1507,5	1363	1791,1	1642,8	1587,4	1466,4	2270,6	1457,9	1525,8	1629,8	1503	1579,3
1987	1132,7	1107,7	1544,9	1467,2	1709,8	1417,2	1305,7	1589,1	1318,1	1401,4	1434,2	1311,2	1326,4	1682,2	1267,6	1278	1536,9
1988	1403,9	1555,1	1380,1	1348,9	1701,3	1350,5	1456,7	1592,1	1545,8	1218,7	1222,6	1627,4	1549,6	1267,7	1463	1514	1721,3
1989	1530,6	1441,6	1576	1434	1671,4	1518,6	1537	1685	1608,5	1541,6	1353,8	1854,6	1536,9	1764,1	1750,5	1704	1458,2
1990	1255,7	1348,1	1412,5	1204,3	1465,3	1255,4	1319,9	1218,4	1181,9	1441,7	1317,8	1546	1533,7	1361	1038,8	1268	1405,1
1991	1472,8	1606,9	1905	1696,3	2134,4	1643,1	1590,7	1611,3	1653,2	1729	1575,6	1913,5	1865,6	1425,7	1574	1671	1424,9
1992	1664,6	1537,3	1629,7	1603,6	1875,8	1721,7	1773,5	1877,8	1703,3	1357,9	1628,6	2189,1	1509,7	1482,6	1478,6	1593	1665,3
1993	1236,9	1370,1	1653	1324,8	1393	1442,4	1229,7	1352,2	1434,4	1394,4	1360,9	1797,7	1546,2	1792,9	1092,4	1323	1479
1994	1277,5	1099,4	1203,7	1426	1163,7	1185	1250,4	1570,7	1298,6	1475,2	1041,7	1275,2	1475,9	994,2	904,5	1213	1501,3
1995	1657,6	1490,1	1703,6	1769,1	1750,1	1589,2	1890,2	1517,4	1618,5	1575,4	1564,4	1637	1632,8	1594,8	1298,6	1615	1657,7
1996	1546,2	1412,4	1916,2	1882,6	1492,2	1843,1	1898,2	2052,5	1448,1	1541,6	1801,7	1395,2	1819,1	1642,5	1353,3	1613	1503,3
Média	1459,1	1455,4	1646,8	1568,5	1729,2	1556,9	1511,5	1740	1552,5	1464,1	1455,2	1736,1	1594,7	1511,7	1515,2	1599	1565,9

Figura 18 – Precipitação anual da serie histórica no período entre 1977 e 1996.

Conforme podes-se observar na Figura 18, a média histórica das precipitações analisada para o período de 1977 a 1996, indicou que as maiores precipitações foram observadas na estação C4-054 que se encontra próximo à cidade de Cajurú.

Na parte alta da bacia, conforme pode ser observada através das estações C3-035, C4-043 e 2246047, as precipitações no período de 20 anos apresentaram uma média de 1555 mm, sendo que somente no ano de 1996 a precipitação média foi de 1704 mm. Na parte média da bacia, de acordo com os dados de precipitações observados nas estações 2146026 a C4-106, as precipitações durante o período de 20 anos apresentaram media de 1596,1 mm. Para a parte baixa da bacia, de acordo com dados das estações B4-060 a C3-003 as precipitações no período de 1977 a 1996 apresentaram medias de 1552,7 mm.

Conforme os gráficos de precipitação média anual apresentados na Figura 19, pode-se observar que o ano de 1993 foi o que apresentou maiores índices pluviométricos com precipitação média de 2266,52 mm, muito acima das médias para os demais anos

Figura 19 - Precipitações médias anuais.

Figura 19 (continuação) – Precipitações médias anuais.

Após o preenchimento de todas as lacunas passou-se para a interpretação da precipitação média da bacia através da análise da precipitação média anual da série histórica no período entre 1977 e 1996.

Segundo TUCCI (2000), precipitação média é uma lâmina de água de altura uniforme sobre toda a área considerada, associada a um período de tempo dado. Porém o autor adverte que isto é abstrato, pois a chuva real obedece a distribuições espaciais e variáveis. Para a Bacia do Rio Pardo, optou-se calcular a precipitação média da Bacia do Rio Pardo, através do Método dos Polígonos de *Thiessen*, através do qual foi possível delimitar áreas cujo centro apresenta o valor da precipitação média da estação representativa de cada polígono a ela relacionado.

De acordo com TUCCI (2000), este método considera a não uniformidade da distribuição espacial das estações, mas não leva em consideração o relevo da bacia.

A determinação da precipitação média na área, através do método dos polígonos de *Thiessen*, passa pela construção dos polígonos, de acordo com o procedimento a seguir:

- Unem-se as estações adjacentes dentro da área de estudo. Por seguimentos de reta;
- A seguir são traçados seguimentos de bissetriz a cada segmento de reta que une as estações. As bissetrizes intersectam-se entre si originando um conjunto de polígonos, que são denominados de Polígonos de *Thiessen* (Figura 20).

O cálculo da precipitação média da área de estudo (P_m), a partir do método dos Polígonos de *Thiessen* é feito a partir da seguinte equação

$$P_m = \frac{\sum P_i * S_i}{S} \quad \text{onde:}$$

P_m = precipitação média anual da bacia (mm)

P_i = precipitação ocorrida na estação i (mm)

S_i = área do polígono influenciado da estação i (Km^2)

S = área total da região em estudo (Km^2)

Assim, em função da equação apresentada e dos dados apresentados na Tabela 25, a média anual da Bacia do Rio Pardo, calculada através do método dos Polígonos de *Thiessen* é de 1561.7 mm.

Tabela 25 – Dados para cálculo da precipitação média da Bacia do Rio Pardo através do Método dos Polígonos de Thiessen

Identificador	Estação Pluviométrica	Precipitação Média (Pi)	Área dos Polígonos (Si)
1	B4060	1459,10	809,90
2	C4105	1599,00	337,60
3	C4075	1552,50	532,60
4	C4077	1464,10	533,90
5	C4088	1594,70	472,10
6	C4106	1565,90	812,90
7	C4103	1511,70	874,90
8	C4054	1740,00	603,60
9	C4104	1515,20	268,00
10	C4052	1511,50	277,20
11	C4086	1736,10	765,40
12	C4079	1455,20	751,20
13	C3041	1729,20	1129,10
14	2146026	1600,00	749,10
15	C3035	1568,50	714,40
16	C4043	1556,90	1126,90
17	2246047	1540,20	1725,50

Figura 20 – Polígonos de Thiessen gerados para o cálculo de precipitação média da Bacia do Rio Pardo

CAPÍTULO 5

OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES

5.1 – Documentos cartográficos gerados

Os documentos cartográficos gerados, na escala (1:100.000), foram elaborados segundo a proposta metodológica para trabalhos de cartografia geotécnica desenvolvida por Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

Para a confecção final dos documentos foram utilizados os *softwares* AutoCAD® e ArcView GIS 3.1.

5.1.1 – Mapa de Documentação

O mapa de documentação (ANEXO I) apresenta informações relativas à rede hidrográfica, à malha viária, ao perímetro urbano e ao limite da área em estudo além dos pontos de investigação que foram visitados durante a etapa de trabalhos de campo.

A base cartográfica para o mapa de documentação foi obtida por meio da compilação dos dados presentes nas folhas topográficas publicadas pelo IBGE (escala 1:50.000) de Foz do Moji Guaçu (SF-22 X-BC-VI-4), Pitangueiras (SF-22 X-D-III-2), Sales Oliveira (SF-23 V-A-IV-3), Batatais (SF-23 V-A-IV-4), Ribeirão Preto (SF-23 V-C-I-1), Serrana (SF-23 V-C-2), Altinópolis (SF-23 V-C-II-1), Itamoji (SF-23 V-C-II-2), Cajurú (SF-23 V-C-II-5), Mococa (SF-23 V-C-II-4), Bonfim Paulista (SF-23 V-C-I-3), Cravinho (SF-23 V-C-I-4), Luís Antônio (SF-23 V-C-IV-2), Santa Rita do Passa Quatro (SF-23 V-C-V-1), Rio Tambaú (SF-23 V-C-V-2), Casa Branca (SF-23 V-C-V-4), São José do Rio Pardo (SF-23 V-C-VI-1), Caconde (SF-23 V-C-VI-2), São João da Boa Vista (SF-23 V-C-VI-3), Poços de Caldas (SF-23 V-C-VI-4), Caldas (SF-23-V-D-IV-

1), Rio Capivari (SF-23 V-D-IV-4), Santa Rita de Caldas (SF-23 Y-B-I-1), Ipuiúna (SF-23 Y-B-I-2), Botelhos (SF-23-V-D-IV-1), Guaranésia (SF-23 V-C-III-3), Guaxupé (SF-23 V-C-III-4), Monte Santo de Minas (SF-23 V-C-III-1), Jacui (SF-23 V-C-II-1).

O procedimento para a geração do mapa de documentação seguiu as seguintes etapas:

- ✓ escaneamento das folhas topográficas;
- ✓ georreferenciamento e adequação da escala de cada folha topográfica através do *software* AutoCAD®, utilizando o sistema de projeção cartográfica UTM;
- ✓ digitalização dos elementos gráficos de interesse;
- ✓ edição final do mapa, através da junção de todas as folhas.

5.1.2 – Mapa Topográfico

Os procedimentos adotados para a obtenção do mapa topográfico (ANEXO II) foram os mesmos descritos para a geração do mapa de documentação. Porém, para o mapa topográfico foram extraídos das cartas topográficas utilizadas como base somente as curvas de nível.

Para dar início a execução do mapa topográfico, é preciso que a base de onde serão extraídas as curvas de nível seja georreferenciada. Para isso, o georreferenciamento foi feito através do *software* AutoCAD® utilizando o sistema de projeção cartográfica UTM.

O próximo passo foi a extração das curvas de nível do mapa topográfico, escala 1:50.000, através do processo de digitalização. A extração das curvas de nível foi feita obedecendo a uma equidistância de 20 metros. A cada curva foi atribuída uma camada (*layer*) e a cada camada, o valor das respectivas cota de elevação (Z). Assim, cada curva de nível passou a ser identificada por valores de longitude, latitude e altitude.

5.1.3 – Carta de Declividade

Para a geração das cartas de declividade (ANEXO III) foram utilizados os *softwares* AutoCAD® e *ArcView GIS* 3.1.

Para a geração de uma carta de declividade, é necessário que se tenha uma base topográfica de confiança. Para isso, foi utilizado o arquivo contendo somente o atributo curva de nível digitalizado para a geração do mapa topográfico. Este arquivo foi salvo no formato DXF ou DWG, uma vez que o *ArcView* é um SIG compatível aos dois

formatos. Após a seleção do arquivo base, a continuidade da geração da carta de declividade foi feita no *software ArcView*.

O passo seguinte foi adicionar o arquivo DWG (ou DXF) a uma *view* e posteriormente convertê-lo para o formato SHP (*shapefile*), que é o formato base do ArcView. Posteriormente, o arquivo SHP passou por um processo de interpolação através do método TIN (*Triangulated Irregular Network*), que são representações de superfície na forma de redes de triângulos (Figura 21) gerando assim um modelo de superfície do terreno (Figura 22). O único método de interpolação disponível no ArcView é o TIN. Neste caso os sistemas usam uma estrutura de dados que traduz as cotas do terreno em uma superfície funcional matemática e permite calcular os valores de Z para os pontos considerados. A geração de um modelo digital do terreno envolve uma complexidade muito grande. Uma das formas de representar a superfície é por meio de um conjunto de pontos regularmente espaçados (*lattice* ou *grid* de superfície), enquanto a outra forma corrente é a geração de uma superfície de triângulos irregulares conectados, que imitam a superfície do terreno como um conjunto de facetas irregularmente distribuídas, no caso o TIN (Salazar, 1996)

Para a interpolação, foi utilizada uma malha quadrada que coincidissem com a resolução espacial das imagens de satélite LANDSAT 5, e que foi utilizada na pesquisa. O tamanho do *pixel* adotado foi de 30 x 30 metros e este procedimento foi adotado para facilitar o cruzamento de informações com outros documentos cartográficos.

Figura 21 - Modelo de superfície a partir de rede de triângulos conectados (TIN)

Figura 22 – Modelo digital de terreno gerado pelo método TIN. As diferenças de cores representam os intervalos de amplitude existente em uma parte da área estudada.

A última etapa foi a edição do mapa de declividade cujas classes foram apresentadas em graus. A definição dos intervalos e da quantidade de classes de declividades foi feita em função da diferença de altitude encontrada na área. Para isso, adotou-se intervalos que fossem representativos desta diferença de altitude. Foi feita uma adequação das classes de declividade utilizadas no trabalho Estudo do Subsidio do Meio Físico-Geológico para o Município de Campinas-SP (Relatório de Integração-IG, 1993), onde foram propostos intervalos de classes baseados na capacidade do uso do solo, em função dos aspectos agrícolas, geológicos e geotécnicos. Levou-se em consideração também, as resoluções legislativas federais de caráter ambiental como a Lei nº 4.471/65, que Instituiu o Código Florestal e a Lei nº 6.766/79, que Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano. As classes de declividades escolhidas, bem como a área ocupada por cada classe, encontram-se descritas na Tabela 26.

Com a geração das cartas de declividade, pode-se observar que as classes compreendidas entre 0 a 20 % ocorrem principalmente nas áreas constituídas pelos sedimentos pertencentes a Bacia do Paraná, principalmente em áreas onde afloram arenitos e derrames basálticos. As classes de 20 a 30 % foram observadas nas regiões de morrotes e morros constituídos por arenitos e subordinadamente, em áreas onde afloram os argilitos da Formação Corumbataí. Já as declividades mais altas, que são representadas pelas classes que variam de 30 a 45% foram observadas nas regiões de *cuestas* que se desenvolveram no contato da Formação Botucatu com os derrames da

Formação Serra Geral. Ocorrem com maior frequência nos terrenos cristalinos, sendo que foram observadas classes com valores acima de 45% nas áreas de serra do Maciço Alcalino de Poços de Caldas e em outras formas de relevo próximas a Represa Hidrelétrica de Caconde.

Tabela 26 – Classes de declividade adotadas para a área de estudo

Intervalos (%)	Inclinações (°)	Área ocupada (Km²)	% Ocupada
< 2 %	0 – 1.2	1623.6	36.4
2 a 5 %	1.2 – 2.9	2582.4	8.9
5 a 10 %	2.9 – 5.7	3044.9	17.0
10 a 20 %	5.7 – 11.3	2804.3	20.5
20 a 30 %	11.3 – 16.7	1258.5	9.7
30 a 45 %	16.7 – 24.2	978.3	5.4
> 45 %	24.2 - -45	230.7	2.1
TOTAL		12.522,7	100,00

5.1.4 – Mapa do Substrato Rochoso

O mapa de substrato rochoso (ANEXO IV) desenvolvido para a área em estudo tem por objetivo apresentar a disposição espacial das unidades litológicas pertencentes a Bacia do Paraná e ao Embasamento Cristalino.

Frente ao tamanho da área e a diversidade de litologia existente, inicialmente foi feito um levantamento dos estudos geológicos executados para a área e que serviram como base para o trabalho em questão. Os mapas existentes e que serviram como base para o trabalho em questão encontram-se descritos na Tabela 27.

Estes mapas foram desenvolvidos em projetos diferentes, o que implica em algumas diferenças em relação à nomenclatura, escala e detalhamento das rochas, dificultando a correlação dos mapas e conseqüentemente a geração do mapa base. Outro fator que foi considerado nessa etapa, foi a falta de informações em alguns setores, principalmente no território da bacia pertencente ao Estado de Minas Gerais.

Para o Mapa do Substrato Rochoso foi adotada uma divisão simplificada das unidades litológicas pertencentes à Bacia do Paraná, às unidades pré-cambrianas do Embasamento Cristalino e às rochas alcalinas pertencentes ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

Para sanar estes aspectos foi executado um trabalho de campo por toda a área da bacia, tomando-se o cuidado de checar as litologias e compará-las com as descritas nos mapas existentes.

Tabela 27 – Projetos base utilizados como referência para a geração do mapa do substrato rochoso.

Projeto	Folhas	Escala
Mapeamento geotécnico da região de Ribeirão Preto (Zuquette, 1993)	Serrana, Cravinhos, Bonfim Paulista, Ribeirão Preto	1:100.000
Geologia do nordeste do Estado de São Paulo (Soares <i>et al.</i> , 1973)	Ribeirão Preto, Batatais, Serrana, Altinópolis, Itamoji, Mococa, Bonfim Paulista e Cravinhos	1:50.000
Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico (IG, 1980, 1982, 1983, 1985 e 1986)	Luiz Antônio, Santa Rita do Passa Quatro, Rio Tambaú, Casa Branca e São João da Boa Vista	1:50.000
Evolução lito-estrutural das rochas pré-cambrianas da região de São João da Boa Vista (Morales, 1988). Dissertação de mestrado (USP – IG)	São João da Boa Vista	1:50.000
Mapeamento geológico do quadrante noroeste da folha Caconde (Oliveira <i>et al.</i> , 1989) Projeto Pró-Minério, UNESP-IGCE-Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo	Caconde	1:25.000
Mapa geológico do Planalto de Poços de Caldas (NUCLEBRÁS, 1975).	parte das folhas de Poços de Caldas, Caldas e Santa Rita de Caldas	1:50.000
Projeto Caldas I (Landin & Fulfaro, 1974). Mapa geológico - convênio UNESP – DNPM	Caldas e Rio Capivari	1:50.000
Projeto Caldas II (Soares, 1976). Mapa geológico - convênio UNESP – DNPM	Santa Rita de Caldas e Ipuíúna.	1:50.000
Geologia da porção paulista das quadrículas de Caconde e Guaxupé (Oliveira <i>et al.</i> , 1983)	Caconde e Guaxupé	1:143.000 (aproximada)
Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicados em parte do Município de Poços de Caldas (MG), visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico (Liporaci, S. R., 1994)	Poços de Caldas	1:25.000

Para os trabalhos de campo foram levantados dados referentes a litologia, conforme descrito na ficha de campo apresentada no item 3.2 desta tese. Basicamente, estas informações se restringem a tipo litológico, cor, geometria, extensão lateral, espessura, mineralogia e estruturação.

Os trabalhos de campo, associados a informações contidas em mapas topográficos (escala 1:50.000) e em trabalhos de fotointerpretação (escala 1:60.000), foram fundamentais na definição do mapa do substrato rochoso, uma vez que a partir desta associação foi possível obter a distribuição espacial das unidades estabelecidas anteriormente.

Posteriormente, estes dados foram correlacionados com informações pontuais obtidas através de trabalhos de campo e dados de fotointerpretação. Para facilitar a integração dos dados, a área total da bacia foi dividida em nove subáreas, conforme articulação apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Articulação da área

5.1.4.1 – Descrição do substrato rochoso

Geologicamente, pode-se dizer que a Bacia do Rio Pardo é dividida em três grandes Domínios: o Embasamento Cristalino (Domínio I) totalizando cerca de 39 % da área da bacia, as rochas alcalinas pertencentes ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas (Domínio II), correspondendo a aproximadamente 5 % da área e a Bacia do Paraná (Domínio III), correspondendo a 56% da área.

5.1.4.1.1 - Domínio I

O Domínio I localiza-se sobre a porção leste-sudeste da Bacia do Rio Pardo e é constituído por rochas do Embasamento Cristalino, mais precisamente rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico.

Basicamente, dois grandes grupos de rochas são observados na área do Domínio I: as rochas migmatíticas e granulíticas pertencentes ao Complexo Varginha e as rochas gnáissicas e migmatíticas do Complexo Amparo (BRASIL/DNPM, 1979).

As litologias que foram reconhecidas na área apresentam-se com freqüentes alterações texturais e estruturais. Ocorrem intercaladas entre si exibindo contatos gradacionais ou transicionais.

Desse modo, optou-se por agrupar as litologias em associações de acordo com o predomínio de um ou mais tipos litológicos. Assim, para o Domínio I da Bacia do Rio Pardo, foram mapeadas as seguintes litologias.

Migmatitos (Mig)

Os Migmatitos, ocupam uma área de 2242,7 Km², constituindo a litologia predominante do Domínio I. Ocorre com freqüência próximo aos municípios de Caconde, São João da Boa Vista e São José do Rio Pardo. Próximo a Poços de Caldas é considerada como sendo a rocha encaixante das rochas alcalinas. Próximo à cidade de Guaxupé, ocupa uma faixa que se estende até a cidade de Tapiratiba.

Caracterizam-se por apresentarem coloração rósea e esbranquiçada e ocasionalmente cinza. Apresentam estruturas bandadas, nebulíticas e oclares, ocorrendo por vezes dobramentos complexos (Figura 24). Na área destacam-se dois tipos de migmatitos: os graníticos bandados (Mig B) e os oftalmíticos (Mig O).

Os migmatitos bandados são os predominantes e caracterizam-se pelo forte bandamento, marcado pela alternância de cores em tons de cinza e rosa (Figura 25).

Estes bandamentos apresentam-se contínuos e com espessura decimétricas a centimétrica.

Localmente, observam-se veios preservados, compostos por cristais de quartzo, às vezes alongados e placóides e cristais de feldspatos róseos, constituindo formas lenticulares. A biotita é o mineral máfico mais comum, ocorrendo como cristais isolados ou agregados, seguido sempre de uma forte orientação.

Figura 24 – Detalhe de dobras em afloramento de migmatito.

Figura 25– Migmatitos bandados

Já os migmatitos oftalmíticos, ocorrem em proporções bem menores do que os graníticos. Caracterizam-se pela presença de porfiroblastos de K-feldspato, centimétricos, que se apresentam alongados e alinhados à foliação (Figura 26). É comum a presença de pequenos cristais de biotita decimétricos e alongados encravados na rocha.

Figura 26 – Detalhe de porfiroblasto de k-feldspato em corpo de migmatito oftalmítico.

Granulitos Quartzo Feldspáticos (G)

As rochas granulíticas totalizam uma área de aproximadamente 929,4 Km². Próximo aos municípios de Caconde e São José do Rio Pardo constituem vários corpos de pequena expressão, que ocorrem isolados em meio aos migmatitos. Ocorrem também próximo ao município de Botelhos, na porção noroeste da área., estendendo-se para uma faixa que cobre a porção norte desta região, passando pela cidade de Guaxupé e Guaranésia e desaparecendo a oeste sob os sedimentos da Bacia do Paraná. Ocorrem também sob a forma de corpos pequenos dispersos nesta região.

Caracterizam-se por serem rochas maciças, constituídas predominantemente por feldspato e quartzo, sendo que, ocasionalmente, observa-se presença de máficos. São rochas de coloração cinza claro a cinza escuro e quando se encontram alteradas costumam apresentar tonalidades esbranquiçadas a amareladas. Apresentam granulação fina, podendo às vezes apresentar grãos médios. Observa-se com frequência cristais de quartzo e biotita alongados e orientados, formando leitos de granulação grosseira

concordante com a foliação. Localmente, essas bandas podem ocorrer sob a forma de lentes descontínuas.

Quartzitos (Qz)

Os quartzitos ocorrem em menor proporção, dispersos por toda a área do Domínio I, ocupando uma área de aproximadamente 53,0 Km². Geralmente, encontram-se associados à ocorrência dos migmatitos ou dos granulitos.

São rochas constituídas basicamente por quartzo leitoso e subordinadamente feldspato. Quando alterados, apresentam-se altamente friáveis, de coloração amarelada a creme, de granulometria média com presença de níveis grosseiros (Figura 27).

Figura 27– Corpo de quartzito alterado mapeado no município de Poços de Caldas (Fonte: Amorim, 2003).

Rochas Graníticas

Estas rochas ocorrem em grande proporção próximo aos municípios de Caldas e Santa Rita de Caldas, fazendo contato com os Migmatitos e com as Rochas Alcalinas do Maciço de Poços de Caldas e com menos expressão próximo ao município de Guaxupé.

As rochas que compõem este conjunto ocupam uma área de 1061,1 Km². Dentre os granitos pode-se citar:

- **Granitos Porfiroblásticos Róseos (GPr)**

Esta rocha constitui a litologia predominante próximo ao município de Ipiúna. Ocorre sob a forma de corpos alongados e circulares que vão desde Santana de Caldas até São Pedro de Caldas e ao redor da Serra da Pedra Branca, no município de Caldas.

Caracterizam-se por serem rochas leucocráticas constituídas por feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita, constituindo uma matriz de coloração cinza e granulometria média a grosseira. Os cristais obedecem uma orientação, sendo que os cristais de feldspatos ocorrem também inclusos na matriz em forma de porfiroblastos róseos, de formato inequigranular (Figura 28).

Figura 28 – Detalhe dos granitos, com evidência para a orientação dos cristais e para os porfiroblastos de feldspatos róseos.

- **Granitos Equigranulares Róseos (GEr)**

São encontrados mais precisamente ao sul de Santa Rita de Caldas. São rochas de coloração rósea, granulação fina a média. Apresentam textura granítica equigranular e ocasionalmente inequigranular. Macroscopicamente, são constituídas por feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita e subordinadamente muscovita.

- **Granitos Porfiroblásticos Cinza (GPc)**

Ocorrem em corpos isolados em meio aos migmatitos graníticos. São rochas de coloração cinza, constituídos por microclina, quartzo, plagioclásio, anfibólio e biotita. Localmente, observam-se porfiroblastos centimétricos de microclina. Representam corpos maciços que se destacam na topografia como lageados quase sem vegetação.

Rochas Gnáissicas

Estas rochas ocorrem próximo aos municípios de Caldas, Guaranésia e Guaxupé, fazendo contato com as rochas alcalinas do Maciço de Poços de Caldas e com os migmatitos.

Na área foram mapeados dois tipos, gnaiss bandado e gnaiss sienítico, ocupando juntos uma área de 675,3 Km².

- **Gnaiss (Gn)**

Esta rocha foi mapeada próximo ao município de Guaxupé, estendendo-se em direção a cidade de Arceburgo. É formada basicamente por cristais de plagioclásio, feldspato e quartzo alongado em forma de lentes, sendo que secundariamente observam-se cristais de biotita (Figura 29). Caracteriza-se por apresentar coloração gradando do cinza claro a escuro, granulação média a grossa e estrutura bandada que às vezes é acompanhada por uma forte orientação dos cristais de biotita.

Figura 29 – Detalhe do gnaiss mapeado na área.

- **Gnaiss Sienítico (GnSi)**

Sua ocorrência principal se dá no município de Caldas, na Serra da Pedra Branca. Outro corpo menor, foi mapeado entre o Serrote da Ditinha e a cidade de São Pedro de Caldas (Figura 30).

Caracterizam-se por serem rochas constituídas principalmente por feldspato alcalino róseo, hornblenda, augita e biotita e subordinadamente quartzo, zircão, apatita e plagioclásio. Os feldspatos róseos ocorrem sob a forma de fenocristais, bem cristalizados e por vezes alongados. Apresenta textura porfiróide com fenocristais de ortoclásio, e por vezes textura granoblástica equigranular, de granulação fina a grosseira. Localmente, observam-se diques de quartzo de coloração rósea cortando a foliação. Quando em estado de alteração estes diques aparecem bem preservados.

Figura 30 – Afloramento de gnaiss sienítico alterado. Atentar para os diques de quartzo preservados (região da Serra da Pedra Branca).

5.1.4.1.2 - Domínio II

O Domínio II é constituído predominantemente por rochas alcalinas pertencentes ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas (BRASIL/DNPM, 1979).

Os corpos de rochas alcalinas mostraram-se difíceis de serem individualizados, pois ocorrem numa sequência de intrusões, que variam em termos de textura, estrutura, cristalinidade e geoquímica (Kopezinski, 1998). Das litologias que ocorrem dentro dos limites do maciço alcalino pode-se citar: fonolitos, foiaítos, tufos, brechas, tinguaiítos,

rochas piroclásticas e rochas sedimentares sendo que os fonolitos e os tinguaítos são os tipos litológicos mais comuns na região.

As ocorrências das rochas alcalinas restringem-se ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas e secundariamente próximo aos municípios de Caldas e Santa Rita de Caldas, somando uma área de 622,4 Km².

Tinguaítos (Ti) e Fonolitos (Fn)

Ocorrem nas porções norte e oeste do Maciço Alcalino. Quando vistos em fotografias aéreas, estes litotipos são identificados pelas formas circulares, constituindo a borda do maciço.

São rochas maciças de coloração cinza esverdeada a cinza escuro de natureza vulcânica a subvulcânicas. Apresentam textura afanítica a fanerítica de granulometria fina. Quimicamente, são rochas muito semelhantes, sendo a matriz constituída basicamente por fenocristais de ortoclásio e feldspato potássico dispersos na massa, além dos acessórios, zircão, rutilo, magnetita, ilmenita, pirita e quartzo. Distingue-se pela granulometria, sendo que os fonolitos apresentam granulação muito fina, chegando às vezes a expor porções vítreas, e os tinguaítos apresentam uma granulação mais grosseira, permitindo em alguns afloramentos, o reconhecimento dos seus minerais a olho nu.

Estruturalmente, apresentam planos de fraqueza verticais e subverticais (Figura 31) e afloram na forma de blocos de tamanhos variáveis.

Nefelina Sienito (NeSi)

Afloram em áreas localizadas no interior do maciço alcalino. São rochas maciças de natureza plutônica e caracterizam-se por apresentar coloração cinza esverdeada a cinza escuro e textura afanítica a vítrea. Na área, as rochas mapeadas encontram-se sob a forma de blocos arredondados que aparecem envoltos em uma massa alterada argilo-siltosa de coloração marrom avermelhada (Figura 32).

Rochas Potássicas (K)

Para alguns autores as rochas potássicas são definidas como rochas fonolíticas que sofreram intensas alterações hidrotermais, com profunda alteração dos minerais constituintes e da composição química. Neste processo, ocorre uma lixiviação de sódio e um enriquecimento de potássio (BRASIL/DNPM, 1979).

Na área de estudo estas rochas foram mapeadas próximo ao município de Poços de Caldas. Caracterizam-se por apresentarem coloração creme que quando em estado de alteração assume textura argilo siltosa e coloração ocre (Figura 33).

Figura 31 – Afloramento de tinguaito na área do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

Figura 32 – Afloramento de blocos de nefelina sienite envolto em matriz argilo siltosa.

Figura 33 – Afloramento de rocha potássica no município de Poços de Caldas.

5.1.4.1.3 - Domínio III

O Domínio III ocupa a maior parte da área total da Bacia do Rio Pardo e é constituído por rochas sedimentares, derrames basálticos e rochas intrusivas pertencentes à Bacia do Paraná.

Próximo à divisa com o estado de Minas Gerais, mais precisamente próximo aos municípios de São José do Rio Pardo e São João da Boa Vista, os sedimentos pertencentes ao Domínio III sobrepõem-se às rochas pertencentes ao Domínio I.

As litologias mapeadas para o Domínio III foram agrupadas de acordo com a coluna estratigráfica definida para a Bacia do Paraná (IPT, 1981a) e encontram-se descritas a seguir.

Grupo Tubarão

No Estado de São Paulo, o Grupo Tubarão é dividido nas formações Itararé, Aquidauana e Tatuí (IPT, 1981a), sendo que na Bacia do Rio Pardo, foram encontradas litologias representativas das formações Aquidauana e Itararé.

• Formação Aquidauana (CPa)

A Formação Aquidauana repousa diretamente sobre o embasamento cristalino e seu contato superior se dá com a Formação Tatuí, ou ao findar esta, com a Formação

Pirambóia. Litologicamente é formada por arenitos finos e siltitos, de coloração avermelhada, podendo ocorrer também, folhelhos vermelhos ou esverdeados, conglomerados, diamictitos e ritmitos. É dividida em duas fácies distintas: a fácies inferior e a fácies superior (Almeida, 1980)

A fácies inferior é caracterizada preferencialmente por sedimentos arenosos, de coloração vermelho-tijolo e textura granular variada, e subordinadamente por siltitos. Estruturalmente, observa-se estratificação planar de pequeno a médio porte. Já a fácies superior caracteriza-se por rochas clásticas de granulometria grosseira, arenitos, conglomerados, diamictitos e subordinadamente por siltitos, ritmitos e folhelhos. Os arenitos, quando não maciços, apresentam estratificação plano-paralela ou cruzada, acanalada ou tangencial (Albuquerque Filho, 2000).

Na área da Bacia do Rio Pardo, os litotipos pertencentes à Formação Aquidauana podem ser observados a noroeste da cidade de Mococa e em uma pequena porção a oeste da cidade de Vargem Grande do Sul, ocupando cerca de 597,19 Km² da área total. São constituídos por arenitos finos e siltitos, de tonalidade avermelhada, representados por corpos tabulares ou alongados com espessuras de aproximadamente 10 a 30 metros, ocorrendo intercalados com lentes milimétricas de arenito de tonalidade esbranquiçada e granulometria mais grosseira.

• Formação Itararé (CPI)

A Formação Itararé, no Estado de São Paulo é constituída basicamente por arenitos de granulação heterogênea, passando a arenitos feldspáticos, que se sucedem verticalmente e horizontalmente formando espessas camadas. Localmente observa-se camadas de carvão e calcário. Estruturalmente, apresenta estratificações plano-paralelas ou cruzadas e como estruturas menores, marcas de onda e acamamento gradacional (IPT, 1981a).

Na área em questão, as litologias da Formação Itararé ocupam cerca de 392,94 Km² da área total e ocorrem quase que predominantemente na região próxima ao município de Tambaú. Ocorre ora na forma de corpos de arenitos de coloração rósea e granulometria fina a muito fina, que ocorrem localmente intercalados a uma fina camada de arenitos esbranquiçados, de granulometria grosseira, com presença de seixos milimétricos de quartzo e ora por arenitos finos lamíticos, ligeiramente micáceos, formando corpos tabulares (Figura 34).

Figura 34 - Detalhe do arenito da Formação Itararé, intercalado com níveis quartzosos de granulometria mais grosseira

Grupo Passa Dois

O termo “Grupo Passa Dois” é utilizado para designar um conjunto de folhelhos, com intercalações de arenito, calcário e sílex (IPT, 1981a).

Na Bacia do Rio Pardo, o Grupo Passa Dois é representado pela Formação Corumbataí, que faz contato discordante e erosivo na base com a Formação Itararé do Grupo Tubarão e no topo com a Formação Pirambóia do Grupo São Bento (Figura 35).

Figura 35 – Contato entre as Formações Corumbataí e Pirambóia

• Formação Corumbataí (PC)

A Formação Corumbataí é constituída na base por um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros a pretos e ainda por um conjunto de argilitos e folhelhos cinza escuro de aspecto rítmico com leitos de calcário silicificado. A seção superior é constituída por uma seqüência de argilitos de tonalidade arroxeada e arenitos finos, argilosos e bem classificados (BRASIL/DNPM, 1979)

Na área da Bacia do Rio Pardo, os litotipos da Formação Corumbataí ocupam cerca de 181,0 Km² da área total e foram encontrados próximo a cidade de Tambaú, caracterizando-se basicamente por depósitos de argilitos, folhelhos e siltitos cinzas, arroxeados ou avermelhados intercalados com camadas de arenitos finos (Figura 36).

Figura 36 – Detalhe do argilito da Formação Corumbataí, nas cercanias da cidade de Tambaú.

Grupo São Bento

O Grupo São Bento é constituído por rochas de idade mesozóica da Bacia do Paraná, ocupando a maior parte da área pertencente ao Domínio III. É formado por arenitos finos a médios e basaltos de idade juro-cretácea (BRASIL/DNPM, 1979). É formado da base para topo pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral.

• Formação Pirambóia (TJp)

A Formação Pirambóia é composta por uma sucessão de camadas arenosas de coloração avermelhada, granulometria média a fina, podendo ocorrer localmente arenitos grossos conglomeráticos. Estruturalmente caracteriza-se por apresentar estratificação plano-paralela ou ainda estratificação cruzada de média a grande porte (Schneider *et al.*, 1974).

Para Soares & Landim (1973), o contato entre as camadas da Formação Pirambóia e o topo das unidades do Grupo Passa Dois é uma descontinuidade que ocorre sob a forma de superfície abrupta e plana, sem evidência de erosão ou exposição prolongada. Seu contato superior é gradativo, com ocorrências locais de diastemas, onde se concentram seixos na base da Formação Botucatu.

A porção basal desta unidade é formada por camadas métricas de arenitos de granulometria média a fina e ocasionalmente grosseira. Os arenitos são quartzosos com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Raramente, observam-se arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo e também de argila. Na porção inferior, os arenitos tornam-se mais finos, predominando uma fácies bastante argilosa. Estruturalmente apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada do tipo planar, de pequeno a médio porte (Figura 37)

Figura 37– Estratificação cruzada no arenito da Formação Pirambóia.

Os arenitos da Formação Pirambóia, ocupam uma área de 1127,9 Km² e foram mapeados em uma pequena porção à nordeste da cidade de Serrana, margeando parte do

Vale do Rio Pardo. Próximo a Santa Rosa do Viterbo, ocupa uma extensa área que se estende ao sudoeste, passando pela cidade de Cássia dos Coqueiros a sudeste da folha e subindo em direção a Altinópolis, a norte da área em questão. Esta formação, pode ser observada também ao longo do vale dos Ribeirões Tamanduá e Tamanduazinho e em grandes porções nas redondezas do município de Santa Rita do Passa Quatro.

A Formação Pirambóia é caracterizada por arenitos de coloração esbranquiçada e ocasionalmente amarelada a róseo. Apresenta granulometria muito fina a média, com grãos de quartzo subarredondados, intercalados com camadas de siltitos e argilitos.

• Formação Botucatu (JKb)

A Formação Botucatu é constituída por arenitos avermelhados, por vezes róseos a esbranquiçados, granulometria fina a média e por vezes muito fina. São friáveis e bem silicificados, com grãos arredondados e foscos. Na base, podem ocorrer corpos de arenitos conglomeráticos. Como estruturas sedimentares, observa-se na base, estratificação cruzada do tipo planar. O contato superior com a Formação Serra Geral se dá por interdigitação, com a alternância de derrames basálticos e lentes de arenitos eólicos ou mesmo de sedimentos clásticos finos depositados em pequenas lagoas. (BRASIL/DNPM, 1979).

No Domínio III da Bacia do Rio Pardo, os arenitos da Formação Botucatu, são a segunda litologia em termos de extensão territorial, ocupando uma área de 1336,8 Km². Foi encontrado entre o Ribeirão Tamanduá e a cidade de Ribeirão Preto e às margens do Ribeirão da Prata e do Rio Pardo ao norte da cidade de Serrana. Pode ser observado também na porção noroeste da cidade de Altinópolis e em grande área próxima ao município de Cravinhos.

Na área em questão, a Formação Botucatu é constituída por arenitos de coloração esbranquiçada a avermelhada (Figura 38). Apresenta textura fina a muito fina, com grãos bem selecionados e em alguns locais níveis mais grosseiros na base. Estruturalmente pode-se observar a presença de estratificação cruzada de médio porte.

Figura 38 – Afloramento de arenito da Formação Botucatu.

• Formação Serra Geral (JKsg)

A Formação Serra Geral é caracterizada por uma seqüência de lavas basálticas, cujo contato superior com as unidades mais recentes é feito de forma discordante, marcando uma importante superfície erosiva. Segundo Almeida (1986) o desenvolvimento desta superfície resultou na destruição dos aparelhos vulcânicos e na exposição de diques e outras estruturas subvulcânicas.

No Domínio III da bacia, as rochas da Formação Serra Geral constituem a litologia predominante, ocupando uma área de aproximadamente 3068,45 Km², sendo que 2752,0 Km² corresponde a área formada pelos derramamentos (JKsg) e 316,4 Km² às áreas ocupadas pelos corpos intrusivos (JK β)

O basalto da Formação Serra Geral, constituem uma extensa faixa que vai desde a foz do Rio Pardo com o Rio Mogi Guaçu, passando pela cidade de Ribeirão Preto, cobrindo as cidades de Jardinópolis e Brodowski e em seguida dirigindo-se até próximo a cidade de Sales Oliveira. Afloram também próximas às cidades de Cajurú e Santa Cruzes da Esperança e ao sul da cidade de Cássia dos Coqueiros, correspondendo às formas de relevo mais elevadas. Na região de Bonfim Paulista, Cravinhos e Luis Antônio, constitui a litologia predominante, ocupando praticamente quase toda porção norte desta área. Próximo a Santa Rita do Passa Quatro, os basaltos aparecem dispersos em meio às colinas constituindo as serras e morros existentes na área.

Esta formação é constituída por derrames basálticos e corpos de diabásio intrusivos na forma tanto de soleiras (*sills*) como de diques. Os basaltos são rochas maciças, toleíticas, de coloração cinza escura a negra, granulometria geralmente fina e textura afanítica (Figura 39), com presença de ripas de plagioclásio incluídos na massa. Apresentam espessura variável, podendo alcançar mais de 50 metros. Localmente, observam-se *intertraps* de arenitos.

Figura 39– Corpo de diabásio pertencente à Formação Serra Geral

Dispersos pela Formação Aquidauana, foram mapeadas soleiras de diabásio correlacionáveis à formação Serra Geral, e em meio aos sedimentos da Formação Itararé às vezes, observam-se corpos intrusivos de rochas básicas da Formação Serra Geral, constituindo as formas de relevo mais elevadas da região.

Depósitos do final do Mesosóico e do Cenozóico

Constituem os depósitos continentais correlacionados as Formações Itaqueri, Rio Claro e Piraçununga. Na área em questão é representado pelos arenitos da Formação Piraçununga.

• Formação Piraçununga (Tp)

Na Bacia do Rio Pardo, a Formação Piraçununga foi mapeada em corpos de menor expressão na região de Tambaú e em corpos maiores próximo a cidade de Casa Branca, perfazendo um total de 304,5 Km² de área.

É constituída por sedimentos arenosos inconsolidados de coloração marrom avermelhada com baixo grau de seleção. Em sua base pode-se encontrar, por vezes linhas de seixo subangulares e arredondados de formas variadas e localmente presença de cascalheiras de espessura centimétrica, ambas compostas por seixos de quartzo, quartzito e concreções de limonita (Freitas *et al.*, 1990).

5.1.5 – Carta de Domínios de Drenagens

O estudo da rede de drenagem tem se mostrado uma ferramenta auxiliar importante na análise geoambiental de uma região. Tendo em vista que ela reflete, através de sua organização e características, as relações climáticas, estruturais, de substrato rochoso e antrópicas, é possível obter através do estudo detalhado da rede drenagem, informações de caráter relevante, especialmente quanto à estrutura geológica da área, litologia, espessuras de solos, geomorfologia, etc. (Soares & Fiori, 1976).

Porém, de acordo com Pires Neto (1991), a análise das interações e da gênese da rede de drenagem deve ser feita de modo integrado com os demais componentes do relevo, para se evitar uma análise parcial e incompleta da paisagem. Para este autor, o estudo da rede de drenagem deve enfatizar o estudo de diferentes aspectos da rede hidrográfica.

A caracterização da rede de drenagem, auxiliou na definição dos *landforms* existentes na área, bem como na caracterização dos tipos de materiais inconsolidados, uma vez que a formação dos mesmos está diretamente relacionada ao sistema de drenagem existente na região. Foi possível também, identificar os divisores de água e traçar o limite da Bacia do Rio Pardo.

A rede de drenagem da área estudada, foi digitalizada através do software AutoCAD[®], a partir das informações contidas nas cartas topográficas (escala 1:50.000) e nas fotografias aéreas (escala 1:60.000) utilizadas como base para o trabalho.

A análise da rede de drenagem da Bacia do Rio Pardo foi executada em caráter qualitativo, onde foram considerados três importantes aspectos para a sua caracterização:

- Padrão de drenagem: foi descrito de acordo com a classificação de Zernitz (1932) e Howard (1967), conforme mostra a Tabela 28;
- Ordem dos canais: o sistema de hierarquização adotado no presente trabalho foi a classificação proposta por Strahler (1957);

- Densidade de drenagem (Dd): foi descrita de acordo com Christofolletti (1979), conforme a Figura 40.

Após a análise qualitativa a carta foi editada, dando origem a Carta de Domínios de Drenagem (ANEXO V).

Tabela 28 – Padrões de drenagem segundo Zernitz (1932) e Howard (1967)

Padrão	Características e Significado
Dendrítico	<ul style="list-style-type: none"> - Ramificações irregulares em todas as direções; as junções dos tributários e o canal principal de altos ângulos; - Substrato com resistência uniforme; sedimentos horizontais ou oblíquos; rochas cristalinas com declive regional suave
Subdendrítico	<ul style="list-style-type: none"> - Difere do padrão dendrítico apenas pela falta de perfeição; - Controle regional secundário (estrutural e topográfico): padrão dendrítico inicial modificado por controle estrutural incipiente ou pelo encaixamento progressivo da drenagem em uma cobertura sedimentar
Paralelo	<ul style="list-style-type: none"> - Os canais apresentam-se em geral paralelos entre si; - Áreas de declive moderado a forte e substrato resistente; pode ser encontrado em formas de relevo alongadas ou subparalelas
Anelar	<ul style="list-style-type: none"> - Domos e altos topográficos
Retangular	<ul style="list-style-type: none"> - É caracterizado por junções de alto ângulo tanto no canal principal como em seus tributários. Difere do padrão treliça por ser mais irregular e por não apresentar canais perfeitamente paralelos - Áreas de juntas e/ou falhas em ângulos retos.
Treliça	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de rochas dobradas ou com mergulhos bem marcados, rochas vulcânicas ou metassedimentares. - Áreas de fraturas paralelas. - Áreas de relevo alongados e paralelos. <p>Os tributários maiores indicam a direção do mergulho das camadas.</p>

Figura 40 – Classificação da densidade de drenagem, segundo Christofolletti (1979).

Cabe ressaltar que a determinação quantitativa da densidade de drenagem representa um trabalho demorado e em certos casos pouco satisfatórios, podendo apresentar, em virtude do material utilizado para a extração das redes de drenagens, variação no resultado. Baseado nestas observações, Pires Neto (1991) sugere que a densidade de drenagem seja utilizada como elemento qualitativo e indicativo nos estudos de pequena e média escala e avaliada de modo preciso e quantitativo nos estudos que envolvam escalas de detalhe. Assim, tendo em vista a extensão da área estudada (aproximadamente 13.000 Km²) e a escala adotada para o trabalho em questão (1:100.000), optou-se por fazer uma análise qualitativa do sistema de drenagem.

5.1.5.1 - Descrição e caracterização da rede de drenagem

Por localizar-se em terrenos que incluem desde rochas do embasamento cristalino até sedimentos da Bacia do Paraná, o processo de formação e evolução da rede de drenagem da Bacia do Rio Pardo, se deu de maneira muito diferenciada. Esta diferenciação reflete também a influência do clima no desenvolvimento dos sistemas de drenagem que compõem a bacia.

Os padrões são variáveis e a densidade de drenagem decresce do divisor de águas para o interior da bacia. Basicamente, para a área em questão, a rede de drenagem apresenta uma grande ligação com o substrato rochoso existente em cada área.

Na parte alta da bacia, onde ocorrem litologias pertencentes ao Embasamento Cristalino e ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas, a rede de drenagem caracteriza-se por apresentar alta densidade e padrões do tipo treliça, dendrítico e retangular. Esta área também apresenta uma série de falhas de grande envergadura, traduzindo-se em

lineamentos marcados por xistosidades, ação hidrotermal-pegmatítica e recristalizações superpostas, que atribuem à rede de drenagem um certo alinhamento espacial. De acordo com Pires Neto (1991), estas organizações permitem identificar determinados tipos de feições estruturais, direções de falhas e fraturas ou feições anômalas.

Na parte média da bacia, onde ocorre uma transição das litologias pertencentes ao embasamento cristalino para sedimentos pertencentes a Bacia do Paraná, a rede de drenagem apresenta uma diminuição em termos de densidade e os padrões que predominam são os padrões dendrítico, paralela e treliça. Nesta área ocorrem litologias argilosas, siltosas e arenosas. A região onde foi observado um aumento da densidade de drenagem, porém com menor intensidade do que na parte alta, foram nas escarpas das áreas de *cuestas*.

Por fim, na parte baixa da bacia, a rede de drenagem se apresenta de forma menos intensa. Os canais ocorrem dispersos, com ramificações grandes e longas, traduzindo-se em uma baixa densidade e com o predomínio do padrão subdendrítico. Esta área é formada basicamente por litologias arenosas pertencentes a Formação Botucatu e Pirambóia e pelos derrames de basaltos da Formação Serra Geral.

Dentro destas três grandes áreas foi possível ainda compartimentá-las em domínios, definindo assim uma melhor caracterização para o sistema de drenagem da área como um todo. Foram individualizados nove domínios, que foram descritos em função da ordem dos canais, dos padrões e da densidade de drenagem.

Domínio I

O Domínio I localiza-se na parte baixa da bacia, próximo à foz do rio Mogi Guaçu. É caracterizado por um sistema de drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico e com canais preferencialmente de 2ª ordem e subordinadamente de 1ª ordem. Ocorre em terrenos cobertos pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Domínio II

Localiza-se na porção oeste da bacia, entre a foz e a parte média da bacia. Caracteriza-se por um sistema de drenagem de média densidade, padrão subdendrítico e canais de 4ª e 5ª ordem. Os canais foram desenvolvidos sobre arenitos das formações Botucatu e Pirambóia e também sobre os basaltos da Formação Serra Geral.

Domínio III

Localiza-se na parte média, próximo aos divisores de água da bacia. Caracteriza-se por um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico e canais de 3ª, 4ª e

5ª ordem. Os canais desenvolveram-se sobre arenitos das formações Pirambóia, Aquidauana e Itararé, argilitos da Formação Corumbataí e sobre as rochas intrusivas relacionadas à Formação Serra Geral.

Domínio IV

Localiza-se na porção central da parte média da bacia. Ocorre nas porções mais baixas, próximo às planícies do Rio Pardo. Caracteriza-se por um sistema de drenagem de média densidade, padrão paralelo e canais de 4ª e 5ª ordem. Desenvolveu-se sobre arenitos das formações Pirambóia, Aquidauana e Itararé e sobre os argilitos da Formação Corumbataí.

Domínio V

Localiza-se a nordeste da parte média da bacia. Caracteriza-se por apresentar um sistema de drenagem com padrão do tipo treliça direcional, com densidade média e canais de 5ª ordem. As drenagens ocorrem sobre os granulitos.

Domínio VI

Localiza-se na parte média da bacia. Caracteriza-se por apresentar um sistema de drenagem com padrão do tipo dendrítico, com alta densidade e canais de 5ª ordem. As drenagens desenvolveram-se sobre os migmatitos bandados e dobrados. Estas rochas apresentam um alto grau de deformação, que é refletido no sistema de drenagem, conferindo aos canais uma orientação preferencial. Em alguns locais deste domínio é nítida a orientação NE/SW dos canais.

Domínio VII

Localiza-se na parte média da bacia. Caracteriza-se por desenvolver um sistema de drenagem com padrão do tipo anelar. Apresenta média densidade e canais de 3ª ordem. Os canais de drenagens foram desenvolvidos sobre rochas granulíticas.

Domínio VIII

Localiza-se na parte alta da bacia. Caracteriza-se por desenvolver um sistema de drenagem com padrão do tipo dendrítico, alta densidade e canais de 4ª e 5ª ordem. Os canais de drenagens foram desenvolvidos sobre os granitos porfiroblásticos e sobre as rochas alcalinas do Maciço de Poços de Caldas.

Domínio IX

Localiza-se na parte alta da bacia, próximo a nascente do Rio Pardo. Caracteriza-se por desenvolver um sistema de drenagem com padrão do tipo retangular, alta densidade e canais de 4ª ordem. Os ângulos entre os canais de drenagem indicam uma

direção NE/SW. Os canais de drenagens foram desenvolvidos sobre os granitos equigranulares.

5.1.6 – Mapa de *Landforms*

O Mapa de *Landforms* (ANEXO VI) foi elaborado segundo sistemática proposta por Lollo (1995) e consiste num zoneamento do terreno, a partir da interpretação de fotografias aéreas, em termos de homogeneidade das feições do relevo. Este zoneamento permite que a área estudada seja dividida em unidades cada vez menores, em função da escala adotada para o trabalho e da finalidade do mapeamento.

Segundo Lollo (*op cit.*), o Mapa de *Landforms* representa uma forma de zoneamento do meio físico que utiliza a técnica de avaliação de terreno e que consegue associar suas unidades de formas de relevo em função do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados presentes. Para o autor, dois enfoques fundamentais devem ser observados na aplicação desta técnica. O enfoque fisiográfico ou da paisagem (*Landscape Approach*), onde através de um conjunto de observações fotointerpretativas é possível delimitar as principais discontinuidades de uma região e separar áreas semelhantes em relação à geomorfologia, à geologia e à gênese, tais como formas geométricas, estruturas geológicas, declividades, formas de canais de drenagem e formas de vertentes e o enfoque paramétrico (*Parametric Approach*) que corresponde à descrição dos atributos que são expressos em termos de valores (declividades, amplitudes, extensões e parâmetros característicos da rede de drenagem).

Para o zoneamento do terreno em termos de *landforms*, normalmente são definidos três níveis hierárquicos, que são classificados em função do grau de detalhamento do trabalho, das dimensões dos *landforms* caracterizados e da escala considerada. Tais níveis são definidos como (Lollo, 1995):

- **Sistema de terreno** (*land system*): conjunto de *landforms* relacionados em termos de gênese e litologia, mas diferentes de outros conjuntos a sua volta;
- **Unidade de terreno** (*land unit*): um *landform* ou uma associação de *landforms* homogêneos ou que reúne alguma particularidade seletiva ou ainda por um conjunto de componentes de terreno. A unidade de terreno

deve sempre refletir características diferentes das outras dentro de um mesmo sistema e deve ser definida com base em critérios relacionados ao relevo, gênese e composição.

- **Elemento de terreno** (*land element*): subdivisões das unidades de terreno onde as variações mais importantes para a sua definição são as formas de encostas ou de drenagens; porém uniformes em termos de litologia, forma de vertente e perfil de alteração.

Entretanto, especificamente para a área em questão, o nível hierárquico adotado para o zoneamento do terreno foi o “Sistema“, tendo em vista tanto a escala das fotografias aéreas utilizadas (1:60.000), quanto a finalidade principal do trabalho (subsidiar o planejamento regional). Os critérios utilizados para o reconhecimento dos sistemas (Tabela 29) foram os apresentados por Lollo (1996).

Tabela 29 – Critérios de reconhecimento das formas de relevo (modificado de Lollo, 1996)

Feição	Critérios de reconhecimento
Colina	Vertentes convexas ou côncavas, topos ondulados a aplainados, declividades moderadas e baixas (< 10% na maioria dos casos), amplitude de relevo < 100 m.
Vale	Vertentes convexas ou côncavas, declividades variadas (desde muito baixa até altas), amplitude de relevo variada
Morrote	Vertentes convexas, topos arredondados a angulosos, declividades moderadas a altas (> 10%), amplitude de relevo < 100 m.
Morro	Vertentes convexas a retílineas, topos ondulados a pontiagudos, declividades altas (> 20%), amplitude de relevo > 100 m.

O Mapa de *Landforms* foi feito basicamente em três etapas, alternando etapas de campo e de escritório. Para os trabalhos de campo e de escritório, foi elaborada uma ficha que auxiliou na caracterização de cada *landform* (Figura 41).

Inicialmente, foi realizado um trabalho de fotointerpretação preliminar em conjunto com observações no mapa topográfico, permitindo assim o zoneamento preliminar da área e o reconhecimento e individualização dos principais *landforms* existentes. Na segunda etapa, os *landforms* definidos na primeira passaram por um reconhecimento em campo, proporcionando assim, maior precisão ao zoneamento.

Nesta etapa foram obtidas também informações que contribuíram na descrição e definição de cada *landform*. Finalmente, em uma última fase foi executado o trabalho de

Para a caracterização dos *landforms* utilizaram-se terminologias que enfatizem as formas e os aspectos geométricos dos elementos que constituem cada *landform*. A descrição de cada sistema foi feita com base nas diferenças encontradas em elementos como topo, vertente e padrões de drenagem.

Após o trabalho de fotointerpretação, os *landforms* definidos para a área de estudo foram agrupados com a ajuda do aparelho restituído de imagens “*scatter master*”, e por fim o Mapa de *Landforms*, foi editado no programa AutoCAD®.

A descrição apresentada para os “Sistemas” definidos foi feita em função das formas de relevo e do tipo de material inconsolidado associado a cada *landform*. Este por sua vez, foi descrito em função da cor, origem, textura, granulometria e espessura, características estas atribuídas através de uma descrição tátil-visual feita em campo e de resultados de ensaios de granulometria realizados por Silveira (2002) e Amorim (2003). Para a área em questão, foram definidos e delimitados 32 Sistemas de Terreno, os quais encontram-se descritos a seguir.

Sistema 1

O Sistema 1 ocupa uma área de 1395 Km² e ocorre associado praticamente às rochas basálticas da Formação Serra Geral. Constitui uma extensa área caracterizada por relevo plano, formado por colinas amplas suavemente onduladas com amplitude máxima de 80 a 100 metros e declividades variando entre 0 a 10%, com predomínio das classes de 0 a 2% e de 2 a 5%. Os topos são arredondados e as encostas convexas, associadas a um sistema de drenagem de baixa densidade. O padrão de drenagem predominante é subdendrítico com canais de 2ª ordem.

O material inconsolidado descrito para este sistema caracteriza-se por ser um material homogêneo e bem desenvolvido, que origina-se da alteração dos basaltos da Formação Serra Geral. Apresenta textura argilosa a muito argilosa e coloração vermelha escura. Esta coloração ocorre uniformemente em relação à profundidade e é atribuída ao elevado teor de óxido de ferro existente na rocha.

As espessuras deste material variam de centímetros a dezenas de metros. Na área, constataram-se espessuras superiores a 5 metros, sendo que em alguns pontos foram observados afloramentos de aproximadamente 15 metros (Figura 42).

Figura 42 - Solo desenvolvido da alteração dos basaltos existentes no Sistema 1

Sistema 2

Este sistema caracteriza-se por morros com amplitudes máximas de 140 metros, topos arredondados e ondulados e encostas convexas a retilíneas onde se desenvolveu um sistema de drenagem de média densidade e padrão subdendrítico com canais de 4^a e 5^a ordens (Figura 43). As declividades variam de 2 a 20%, sendo que ocorre o predomínio das classes 5 a 10%. Ocupa uma área de 1120,7 Km².

Figura 43 – Morros característicos do Sistema 2.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema também é produto da alteração das rochas básicas da Formação Serra Geral, porém desenvolveu-se em terrenos com maior variação de amplitude topográfica.

Caracteriza-se por um material de origem residual que apresenta coloração vermelha de tonalidade escura, cuja textura apresenta-se homogênea e argilosa.

As espessuras nas encostas apresentam valores próximos a 5 metros, porém, a identificação deste material nos topos foi prejudicada pela falta de exposição, mas em alguns pontos pode-se constatar que a espessura destes materiais se limita a valores inferiores a 2 metros.

Sistema 3

Este sistema compreende uma área de 218 Km² e é constituído por um conjunto de morros com amplitude máxima de 180 metros, topos arredondados e amplos, encostas suavizadas com perfis convexos associados a um sistema de drenagem de média densidade e padrão subdendrítico com canais de 4^a e 5^a ordem. As declividades variam entre as classes 2 a 10 % com predomínio da classe 5 a 10%.

Os materiais desenvolvidos neste sistema foram classificados como residuais e desenvolveram-se sobre os arenitos das formações Botucatu e Pirambóia. Apresentam textura arenosa de granulometria essencialmente fina, sendo que a espessura dos perfis apresenta-se sempre inferior a 5 metros (Figura 44).

Figura 44 - Detalhe do solo de alteração do arenito da Formação Botucatu, no Sistema 3.

Sistema 4

Ocupa uma área de 483 Km². É constituído por morros médios com amplitude máxima de 140 metros que se caracterizam por apresentar topos arredondados, encostas suavizadas com perfis convexos associados a um sistema de drenagem com média densidade e padrão subdendrítico a paralelo com canais de 4^a e 5^a ordens. Apresentam

declividades que variam entre 10 a 20% e ocorrem associados a extensas áreas planas que apresentam declividades de 2 a 5% (Figura 45). Compreende uma das regiões com as maiores ocorrências de feições erosivas de grande porte.

Figura 45 – Vista geral do Sistema 4. Detalhe para as áreas planas que ocorrem associadas as feições de relevo do Sistema 4.

Neste sistema foram observados dois tipos de materiais. O primeiro, de origem transportada, apresenta-se em pacotes cuja espessura é inferior a 3 metros, textura arenosa e coloração amarela. Em alguns pontos observam-se níveis conglomeráticos associados a este material (Figura 46). Sob este solo, observa-se um material de origem residual, textura arenosa, coloração avermelhada, granulometria fina que se dispõem em perfis com espessuras superiores a 5 metros. De acordo com ensaios de erosão (Nogami & Vilibor, 1979) realizados por Silveira (2002), o material residual, apresentou alta erodibilidade em relação ao material constituinte da primeira camada.

Figura 46 – Níveis conglomeráticos encontrados no solo transportado do Sistema 4.

Sistema 5

Este sistema ocupa uma área total de aproximadamente 1020,7 Km² e é constituído por um conjunto de colinas baixas com amplitude máxima de 90 metros. Estas colinas caracterizam-se por apresentar topos amplos e encostas com perfis convexos onde se desenvolveu um sistema de drenagem de média densidade e padrão subdendrítico com canais de 4^a e 5^a ordens. As declividades variam de 0 a 10 %, com predomínio da classe 5 a 10% .

Os materiais inconsolidados são bem desenvolvidos e originados a partir da alteração dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia. Apresentam textura essencialmente arenosa, coloração alaranjada e granulometria fina e encontram-se dispostos em perfis com espessuras que variam de 3 a 7 metros.

Dispersos neste sistema, foram observadas feições isoladas constituindo morros formados por diques de diabásio. Próximo a estes morros, sobre o material descrito acima, depositou-se uma camada rasa (aproximadamente 0.5 a 1 metro) de solo transportado com coloração avermelhada e textura argilosa, provavelmente originada dos corpos básicos intrusivos (Figura 47).

Figura 47 - Solo decorrente da alteração do arenito da Formação Botucatu. Notar a presença da linha de seixo que separa o solo transportado (A) do residual (B).

Sistema 6

Este sistema ocupa uma área de 168,6 Km². É formado por colinas de amplitude máxima de 100 metros, caracterizadas por topos amplos e arredondados, encostas com perfis convexos associados a um sistema de drenagem de alta densidade e padrão dendrítico, com canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens e vales abertos em U. As declividades variam entre 2 e 20 % com predomínio da classe 5 a 10% (Figura 48).

Figura 48 – Forma de relevo representativa do Sistema 6 (Fonte: Silveira, 2002).

O material inconsolidado encontrado neste sistema é classificado como residual, originado a partir dos arenitos da Formação Pirambóia. Este material ocorre em perfis de espessuras inferiores a 4 metros, são homogêneos e de coloração vermelha. Em ensaios de granulometria, Silveira (2002) constatou que a fração areia representa valores superiores a 80 % e a fração de finos (argila e silte), valores inferiores a 20 %. Tais resultados permitem classificar este material como um solo de textura arenosa e granulometria fina. Em vários afloramentos é comum observar um intenso ravinamento, como pode ser observado na Figura 49.

Figura 49 – Material inconsolidado presente no Sistema 6. Notar presença de ravinamentos no material residual (Fonte: Silveira, 2002).

Próximo ao contato com Sistema 4, foi constatado a presença de um material, provavelmente transportado, de coloração amarelada, textura arenosa e granulometria fina, com espessuras variando de 1 a 2 metros (Figura 50).

Figura 50 – Material transportado observado próximo ao contato com o Sistema 4.

Sistema 7

Este sistema ocupa uma área de 270,5 Km². É constituído por um conjunto de colinas com amplitude máxima de 100 metros, topo arredondado, encostas convexas associadas a um sistema de drenagem de média densidade, padrão dendrítico com canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens e vales em V pouco entalhado. As declividades variam de 2 a 10%, com predomínio da classe de 5 a 10% (Figura 51)

Figura 51 – Encostas convexas associadas ao Sistema 7.

Em relação ao material inconsolidado, exposições de afloramentos neste sistema evidenciaram a presença de um material transportado (A), que apresenta coloração amarela em perfis com espessuras variando de 1 a 2 metros, textura areno-argilosa e granulometria fina. Sob este material, ocorre um outro de coloração rosa, classificado como de origem residual proveniente do arenito Pirambóia (B). Este material apresenta-se, em perfis, com espessura sempre inferior a 4 metros, textura arenosa, com pouca contribuição de argila e granulometria fina.

Em ensaios de perda de massa por imersão, Silveira (2002) constatou que o material residual apresentou cerca de 70% de perda de massa. Estes resultados podem ser comprovados em campo, tendo em vista que o material residual apresenta um número significativo de feições erosivas (ravinas e sulcos) em relação ao transportado, como pode ser observado na Figura 52.

Figura 52 – Perfil de alteração desenvolvido no Sistema 7, com definição das camadas de material transportado (A) e residual (B). Notar a presença de feições erosivas no material B.

Sistema 8

Este sistema é constituído por colinas alongadas, ocupando uma área de 774,7 Km². Caracteriza-se por apresentar amplitude máxima de 100 metros, topos arredondados, encostas convexas localmente ravinadas, associadas a um sistema de drenagem de média densidade, padrão dendrítico a paralelo com canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens e vales pouco entalhados em forma de V. As declividades variam de 2 a 20% com predomínio da classe 2 a 5% e de 5 a 10%.

Os materiais inconsolidado descritos para este sistema são classificados como residuais das litologias pertencentes às formações Aquidauana e Corumbataí e são divididos em dois tipos: os materiais que se desenvolveram da alteração dos argilitos da Formação Corumbataí e os originados da alteração da associação arenito/siltito/folhelho da Formação Aquidauana.

Os materiais originados das litologias da Formação Corumbataí constituem camadas com espessuras que variam de 3 a 8 metros e são constituídos por um material de textura muito argilosa e coloração arroxeada que ocorrem intercalados com níveis de coloração esbranquiçada e textura argilo siltosa (Figura 53).

Já os materiais originados das litologias da Formação Aquidauana, apresentam coloração bege a rosa, textura areno-siltoso-argilosa, granulometria média a grossa dispostos em camadas cuja espessura varia entre 1 a 4 metros e localmente materiais de textura arenosa que ocorrem em perfis de espessura variando de 3 a 8 metros . Neste material ocorrem intercalações de níveis centimétricos de folhelhos alterados, apresentando coloração bege.

Figura 53 - Material decorrente da alteração dos argilitos da Formação Corumbataí.

Sistema 9

Este sistema ocupa uma área de 212,3 Km² e é representado pelas *cuestas* que se desenvolveram entre o arenito da Formação Botucatu e os diques e derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Apresenta amplitude máxima de 250 a 300 metros, topos planos constituindo uma área extensa levemente ondulada e vertentes retilíneas com altas declividades, formando escarpas onde se desenvolveu um sistema de drenagem de média a alta densidade e padrão subdendrítico com canais de 1^a e 2^a ordens e vales em V pouco entalhados. As declividades variam de 5 a 45%, sendo que as vertentes apresentam declividades superiores a 30% (Figura 54).

Figura 54 – Vista geral do Sistema 9.

As altas declividades das encostas e a dificuldade de acesso a afloramentos localizados nas vertentes das *cuestas*, dificultou a descrição do material de alteração desenvolvido nestes locais. Porém, no topo destas formações, observou-se um material residual decorrente da alteração das rochas magmáticas da Formação Serra Geral, de coloração avermelhada, textura argilo siltosa, dispostos em perfis de espessuras inferiores a 2 metros.

Sistema 10

O sistema 10 ocupa uma área de 320 Km² e é constituído por colinas médias e alongadas com amplitude máxima de 80 a 100 metros. Caracteriza-se por topos arredondados, encostas convexas, associadas a um sistema de drenagem de média densidade e padrão dendrítico com canais de 4^a e 5^a ordens. As declividades variam entre as classes de 2 a 10 % (Figura 55).

Figura 55 - Vista geral de feição representativa do Sistema 10.

Este sistema desenvolveu-se em sua maior parte sobre os arenitos da Formação Pirambóia, sendo que o material inconsolidado desenvolvido é classificado como residual pouco alterado (Figura 56). Este material apresenta coloração avermelhada e os perfis apresentam espessuras inferiores a 3 metros. De acordo com Silveira (2002) ensaios de granulometria indicaram para este solo uma textura arenosa com granulometria fina. Estes ensaios apresentaram resultados superiores a 80 % para a fração arenosa e valores inferiores a 20% para a fração argila e silte, individualmente.

Figura 56 - Material de alteração do arenito da Formação Pirambóia, desenvolvido no Sistema 10.

Sistema 11

Este sistema é constituído por um conjunto de colinas e ocupa uma área de 85,3 Km². Caracteriza-se por apresentar amplitude máxima de 100 metros, topo arredondado, encostas convexas intensamente ravinadas, associada a um sistema de alta densidade de drenagem e padrão dendrítico com canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens. As declividades variam entre 2 a 20 %, ocorrendo o predomínio da classe 5 a 10%.

O material inconsolidado desenvolvido ocorre em perfis de espessura variando de 3 a 5 metros e é classificado como residual da Formação Pirambóia. Apresenta coloração marrom avermelhado e textura arenosa com granulometria média. Localmente, observa-se uma camada de espessura entre 0,80 e 1,00 metro de um material de coloração marrom escuro e textura argilosa, configurando a presença de um material superficial de origem transportada.

Sistema 12

Este sistema ocupa uma área de 51,3 Km² e caracteriza-se por um conjunto de colinas com amplitude máxima de 100 metros, topos amplos e arredondados, encostas convexas, associadas a um sistema de drenagem de alta densidade e padrão subdendrítico com canais de 4ª e 5ª ordens e vales abertos em U (Figura 57).

Figura 57 - Forma de relevo típica do Sistema 12. Ao fundo, observa-se uma feição representativa do Sistema 9.

O material inconsolidado definido para este sistema é classificado como residual da Formação Pirambóia. Constitui um material homogêneo de coloração marrom clara que se dispõe em perfis de espessuras inferiores a 3 metros (Figura 58). Segundo Silveira (2002), este material apresenta um caráter textural arenoso, de granulometria fina. Ensaio de granulometria realizados pelo autor apresentaram valores superiores a 85% para a fração areia e para a fração silte e argila valores inferiores a 25 %, individualmente.

Figura 58 – Material inconsolidado presente no Sistema 12.

Sistema 13

O sistema 13 ocupa uma área de 279,2 Km². É constituído por morros com amplitude máxima de 240 metros, que obedecem a uma orientação preferencial e caracterizam-se por apresentar topos levemente angulosos, encostas com perfis convexos a retilíneos, localmente ravinados, associadas a um sistema de drenagem de média densidade e padrão do tipo treliça direcional com canais de 5^a ordem. A declividade varia de 5% a valores superiores a 30%, ocorrendo o predomínio das classes 5 a 10% e 10 a 20% (Figura 59).

Figura 59 – Feições de relevo representativas do Sistema 13.

Em relação ao material inconsolidado desenvolvido neste sistema, é classificado como de origem residual decorrente da alteração dos granulitos pertencentes ao Complexo Varginha. Tais materiais apresentam coloração rosa, textura argilo arenosa e espessura variando de 1,5 a 3,0 metros. Em alguns locais, observam-se níveis esbranquiçados de textura arenosa intercalados a este material, estes níveis são produtos de alteração da grande quantidade de veios de quartzo existentes nas rochas (Figura 60).

Figura 60 – Material de alteração desenvolvido no Sistema 13.

Sistema 14

Este sistema ocupa uma área total de 792,9 Km², e é constituído por morros com amplitude máxima de 140 a 180 metros, caracterizados por topos levemente angulosos e encostas suavizadas com vertentes convexas a retilíneas localmente ravinadas. As declividades predominantes apresentam valores entre 10 a 20% (Figura 61). O sistema de drenagem apresenta alta densidade, padrão subdendrítico e canais de 5ª ordem.

Figura 61 - Feição de relevo representativa do Sistema 14.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é classificado como residual das rochas graníticas. Apresenta coloração marrom claro, textura areno-argiloso, granulometria média a grossa e desenvolveram-se em perfis de espessuras que variam

de 5 a 7 metros (Figura 62 A). Localmente, observam-se resquícios de níveis de feldspato e quartzo (Figura 62 B).

Sistema 15

Este sistema foi individualizado em uma pequena porção ocupando uma área de 124,1 Km². Caracteriza-se por morros com amplitude máxima de 360 metros, topo muito anguloso, encostas retilíneas ravinadas associadas a um sistema de drenagem de média densidade, padrão paralelo, canais de 4^a e 5^a ordens e vales profundos e fechados. As declividades variam de 5% a valores superiores a 30%, ocorrendo o predomínio das classes 10 a 15% e 15 a 20%.

O material inconsolidado descrito ocorre em perfis de espessura inferior a 2 metros e é classificado como residual dos gnaisses pertencentes ao Complexo Varginha. Apresenta coloração marrom clara, textura argilo-arenosa e granulometria média a grossa. Dispersos por este material, observam-se cristais de feldspato alterado.

Sistema 16

O sistema 16 ocupa uma área de 57,6 Km² e é caracterizado por morros com amplitude máxima de 190 metros, topo levemente anguloso, encostas retilíneas ravinadas, associada a um sistema de drenagem de média densidade, padrão paralelo a dendrítico, canais de 4^a e 5^a ordens e vales profundos e fechados. Ocorre predomínio das classes 10 a 15% e 15 a 20% (Figura 63)

O material inconsolidado deste sistema é produto de alteração dos gnaisses pertencentes ao Complexo Varginha e é classificado como material residual de coloração marrom avermelhado, textura argilo-arenosa e espessura variando de 1 a 3 metros. Em meio a esta camada, ocorrem níveis centimétricos de coloração esbranquiçada, textura arenosa e granulometria grosseira (Figura 64).

A

B

Figura 62 – Perfil de solo (A) desenvolvido no sistema 14 (Ponto 251) e detalhe do solo (B).

Figura 63- Feição de relevo representativa do Sistema 16.

Figura 64 - Solo desenvolvido no sistema 16. Observar os níveis arenosos intercalados ao solo.

Sistema 17

Este sistema é caracterizado por colinas arredondadas, compreendendo uma área de 274,3 Km². Caracteriza-se por apresentar amplitude máxima de 60 metros, topos arredondados, encostas convexas associadas a um sistema de drenagem de média a alta densidade e padrão dendrítico com canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens. As declividades variam de 2 a 10% com predomínio da classe 2 a 5% (Figura 65)

Figura 65 – Colinas representativas do Sistema 17.

O material inconsolidado descrito para este sistema é produto de alteração dos arenitos da Formação Itararé. Caracteriza-se por apresentar coloração que varia de rosa claro a vermelho amarelado e perfis de alteração com espessura variando de 2 a 4 metros. Quanto a textura classifica-se como areno-argilosa a areno-siltosa. Em alguns pontos este material ocorre intercalado com níveis arenosos de coloração esbranquiçada e espessura centimétricas.

Sistema 18

O Sistema 18 ocupa uma área de 199,3 Km². É constituído por morros com amplitude máxima de 200 metros, topo arredondado, encostas convexas localmente ravinadas, associada a um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico e canais de 3^a, 4^a e 5^a ordens. As declividades predominantes variam entre 2 a 5% e 5 a 10%.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é classificado como residual do arenito da Formação Pirambóia. Apresenta coloração ocre a esbranquiçada, espessura variando de 1 a 3 metros, textura arenosa e granulometria fina. Sobre este material, próximo aos corpos de diabásio, observa-se uma camada de espessura inferior a 2 metros, cujo material apresenta coloração marrom avermelhada, textura areno argilosa e granulometria fina.

Sistema 19

Este sistema compreende uma área de 167,3 Km² e é formado por um conjunto de colinas com amplitude máxima de 90 metros, topo arredondado, encostas convexas

associadas a um sistema de drenagem de média densidade, padrão paralelo e canais de 4ª e 5ª ordens. As declividades variam de 2 a 20%, ocorrendo o predomínio da classe 5 a 10%.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é classificado como residual de migmatitos bandados e granulitos pertencentes ao Complexo Varginha, que ocorrem em perfis de espessura variando entre 3 a 5 metros. Caracteriza-se por apresentar coloração rosa, textura argilo arenosa e granulometria média. Dispersos neste material é comum se observar a presença de resquícios de veios de quartzo.

Sistema 20

Este sistema ocupa uma área de 320,6 Km² e caracteriza-se por morros com amplitude máxima de 250 metros, topo levemente anguloso, encosta convexa associada a um sistema de drenagem, de média a alta densidade e padrão subdendrítico (Figura 66). As declividades predominantes variam entre 5 a 10% e 10 a 20%.

Figura 66 - Vista geral do Sistema 20

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é definido como residual de rochas pertencentes ao Complexo Varginha, mais precisamente migmatitos, gnaisses e granulitos. Apresenta coloração marrom clara e espessuras que variam de 2,0 a valores superiores a 6,0 metros. É comum se observar a presença de veios reliquiais de quartzo, dobrados e com espessura centimétrica.

Ensaio de granulometria realizados por Amorim (2003) neste material apontaram predomínio da fração argilosa acima de 50%, sendo que a fração arenosa

apresenta valores acima de 25% e a fração siltosa, valores sempre inferiores a 25%, o que confere a este material uma textura argilo-arenosa.

Em alguns pontos foram encontradas exposições representativas da existência de material transportado sobre o residual (Figura 67). Este material apresenta coloração bege a marrom clara, textura areno-argilosa e espessura variando de 0,8 a 1,00 metro.

Figura 67- Perfil de alteração do solo desenvolvido no Sistema 20. Observar a linha de seixo e os veios de quartzo alterados.

Sistema 21

Este sistema ocupa uma área de 447,3 Km². Caracteriza-se por colinas cuja amplitude máxima é de 60 metros, topo arredondado, encosta convexa associada a um sistema de drenagem de média densidade, padrão subdendrítico e canais de 4^a e 5^a ordens. A declividade varia de 2 a 20% com o predomínio da classe 2 a 5%.

O material inconsolidado encontrado é produto da alteração dos arenitos das formações Pirassununga e Itararé e caracteriza-se por apresentar coloração vermelha amarelada, textura arenosa, granulometria média a grossa e espessura variando de 5 a 10 metros. Neste solo observou-se um número significativo de ravinas, principalmente em locais onde foi retirada a cobertura vegetal e também em locais onde foram executados cortes no terreno (Figura 68).

Figura 68 - Solo originado da alteração dos arenitos da Formação Pirassununga. Detalhe para o desenvolvimento de feições erosivas devido à exposição do solo.

Sistema 22

O sistema 22 desenvolveu-se sobre migmatitos e granulitos pertencentes ao Complexo Varginha, ocupando uma área de 404 Km².

É constituído por um conjunto de morros com amplitude máxima de 400 metros, topo anguloso, encostas retilíneas e íngremes com declividades que variam de 10% a valores superiores a 30%. As drenagens desenvolvidas são profundas, configurando um sistema de média a alta densidade e padrão do tipo anelar com canais de 3^a ordem.

Os materiais inconsolidados são de origem residual e apresentam espessuras variando entre 1,5 a 3,0 metros. De acordo com Amorim (2003), texturalmente as frações de argila, silte e areia encontram-se equilibradas. Neste tipo de material, é comum se observar a presença de resquícios de quartzo e feldspato alterado. Em alguns pontos observam-se também concentrações de minerais máficos.

Sistema 23

Este sistema é constituído por um conjunto de colinas com amplitude máxima de 80 metros, topo arredondado, encostas convexas, associada a um sistema de drenagem de alta densidade e padrão dendrítico com canais de 4^a e 5^a ordens. As declividades variam de 0 a 20% com o predomínio da classe 5 a 10%. Ocupa uma área de 404,1 Km².

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é produto da alteração das rochas alcalinas pertencentes ao Maciço Alcalino Poços de Caldas. Os afloramentos encontrados permitiram a definição de dois tipos de materiais.

Quando associado aos Fonolitos e Tinguaitos o material desenvolvido é classificado como residual, com espessuras que variam de 0,5 a 7,0 metros, podendo às vezes alcançar 15,0 metros. Segundo Amorim (2003), a concentração da fração argila e silte para o material residual somam aproximadamente 80% (argila > 50% e silte > 25%) enquanto a fração arenosa não ultrapassa 20%. Estes resultados atribuem a este material um caráter argilo-siltoso. Dispersos neste material, observam-se blocos arredondados de rochas alcalinas intemperizados ou não (Figura 69)

Quando associado aos nefelinas sienitos, o perfil de alteração é constituído por uma camada de material laterítico com espessuras variando de 0,5 a 7,0 metros. Sob esta camada desenvolveu-se um material residual de textura argilo siltosa com espessuras de 2,0 a 7,0 metros.

Sobreposto aos dois tipos de materiais descritos acima, encontra-se uma camada superficial de um material de origem coluvionar. Este material apresenta coloração bege, espessura aproximada de 0,1 a 0,6 metros e textura argilo siltosa.

Figura 69 - Solo desenvolvido a partir do tinguaito. Observar os blocos intemperizados de rochas alcalinas.

Sistema 24

Este sistema ocupa uma área de 250,1 Km², e é formado por morros alongados com encostas suavizadas e amplitude máxima de 180 metros, topo arredondado,

encostas convexas, associadas a um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico e canais de 4ª e 5ª ordens. As declividades variam de 2 a 20%. Localmente observam-se pequenos sulcos e ravinas (Figura 70)

Figura 70- Feição representativa do Sistema 24. Notar presença de sulcos e ravinas que se encontram em desenvolvimento nas encostas.

O substrato rochoso deste sistema é constituído basicamente de tinguaitos e fonolitos, sendo que o material inconsolidado é caracterizado como de origem residual. Apresenta coloração ocre e espessura variando de 0,1 a 3,0 metros, podendo chegar em alguns locais a 5,0 metros (Figura 71). De acordo com Amorim (2003), texturalmente este material assume um caráter argilo-siltoso com quantidades da fração argilosa superiores a 50%. Sobre este material existe uma camada de material de origem coluvionar, coloração marrom, espessuras variando de 0,1 a 0,6 metros e textura argilo siltosa.

Figura 71 - Perfil do solo de alteração do Tinguaito desenvolvido no Sistema 24.

Sistema 25

O Sistema 25 ocupa uma área de 339,8 Km², ocorrendo basicamente em um dos pontos mais altos da região, a Serra da Pedra Branca (Figura 72).

É constituído por morros cuja amplitude máxima é de 500 metros, o topo é levemente arredondado, as encostas são convexas associadas a um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular e canais de 4ª e 5ª ordens. As declividades variam entre 2% e valores superiores a 30% com o predomínio das classes 20 a 30% e 30 a 45%.

Figura 72- Serra da Pedra Branca, feição representativa do Sistema 25. Ao pé da serra observa-se a cidade de Caldas (MG).

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é classificado como residual de gnaiss sienítico, que é a rocha constituinte da Serra da Pedra Branca. Apresenta coloração acinzentada com níveis rosados e espessuras que variam de 2,0 a 8,0 metros em perfis observados nas encostas. Texturalmente, este solo é classificado como argilo arenoso. Uma característica comum deste solo de alteração é a presença de resquícios de veios de quartzo espessos, que se encontram localmente preservados. A alteração destes veios atribui ao material um caráter arenoso.

Sistema 26

Este sistema ocupa uma área de 647 Km². É formado por um conjunto de morros com amplitude máxima de 150 metros, topo angular, encosta convexa a retilínea associada a um sistema de drenagem com alta densidade, padrão dendrítico e canais de 4ª e 5ª ordens. As declividades variam entre 5 e 30% com o predomínio das classes 10 a 20% e 20 a 30% (Figura 73).

Figura 73 - Vista em segundo plano das feições de relevo representativas do Sistema 26.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é decorrente da alteração dos migmatitos e granulitos pertencentes ao Complexo Varginha. Caracterizam-se por apresentar coloração rosa, espessuras que variam de 0,5 a valores superiores a 3,0 metros. Em ensaios de caracterização do solo realizados por Amorim (2003) para a região, este solo apresenta predomínio da fração argilosa (> 50%), sendo que a fração arenosa apresenta valores superiores a 25 % enquanto a fração siltosa apresenta valores sempre próximos a 25%. Tais resultados conferem a este solo uma textura argilo-

arenosa. Frequentemente, são observados nos perfis deste tipo de solo, veios de quartzo preservados (Figura 74).

Quando associado aos granulitos, observa-se a presença de um solo transportado de espessura aproximadamente de 0,5 a 0,8 metros e textura argilosa.

Figura 74 - Solo desenvolvido no Sistema 26. Notar os veios de quartzo em estado de alteração e a linha de seixo logo acima do veio.

Sistema 27

Ocupa uma área total de 727,6 Km² e é constituído por morrotes com amplitude máxima de 90 metros, topos arredondados, encostas convexas associadas a um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico e canais de 4^a e 5^a ordens. As declividades variam de 2% a 30%, ocorrendo o predomínio das classes 5 a 10% e 10 a 20%. (Figura 75).

O material inconsolidado possui uma grande variabilidade, ocorrendo associado aos diversos tipos litológicos pertencentes ao Complexo Varginha existente neste sistema. Apresenta coloração rosa, espessura que varia de 0,5 a 3,0 metros aproximadamente e textura argilosa. Em alguns locais esta textura assume um caráter argilo arenoso. Nos perfis de alteração deste tipo de solo, observou-se a presença de uma linha de seixo pouco espessa que evidencia a presença de um material de origem

transportada. Este solo apresenta coloração ocre, textura areno-argilosa e espessura variando de 0,80 a 1,0 metro (Figura 76)

Figura 75 - Feição representativa do Sistema 27

Figura 76 - Solo desenvolvido no Sistema 27. Notar a presença de linha de seixos.

Em alguns pontos, quando associados à ocorrência de granitos, o material assume uma textura extremamente arenosa, com coloração esbranquiçada e perfis espessos de aproximadamente 10,0 metros, tal material apresenta-se bastante susceptível à instalação de processos erosivos (Figura 77)

Figura 77 - Voçoroca desenvolvida nos materiais de textura arenosa, pertencentes ao Sistema 27.

Sistema 28

Este sistema ocupa uma área de 24,6 Km² e ocorre associado as rochas cristalinas. Desenvolveu-se às margens do Rio Pardo e de seus principais afluentes, como por exemplo, o Rio Capivari e caracteriza-se por planícies fluviais rasas e abertas (Figura 78), com declividades que variam de 0 a 2%.

Figura 78- Planície de inundação representativa do Sistema 28, desenvolvida sobre os terrenos cristalinos (Amorim, 2003).

O solo desenvolvido neste sistema é classificado como solo hidromórfico, com textura argilo siltosa e rico em matéria orgânica.

Sistema 29

Ocupa uma área de 220,3 Km² e é constituído por um conjunto de colinas arredondadas com amplitude máxima de 60 metros, topo arredondado, encostas convexas associada a um sistema de drenagem de alta densidade, padrão dendrítico e canais de 4ª e 5ª ordens (Figura 79). As declividades variam entre 2 e 20% ocorrendo o predomínio das classes 5 a 10%.

Figura 79 - Feições representativas do Sistema 29. Notar o desenvolvimento de ravinas nas encostas da colina.

O material inconsolidado é classificado como residual dos granitos e migmatitos pertencentes ao Complexo Varginha. Apresenta coloração rosa gradando para cinza e espessura variando de 2,0 a 5,0 metros. Texturalmente é classificado como solo argilo arenoso. Frequentemente são observados cristais reliquiares de quartzo equigranular.

Associados ao solo residual dos migmatitos, observam-se corpos de quartzito de dimensões métricas, onde se desenvolveu um solo de coloração amarelada, textura essencialmente arenosa e espessura de aproximadamente 30 metros. Nestes corpos foram cadastradas feições erosivas de grande porte (Figura 80).

Figura 80- Voçoroca desenvolvida no material de alteração dos quartzitos do Sistema 29

Sistema 30

Ocupa uma área de 389 Km² e é constituído por morros com amplitude máxima de 240 metros, topo anguloso, encostas convexas a retilíneas associadas a um sistema de drenagem de alta densidade e padrão do tipo dendrítico e canais de 4^a e 5^a ordens. Os vales são profundos. As declividades variam de 5% a valores superiores a 30%, com o predomínio das classes de 10 a 20%.

O material inconsolidado desenvolvido neste sistema é definido como residual dos granitos e migmatitos, apresenta coloração rosa, espessura de variando de 4,0 a 6,0 metros e textura argilo arenosa. Localmente observam-se dispersos no material, cristais de quartzo e feldspatos em processo de alteração (Figura 81)

Figura 81 - Solo residual existente no Sistema 30.

Sistema 31

Este sistema é formado por uma associação de morros, constituindo uma das porções mais elevadas da área em estudo, como Serra de São Domingos, na cidade de Poços de Caldas e pela Serra do Selado e Serrote da Ditinha, ocupando no total uma área de 114,5 Km².

Caracteriza-se por apresentar encostas retilíneas a convexas, amplitude máxima de 400 metros, padrão de drenagem paralelo com alta densidade de canais e declividades predominante da classe de 30 a 45%.

O substrato rochoso é formado pelos migmatitos bandados do Complexo Varginha além de fonolitos e nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Quando associado aos migmatitos do Complexo Varginha, o material inconsolidado apresenta origem coluvionar com textura argilo-siltosa e espessuras que variam de 0,5 a 8,0 metros. Em locais onde predominam as rochas alcalinas, o material inconsolidado é classificado como saprolito, com espessura variando de 0,5 a 5,0 metros. Neste material é comum a presença de matações ou afloramentos de rocha. Por vezes,

observa-se também, um material de origem coluvionar com textura argilo siltosa e espessuras que variam de 0,1 a 0,6 metros cobrindo os perfis deste material.

Sistema 32

Este sistema ocupa uma área de 284,6 Km², é representado pelas planícies fluviais de maior porte da Bacia do Rio Pardo, ocorrendo associado às rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Desenvolveu-se às margens do Rio Pardo e de seus principais afluentes, como por exemplo, os Rios Tambaú e Tamanduá e caracteriza-se por áreas amplas, com canais largos, rasos e com fundos planos. Apresenta declividade inferior a 2% e, conseqüentemente são áreas que estão sujeitas a inundações periódicas (Figura 82).

Figura 82 – Vista geral do sistema do Sistema 32

O material inconsolidado desenvolvido nestas planícies é originado basicamente dos arenitos da Formação Pirambóia, apresentando, portanto, textura arenosa, com granulometria fina a média. Porém, observa-se uma grande contribuição de matéria orgânica, material típico destas áreas, que ocorre intercalada às lentes de areia. Na base é comum se encontrar níveis de cascalhos. A cor varia de esbranquiçada a acinzentada.

5.1.7 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo

O Mapa de Uso e Ocupação (ANEXO VII) representa a distribuição no espaço das atividades ou processos antrópicos desenvolvidas em uma determinada área em uma determinada época. Através deste mapa, é possível fiscalizar, medir e planejar se o desenvolvimento destas atividades está se refletindo no meio ambiente e auxiliar na análise das conseqüências que esta ocupação traz para a bacia como um todo.

Este mapa foi obtido por meio da interpretação de imagens de satélite e de fotografias aéreas, atentando-se para o fato de que ambas devam ser recentes, para refletir o estado atual da área. Para o trabalho em questão a imagem de satélite utilizada foi a Landsat - TM 5 (96 x 96 Km), datada do mês junho de 2000. Foram adquiridas duas cenas onde se encontra inserida toda a área pertencente à Bacia do Rio Pardo (Tabela 30) e estas cenas foram tratadas separadamente.

Tabela 30 - Imagens de satélite Landsat - TM utilizadas para gerar o mapa de uso e ocupação.

Código do produto	Base	Ponto	Data da passagem	Bandas
220/74	219	76	16/06/2000	4,5 e 3
220/75	220	76	16/06/2000	4,5 e 3

O programa escolhido para o processamento das imagens de satélite e obtenção do mapa de uso e ocupação foi o *software ENVI*® 3.2 e as imagens de satélite foram tratadas separadamente e no final do processo foram unidas, dando origem a um mosaico. De acordo com Collares (2000), o processo de construção do mosaico deve ser efetuado apenas após serem concluídas todas as etapas do processamento digital de imagens separadamente para cada cena. Caso contrário, se a criação do mosaico for feita após a etapa de georreferenciamento, poderá ocorrer uma alteração dos valores espectrais dos *pixels* e com isso ocorrer também uma interferência no processo de classificação.

O fluxograma apresentado na Figura 83 apresenta a seqüência das etapas que foram adotadas no processamento das imagens de satélite. Os procedimentos para a elaboração do mapa de uso e ocupação seguiram as etapas descritas a seguir.

a) Georreferenciamento

O georreferenciamento ou diferença de correção geométrica é o primeiro de uma série de procedimentos que devem ser observados quando se inicia um trabalho de processamento de imagens. Consiste em enquadrar cada cena analisada dentro das coordenadas em que se encontra a área em estudo.

É feito através da obtenção de uma série de pontos de controle, que devem ser adquiridos de uma base confiável e preferencialmente em locais fixos que não estejam sujeitos a variações no decorrer dos anos, como, por exemplo, cruzamentos de estradas

ou ruas, evitando-se canais de drenagens ou curvas de rios. O georreferenciamento pode ser feito a partir de imagem para imagem e de imagem para mapa.

Figura 83 - Etapas adotadas no processamento das imagens de satélite.

A precisão dos pontos de controle pode ser obtida à medida que estes pontos são inseridos, com base nos valores de *RMS error* (Erro Médio Quadrático), que é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais.

Para a área em questão, o georreferenciamento das imagens foi feito através do ajuste de uma imagem ou de um arquivo vetorial a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência, no caso o Sistema UTM.

Posteriormente, através de um arquivo de pontos de controle da imagem, gerado pelo *ENVI*® 3.2, foi calculado o valor de RMS. Foram obtidos através das cartas topográficas do IBGE, 13 pontos de controle para a cena 1 e 15 pontos para a cena 2 e o RMS obtido foi de 0.89.

b) Realce

A escolha das bandas da imagem original a ser utilizada no processo de classificação deve ser feita de forma a permitir combinações coloridas para visualização no *display*.

As combinações coloridas são importantes para facilitar a definição das amostras de treinamento que serão utilizadas na classificação e no refinamento da imagem classificada. Para o trabalho em questão as combinadas foram as bandas 4-5-3,

devido ao fato de que, para esse tipo de satélite, são as mais indicadas quando a finalidade do trabalho é a análise do uso e ocupação de uma determinada área.

c) Classificação

A classificação é o processo de atribuir a cada *pixel* da imagem um valor que o identifique como pertencente a uma determinada classe. O ENVI® 3.2 disponibiliza ao usuário dois critérios de classificação. O primeiro chamado de classificação não supervisionada que é utilizado quando não se possui informações da área estudada, ou ainda quando se deseja obter uma classificação preliminar para auxiliar na busca de informações voltada para uma classificação posterior, do tipo supervisionada. Já a classificação supervisionada, e que foi utilizada no trabalho em questão, é executada através das informações a cerca dos tipos e localização do uso e ocupação da área, que foram obtidas nas etapas de campo realizadas. Estas informações puderam ser utilizadas na composição das amostras de treinamento. A etapa de classificação das imagens é subdividida em duas fases: a definição das amostras de treinamento e classificação propriamente dita da imagem.

- Definição das amostras de treinamento

Nesta fase foram escolhidas amostras correspondentes às diferentes classes de uso e ocupação que ocorrem na bacia, que foram definidas a partir de informações obtidas em trabalhos de campo, com a ajuda de fotografias aéreas (escala 1:60.000), mapas topográficos (escala 1:50.000) e do GPS. Posteriormente, estas amostras foram transferidas para a imagem de satélite georreferenciada.

Para isso, foram definidas regiões de interesse (ROI), que são regiões que correspondem a áreas que possuem as mesmas características, ou seja, sejam pertencentes à mesma classe de uso e ocupação. Estas regiões (Figura 84) foram selecionadas de maneira uniforme, tentando evitar a coincidência de cores entre as classes.

Para a classe cana de açúcar, inicialmente foram consideradas três amostras diferentes. Isto foi feito, devido aos diferentes estágios da plantação da cana de açúcar e da diferença de valores espectrais que cada estágio reflete. As áreas de cana foram consideradas como Cana I, área pronta para o corte; Cana 2, área plantada recentemente em fase de amadurecimento e Cana 3, área em preparação para plantio. Posteriormente, no processo de classificação estas classes foram agrupada, originando a classe cana de açúcar. As classes centros urbanos e águas não foram utilizadas no

processo de classificação, devido ao fato dos *pixels* apresentarem tonalidades que abrangem valores representativos de outras classes, o que poderia influenciar a precisão na classificação das demais classes. Posteriormente, elas foram demarcadas e inseridas na imagem classificada através do aplicativo *classedit*.

Figura 84 - Amostras de classes de uso e ocupação da bacia do Rio Pardo na composição de bandas 4-5-3.

- Classificação supervisionada

Nesta fase foram testados os seis tipos de algoritmos que o *ENVI*® 3.2 apresenta para a classificação da imagem: Método do paralelepípedo, Método da distância mínima, Método da máxima verossimilhança, Mapeador de ângulo espectral, Classificação por distância de Mahalanobis e Classificação por "Binary Encoding".

O método estatístico que apresentou um melhor resultado foi o de máxima verossimilhança, devido ao fato de o número de *pixels* bem classificados nos setores ocupados apresentarem uma proporção maior do que nos outros métodos e também devido ao fato deste método ser aplicado quando se tem um conhecimento prévio da área a ser classificada.

d) Refinamento

Após a classificação, a imagem de satélite apresentou uma série de ruídos (*pixels* mal classificados) no interior e nas bordas das classes. Com o objetivo de eliminar estes ruídos e limpar as classes, a imagem classificada foi submetida a um processo de refinamento.

Para o refinamento das imagens classificadas, optou-se pela aplicação dos filtros de convolução mediano; função de aglutinação de classes (*clump classes*); função de separação de classes (*sieve classes*) e refinamento manual no *classifiedit*.

O primeiro filtro utilizado para o refinamento da imagem foi o filtro de convolução mediano. Este filtro permite a remoção de ruídos nas imagens, através de uma máscara que é inserida por cima da imagem, onde o *pixel* central da máscara é substituído pelo valor médio dos seus vizinhos.

O segundo filtro utilizado foram as funções *clump* e *sieve*, que são utilizados, respectivamente, para aglutinar e separar *pixels* isolados envoltos ou próximos de um grupo de *pixels* de uma determinada classe.

O terceiro e último processo foi o *classifiedit*, que é um sistema de refinamento manual que permite a manipulação ponto a ponto na imagem, possibilitando a correção de áreas que foram interpretadas incorretamente nos processos de classificação e refinamento.

e) Construção do mosaico e delimitação da bacia

Por fim, após o tratamento separadamente de cada cena da imagem de satélite foi efetuada a junção das mesmas, dando origem assim, ao mosaico.

A delimitação da bacia foi feita através de pontos de controle, que foram obtidos a partir dos divisores de água nos mapas topográficos. Estes pontos foram posteriormente, transferidos para o mosaico, delineando a bacia hidrográfica estudada. Outra forma de se obter a delimitação da bacia é através do traçado de um polígono que define o perímetro da bacia. Este polígono deve ser obtido através de fotografias aéreas e aplicado como uma máscara sobre o mosaico.

Após a realização de todas as etapas, o arquivo do *ENVI*® 3.2 foi importado no formato BMP para o *software AutoCad Map 2000* e posteriormente editado.

5.1.7.1 – Classes de uso e ocupação definidas para a Bacia do Rio Pardo

Os tipos de uso e ocupação definidos para a área em questão foram:

Pastagem – corresponde às vegetações rasteiras e, subordinadamente, vegetação pouco densa e de médio porte. As pastagens representam uma grande porcentagem de área ocupada na bacia, principalmente no Estado de Minas Gerais, ocorrendo em alguns locais, intercalada com plantações.(Figura 85). Destina-se também a pecuária bovina extensiva.

Figura 85 - Área de pastagem intercalada com plantação de milho.

Culturas diversas: juntamente com a pastagem, é responsável por grande parte de ocupação do solo da bacia. Correspondem às regiões ocupada pelo cultivo de milho, feijão, arroz, hortaliças e frutas.

Cana de açúcar: ocorre principalmente na porção oeste da bacia, situada no Estado de São Paulo (Figura 86), sendo considerado o tipo de uso do solo com maior ocorrência na bacia..

Monocultura cafeeira: representa as áreas destinadas ao cultivo do café independentemente do seu estágio, sendo que a sua principal ocorrência se restringe ao Estado de Minas Gerais. Em alguns locais, observou-se que as plantações de café ocupam as encostas de morros e morrotes.

Figura 86– Área ocupada com a plantação de cana de açúcar no Estado de São Paulo (município de Cajurú)

Mata Nativa: é representada por áreas ocupadas por mata cerrada, ciliar e subordinadamente cerrado. A mata nativa encontra-se preservada principalmente nos topos dos morros (Figura 87). A mata ciliar apresenta-se bastante escassa, restrita aos canais de drenagem de primeira ordem. Ao longo do Rio Pardo, ela recobre faixas pequenas, contrariando o limite estipulado por lei, sendo que em alguns locais é quase inexistente (Figura 88). O cerrado ocorre em sua grande parte associado a áreas de pastagem.

Figura 87– Mata nativa, preservada nos topos dos morros. Observar à frente presença de área de pastagem e plantação de cana de açúcar

Figura 88– Pequena faixa de mata ciliar existente ao longo do Rio Pardo.

Reflorestamento: esta classe é constituída por florestas artificiais, homogêneas, representadas por plantações principalmente de eucalipto (Figura 89). Tem por finalidade o uso industrial ou pode ser encontrada em menor proporção em propriedades particulares.

Figura 89 – Reflorestamento de eucalipto presente na área. Observar à frente do reflorestamento, erosão que se instalou na área de pastagem.

Águas: esta classe é formada por todos os corpos d'águas (rios, represas e lagoas) presentes na área estudada. A rede de drenagem da bacia é muito extensa e em toda a área, existem três grandes represas, a da Usina Hidrelétrica de Caconde, a Usina Hidrelétrica Euclides da Cunha em São José do Rio Pardo e a de A. S. de Oliveira em Mococa, além de mais cinco pequenas represas que abastecem usinas hidrelétricas de pequeno porte.

Centros Urbanos – esta classe representa as zonas urbanas, residencial e comercial e, subordinadamente, a zona industrial das cidades presentes na bacia. Caracteriza-se pela concentração de edificações, ruas pavimentadas e presença pouco pronunciada de áreas vegetadas.

5.1.8 – Carta de Compartimentação da Bacia do Rio Pardo - Ottobacias

A carta de compartimentação da Bacia do Rio Pardo, foi obtida por meio do método Ottobacias. A compartimentação da bacia é feita em função da área drenada pelos principais afluentes do rio principal e a codificação, utilizando-se uma pequena quantidade de dígitos que cria um código específico para cada área compartimentada (Pfafestetter, 1989). Esta característica permite que seja facilmente manipulada em sistemas de informações geográficas.

Este método consiste na compartimentação e codificação de bacias hidrográficas, onde através do estudo do sistema de drenagem, é feita uma distinção entre o rio principal e os seus principais afluentes. O rio principal é aquele curso d'água que drena a maior área e os tributários, os demais que drenam áreas menores. A partir daí, são individualizados os quatro maiores tributários, de acordo com o critério da área drenada, que são classificados como Bacias e recebem os algarismos pares 2, 4, 6, e 8, na ordem em que são encontradas de jusante para montante, ao longo do rio principal. Em seguida, os demais afluentes do rio principal são agrupados nas áreas restantes e são classificados como Regiões Hidrográficas ou Interbacias, e recebem, também na ordem em que são encontradas de jusante para montante ao longo do rio principal, os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9. A análise é realizada sempre da foz para montante identificando todas as confluências e distinguindo o rio principal de seus tributários Pfafstetter (1987).

Finalizada, esta compartimentação, estas unidades podem ser submetidas a uma nova compartimentação e este processo pode ser repetido até o nível de detalhamento que a carta base permitir. Para tanto se deve assumir como foz o ponto de descarga da bacia a ser dividida. As novas subdivisões são identificadas pelo primeiro código, acrescido de um novo número de 1 a 9, atribuído conforme a nova unidade seja classificada em “Bacia” ou “Interbacia” (Silva, 2001).

É importante observar que neste processo de compartimentação as “Bacias” constituem as áreas drenadas pelos quatro principais afluentes e as “Interbacias” constituem áreas drenadas pelo rio principal.

Segundo Pfafstetter (1987) os códigos atribuídos a cada área originada, dão informações referentes à conectividade da rede hidrográfica. Assim, conhecendo-se o código de uma determinada “Bacia” ou “Interbacia”, pode-se inferir a localização das demais áreas divididas.

5.1.8.1 - Aplicação na Bacia do Rio Pardo.

Para aplicação deste método na Bacia do Rio Pardo, foram utilizadas como base de informações o mapa topográfico e o mapa de rede de drenagens. A compartimentação da área foi realizada em duas etapas, sendo que a primeira etapa baseou-se em uma compartimentação inicial e abrangeu a bacia do Rio Pardo como um todo.

Inicialmente, foi feito um trabalho de individualização dos principais afluentes do Rio Pardo (Figura 90-a) e suas respectivas bacias hidrográficas, sendo definidos 15 afluentes (Tabela 31).

A seguir foram escolhidas, dentre as 15 bacias definidas, as que apresentaram as quatro maiores áreas, sendo elas as bacias formadas pelos rios Canoas (1173,3 km²), Araraquara (566,6 km²), Verde (527,8 km²) e Tamanduá (529,4 km²). Para cada uma destas áreas foi dado o nome de “Bacia” e atribuído os algarismos pares 2, 4, 6 e 8 (Figura 90-b).

Tabela 31 - Principais afluentes da Bacia do Rio Pardo e as respectivas áreas em Km² de suas bacias hidrográficas.

Identificação	Nome dos afluentes	Área das bacias(km ²)
1	Ribeirão Santa Bárbara ou Soledad	353,9
2	Ribeirão Preto	335,9
3	Ribeirão da Prata ou do Adão	461,2
4	Ribeirão Tamanduá ou da Figueira	529,5
5	Rio Araraquara	566,6
6	Rio Cubatão	328,5
7	Rio Quebra Cuia	201,8
8	Rio Canoas	1173,4
9	Rio Tambaú	371,9
10	Rio Verde	527,8
11	Rio Fartura	213,7
12	Rio do Peixe	338,0
13	Rio Guaxupé	170,2
14	Rio Verde	341,3
15	Rio Capivari	170,3

Os afluentes restantes foram agrupados em cinco regiões hidrográficas, dando origem as “Interbacias”. Para cada “Interbacia” foi atribuído, na sequência de jusante para montante a partir da foz, os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9 (Figura 90-c).

Como resultado, obteve-se a compartimentação inicial da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (Figura 90-d), sendo que para cada região obtida foi calculada a área em Km² conforme apresentado na Tabela 32.

Figura 90 – Etapas da metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas “Ottobacias”

Verificou-se que a divisão em Ottobacias obtida nesta primeira etapa não conduziu a homogeneidade necessária quanto aos atributos analisados. Conseqüentemente, foram necessárias novas subdivisões das Bacias e Interbacias, seguindo sempre a metodologia já descrita.

Tabela 32 - Áreas calculadas para as bacias e interbacias definidas na compartimentação.

Unidades	Identificação	Área (Km²)
Interbacia	1	2138,2
Bacia	2	527,1
Interbacia	3	661,1
Bacia	4	561,1
Interbacia	5	1768,1
Bacia	6	1336,2
Interbacia	7	643,7
Bacia	8	526,9
Interbacia	9	4425,3
Total		12.587,7

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DAS OTTOBACIAS COMO BASE PARA COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO

6.1 – Critérios para subdivisão das Ottobacias

Concluída a primeira etapa da compartimentação da área relatada no item 5.1.8 do Capítulo 5, passou-se para uma fase de análise de quais áreas deveriam ser submetidas a uma nova compartimentação. Esta análise foi feita em função da porcentagem que determinado atributo do meio físico ocupa em área de cada Ottobacia (Bacia ou Interbacia). Os atributos analisados foram substrato rochoso, materiais inconsolidados, *landforms*, declividade e sistema de drenagem. O cruzamento das informações foi feito utilizando-se o SIG Arc View 3.1 e o resultado deste cruzamento foi apresentado em forma de tabelas para uma melhor visualização e análise.

O critério utilizado para definir quais unidades deveriam ser submetidas a uma nova compartimentação baseou-se em estabelecer uma condição de homogeneidade aceitável para os atributos e na Ottobacia analisada. Assim, considerou-se que uma Ottobacia apresenta homogeneidade aceitável, quando ao analisar um determinado atributo do meio físico, existe um percentual de ocorrência igual ou maior que 70% em área e para este atributo. Caso contrário, esta Ottobacia foi considerada heterogênea e submetida a uma nova compartimentação e assim, este procedimento foi repetido sucessivamente até que fosse atingida a condição de homogeneidade estabelecida, sempre respeitando a metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas adotada.

É importante ressaltar que quando uma determinada Ottobacia apresentou-se homogênea para um único atributo, ela foi submetida a novas compartimentações, até que se alcançasse um detalhamento que permitisse classificá-la como homogênea não somente em relação a um atributo, mas também para os demais envolvidos nesta análise.

Assim, à medida que as Ottobacias geradas no processo de compartimentação iam sendo analisadas em função da condição citada, eram definidas quais deveriam ou não ser submetidas a uma nova compartimentação. A Tabela 33 apresenta as Ottobacias que foram submetidas a um novo processo de compartimentação e o nível de compartimentação aplicado para que fosse atingida a condição de homogeneidade aceitável. O Nível 1 representa as Ottobacias que foram geradas em uma primeira compartimentação. O Nível 2 representa as Ottobacias que não satisfizeram a condição de homogeneidade estabelecida e que foram novamente submetidas a uma nova compartimentação e o Nível 3, representa as Ottobacias que não se apresentaram homogêneas no segundo nível de compartimentação e que foram novamente submetidas a outro processo de compartimentação..

A Carta de Compartimentação com as divisões de Ottobacias (Bacias e Interbacias) definidas encontram-se apresentadas no ANEXO VIII.

Tabela 33 – Níveis de compartimentação aplicados para que as Ottobacias atingissem o grau de homogeneidade aceitável.

Unidade Inicial	Nível de Compartimentação		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Bacia do Rio Pardo	Interbacia 1	1.4	-
		1.6	-
		1.8	-
		1.9	-
	Bacia 2	2.6	-
		2.7	-
		2.8	-
	Interbacia 3	3.2	3.2.2
			3.2.6
	Bacia 4	4.1	-
		4.4	-
	Interbacia 5	5.1	5.1.9
		5.5	-
		5.6	5.61
		5.8	-
		5.9	5.9.4
	Bacia 6	6.1	-
		6.2	6.2.2
			6.2.4
	Interbacia 7	7.4	7.4.1
	Bacia 8	-	-
	Interbacia 9	9.1	9.1.3
		9.2	-
		9.3	-
		9.4	-
		9.5	-
		9.6	-
		9.7	9.7.6
			9.7.8
		9.8	9.8.4
		9.9	-

6.2 – Definição das unidades de compartimentação

Para a definição das unidades de compartimentação, realizou-se um processo de agrupamento das Ottobacias para definir unidades que apresentaram semelhanças em termos do meio físico, gerando unidades de compartimentação que, quando tratadas individualmente, mostrem um comportamento homogêneo em relação aos atributos analisados.

Para o processo de agrupamento, foram levantados alguns aspectos, considerados importantes:

a) As Ottobacias agrupadas em uma determinada unidade de compartimentação deveriam apresentar um grau de homogeneidade satisfatório em relação aos atributos do meio físico analisados e também entre as demais Ottobacias que fizessem parte da unidade em questão;

b) As planícies aluviais, apesar de caracterizadas como *landforms* e terem sido submetidas a análise do meio físico junto com os demais *landforms*, foram individualizadas como uma unidade de compartimentação separadamente, uma vez que são áreas que apresentam características próprias em termos de solo, relevo, substrato rochoso, etc e ocorrem em áreas restritas;

c) No processo de agrupamento das Ottobacias, foram considerados como de maior relevância, os atributos litologia e *landforms*, já que os demais atributos (material inconsolidado, declividade e sistema de drenagem), estão diretamente relacionados ao tipo de substrato rochoso e à forma de relevo local. Secundariamente, foram analisadas características próprias de cada atributo, como por exemplo, amplitude de relevo, variação textural, etc.

O processo de agrupamento das Ottobacias foi feito de acordo com os passos descritos a seguir e as Ottobacias correspondentes a cada unidade de compartimentação encontram-se apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34-Unidades de compartimentação e suas Ottobacias correspondentes

Unidade de Compartimentação	Ottobacias correspondentes
1	1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.7; 1.4.7; 1.4.9; 1.6.1; 1.6.3; 1.9.1; 1.9.5;1.9.7
2	1.4.3; 1.4.5; 1.6.4; 1.6.5; 1.6.7; 1.8.6; 1.8.8; 1.8.9; 3.2.2.4; 3.2.2.6; 3.2.2.7
3	1.4.2; 1.6.2; 1.6.8; 1.6.9; 1.8.1
4	1.4.1; 1.4.4; 1.4.6; 1.4.8; 1.6.6; 1.8.2; 1.9.2; 2.8.5; 2.8.6; 3.2.2.8; 3.2.2.9
5	1.8.5; 1.8.7; 2.4; 2.7.2; 2.8.8
6	1.9.3; 1.9.4;
7	1.8.3; 2.8.7
8	1.8.4; 1.9.6; 2.2; 2.3; 2.6.2; 2.6.4; 2.6.6; 2.6.8; 2.6.9; 2.8.2; 3.4; 3.2.4; 3.2.9; 3.2.2.3; 3.2.6.6
9	5.6.5
10	5.1.9.3; 5.1.9.4
11	5.1.9.5; 5.1.9.8
12	5.1.9.2; 5.5.1
13	5.1.9.1; 5.1.9.7; 5.1.9.9
14	5.6.3; 3.6
15	4.4.6; 5.1.9.6; 6.2.4.6; 6.2.4.9; 7.4.2
16	5.5.3; 5.5.8; 5.8.4; 5.8.6
17	2.7.5; 2.7.9; 3.2.1; 3.2.3; 3.2.5; 3.2.7; 5.1.1; 5.1.3; 5.1.6; 5.1.7; 3.2.2.1; 3.2.6.1
18	2.6.3; 5.1.5; 5.1.8
19	1.9.9; 2.6.1; 2.6.5; 2.6.7; 2.8.4; 2.9; 3.2.8; 3.2.2.2; 5.1.2
20	3.2.2.5; 3.2.6.8; 3.2.6.9
21	1.9.8; 2.1; 2.7.3; 2.7.4; 2.7.6; 2.7.8; 2.7.7; 3.1; 3.5;3.2.6.4; 4.1.7; 4.5
22	4.4.9; 5.8.8; 5.8.9
23	5.6.7; 5.6.8; 5.6.9; 7.4.8
24	4.1.8; 4.1.9
25	4.2; 4.3; 4.1.1; 4.1.5; 4.1.6; 4.4.2; 4.4.4
26	4.1.3; 4.1.4; 5.6.4; 5.6.6
27	4.4.7; 4.8; 4.9
28	4.7; 5.4; 5.6.2; 7.4.6
29	4.4.8
30	2.7.1; 4.6; 4.1.2
31	3.7; 3.8
32	2.8.1; 5.2; 5.1.4
33	3.2.6.2; 3.2.6.5; 3.2.6.7
34	2.5; 2.8.3; 2.8.9
35	5.5.7
36	5.5.9; 5.6.1.3; 5.6.1.5
37	5.6.1.9

Tabela 34 (continuação)-Unidades de compartimentação e suas Ottobacias correspondentes

Unidade de Compartimentação	Ottobacias correspondentes
38	5.6.1.1
39	5.5.5; 7.4.7
40	5.5.6; 5.6.1.6; 5.6.1.7
41	5.8.2; 5.9.1; 5.9.2; 5.9.3; 5.9.6; 5.9.7; 5.9.9; 6.1.6; 6.1.7; 6.1.8; 6.1.9; 6.2.1; 6.2.2.1; 6.2.2.2; 6.2.2.3; 6.2.2.4; 6.2.2.5; 6.2.2.7; 6.2.3; 6.2.4.3; 6.2.4.5; 6.2.4.7; 6.2.4.8;
42	6.1.5
43	5.6.1.2; 5.6.1.4; 5.8.3; 5.8.5; 5.9.5; 5.9.4.1; 5.9.4.2; 5.9.4.7; 5.9.4.8; 6.2.2.4; 6.2.4.1
44	5.7; 7.2
45	6.1.1; 6.1.3
46	5.6.1.8; 5.8.7; 5.9.4.6; 5.9.4.9; 6.2.8; 6.2.2.6; 6.2.2.8; 6.2.2.9; 6.2.4.4
47	5.9.4.4; 5.9.4.5
48	7.7; 7.9; 5.9.8; 5.9.4.3; 7.4.1.2; 7.4.1.5; 7.4.1.7; 7.4.1.9; 8.1
49	7.4.1.8
50	7.1; 7.3; 7.4.4; 7.4.1.3; 7.4.1.4; 7.4.1.6; 7.5; 8.2
51	7.4.3; 7.4.5
52	8.6; 8.7
53	7.4.1.1; 7.8
54	6.3; 9.1.2; 9.1.6
55	6.5; 6.6; 9.1.5; 9.8.4.6; 9.8.4.7; 9.8.4.8; 9.8.4.9
56	6.1.9; 9.1.1; 9.7.9
57	8.4; 9.9.9
58	9.9.1; 9.9.7; 9.9.8; 9.9.6
59	6.1.2; 9.1.3.7; 9.1.3.8; 9.1.3.9
60	9.9.3; 9.9.5
61	6.1.4; 7.6
62	9.1.9; 9.7.6.8
63	6.7; 9.3.1; 9.7.8.1;
64	6.2.5; 9.7.8.3
65	6.9; 9.2.7
66	9.7.6.7; 9.7.6.9
67	9.1.7; 9.7.7; 9.7.6.1
68	9.7.5; 9.7.6.5
69	6.2.6; 6.8
70	9.2.1; 9.2.2; 9.2.4
71	6.2.7
72	6.4; 9.4.6; 9.5.4
73	9.1.3.1; 9.1.3.4; 9.1.3.5; 9.2.3; 9.2.5; 9.5.5
74	9.3.2; 9.3.9; 9.4.1; 9.4.2; 9.5.2; 9.5.3; 9.5.7; 9.5.9; 9.6.1; 9.7.2; 9.7.3; 9.7.6.3; 9.7.8.6; 9.7.8.7; 9.7.8.8; 9.7.8.9; 9.8.2
75	9.3.4; 9.3.8; 9.5.1
76	8.5; 8.8; 8.9
77	9.1.3.2; 9.1.3.3; 9.1.3.6
78	9.3.6; 9.4.3; 9.4.4; 9.4.5; 9.4.7; 9.4.9; 9.7.1; 9.8.1
79	9.2.6; 9.2.8; 9.2.9

Tabela 34 (continuação)-Unidades de compartimentação e suas Ottobacias correspondentes

Unidade de Compartimentação	Ottobacias correspondentes
80	9.7.6.4; 9.7.8.2; 9.7.8.4; 9.7.8.5
81	9.8.3; 9.8.4.2; 9.8.4.5; 9.8.5; 9.8.8; 9.8.9;
82	9.8.4.1; 9.8.4.3; 9.8.6
83	9.8.7
84	9.4.8; 9.7.4; 9.9.2; 9.9.4
85	9.8.4.4
86	9.6.4; 9.6.5; 9.6.6; 9.6.7
87	9.6.8
88	9.6.9; 9.7.6.2; 9.7.6.5; 9.7.6.6
89	9.6.3

1) As Ottobacias foram reclassificadas, independentemente do nível de compartimentação aplicado. Partindo do princípio de que seriam individualizadas unidades que apresentassem similaridades, foram estabelecidos critérios visando contemplar esta reclassificação e que permitiram promover o agrupamento das Ottobacias independente delas estarem situadas em bacias hidrográficas diferentes. As Ottobacias foram agrupadas em unidades de compartimentação distintas segundo as seguintes condições:

- apresentassem 100% de ocorrência tanto para o atributo litologia como para o atributo *landform*;
- apresentassem 100% de ocorrência para o atributo litologia e acima de 70% de ocorrência para o atributo *landform*;
- apresentassem acima de 70% de ocorrência para o atributo litologia e acima de 100% de ocorrência para o atributo *landform*;
- apresentassem acima de 70% de ocorrência para o atributo litologia e acima de 70% de ocorrência para o atributo *landform*.

2) Após a individualização, as Ottobacias que obedeceram a um dos quatro critérios, foram agrupadas em uma única unidade, formando a Carta de Unidades de Compartimentação do Meio Físico (ANEXO IX);

Definidas as unidades de compartimentação, passou-se para a etapa de cruzamento com os atributos relacionados ao uso e ocupação existente na área. Neste cruzamento, foram realizadas interações temáticas, buscando assim, conduzir a identificação de unidades que se mostrassem diferenciadas não somente no aspecto relacionado ao meio físico, como também nos aspectos ambientais.

Foram utilizadas informações obtidas a partir do Mapa de Uso e Ocupação gerado para a Bacia do Rio Pardo; informações ambientais compiladas tais como, cadastros de pontos de lançamento de efluentes domésticos, industriais e originadas da prática da aquicultura; locais de despejo de resíduos sólidos, cadastros de pontos de irrigação com águas superficiais; áreas de mineração; pontos de utilização de águas subterrâneas através da instalação de poços tubulares; áreas de proteção ambiental e de interesse turístico; áreas susceptíveis ao desenvolvimento de problemas geoambientais (erosão, assoreamento e inundação) e áreas de recarga do Aquífero Guarani. As tabelas com os índices de ocorrência destas variáveis para cada unidade de compartimentação encontram-se apresentadas nas Tabelas 35, 36, 37, 38 e 39.

Este cruzamento permitiu caracterizar a área em função da situação atual em que se encontra a Bacia do Rio Pardo, sob o aspecto geoambiental, buscando sempre evidenciar a relação causa e efeito que os componentes do meio físico apresentam frente a uma série de solicitações de uso e ocupação.

É importante salientar que através de todo este processo de compartimentação, correlações, análises e agrupamentos, foi possível estabelecer unidades onde, além dos aspectos referentes ao meio físico, foram considerados também aspectos como águas subterrâneas, dados sócios econômicos, ambientais, solicitações de uso e ocupação, etc e que possuem características que extrapolam os limites de uma bacia hidrográfica. Assim, este método, propicia a definição de unidades com limites territoriais que não necessariamente coincidam com as divisões hidrográficas.

Tabela 35 – Relação entre os problemas geoambientais existentes na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Erosão	Inundação	Assoreamento	Impacto na área de recarga do Aqüífero Guarani
1	1016,1	4			*
2	354,1				
3	262		*		
4	338,1	3	5	*	
5	76,1		1		* (1-PT)
6	88		*		* (1-PT)
7	124,1				*
8	441,5		3	*	* (3-PT)
9	0,86				
10	21,7				*
11	8,1				
12	62,2				*
13	12,1				*
14	30,6				* (1-PT)
15	98,1				*
16	78,3				
17	243,4				*
18	141,8		*	*	* (1-PT)
19	248,7			*	* (2-PT)
20	4				*
21	180				* (1-PT)
22	18				
23	95,9	1			*
24	6,5				*
25	124,9				*
26	64				*
27	139,7	4			*
28	315,3	5		*	* (1-PT)
29	3,7				
30	139,5	1	1	*	*
31	71				* (1-PT)
32	427,8	7	1	*	*
33	37				*
34	23,5				* (3-PT)
35	3,0				
36	11,2				
37	2,3				
38	8,9				
39	38,6			*	
40	53,1				*
41	264,5	1			
42	4,2				
43	129				
44	24,2	1			
45	29,4				

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Erosão	Inundação	Assoreamento	Impacto na área de recarga do Aqüífero Guarani
46	211,6				
47	73,1	4			
48	35,9				
49	2,7	2			
50	175,7	8			
51	81,6	2			
52	133,3				
53	119,9	8		*	
54	155,3		1		
55	100,3				
56	50,8	1			
57	182,8				
58	168,4	1			
59	75		*	*	
60	71,9	1			
61	95,5	3			
62	35,8				
63	117,5				
64	64,2				
65	112,9				
66	60,2				
67	144,4				
68	79,2				
69	350,3				
70	6,1			*	
71	302,5				
72	37,1				
73	93,7	1		*	
74	484,1				
75	35,6				
76	504,4		2	*	
77	23,9		4	*	
78	851,5				
79	221,5				
80	89,2				
81	250,7	5			
82	31,2	1		*	
83	23,2				
84	118,3				
85	11,4				
86	170	1			
87	36,9		2	*	
88	262,2	2		*	
89	150,2				
90	320,9				

Obs. Valores expressos em quantidade de pontos identificados
(2-PT) quantidade de poços tubulares identificados

* ocorrência confirmada, porém sem informação quantitativa

Tabela 36 - Relação entre as possíveis fontes de poluição que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Despejo de Efluentes			Resíduos Sólidos		
		Industrial	Doméstico	Aquicultura	LX	AC	AS
1	1016,1	2					
2	354,1	1	1		1		1
3	262		1				
4	338,1	3	5		1	1	1
5	76,1	1					
6	88		2				
7	124,1						
8	441,5	1	5		1		
9	0,86						
10	21,7						
11	8,1						
12	62,2						
13	12,1						
14	30,6						
15	98,1						
16	78,3						
17	243,4						
18	141,8		1				
19	248,7		1		1		
20	4						
21	180						
22	18						
23	95,9		1		1		
24	6,5						
25	124,9	1					
26	64						
27	139,7						
28	315,3		3				
29	3,7						
30	139,5		1				1
31	71						
32	427,8		2		1		
33	37						
34	23,5		2		2		
35	3,0						
36	11,2						
37	2,3						
38	8,9						
39	38,6		3				
40	53,1		1		1		
41	264,5						
42	4,2						
43	129						
44	24,2						
45	29,4						

Obs. Valores referentes a números de pontos de lançamento de efluentes cadastrados.

LX - Lixão AC-Aterro controlado AS- Aterro Sanitário

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Despejo de Efluentes			Resíduos Sólidos		
		Industrial	Doméstico	Aquicultura	LX	AC	AS
46	211,6	2					
47	73,1						
48	35,9						
49	2,7						
50	175,7		1				
51	81,6						
52	133,3						
53	119,9		1		1		
54	155,3						
55	100,3	1	2				1
56	50,8						
57	182,8						
58	168,4		1				
59	75	2	1				
60	71,9						
61	95,5	1	2				1
62	35,8		2				
63	117,5						
64	64,2	1					
65	112,9						
65	60,2						
67	144,4						
68	79,2						
69	350,3						
70	6,1						
71	302,5						
72	37,1						
73	93,7	1	3				
74	484,1						
75	35,6						
76	504,4	1	9		1	1	
77	23,9		4		1		
78	851,5						
79	221,5		2				
80	89,2	1	1				
81	250,7					1	
82	31,2						
83	23,2						
84	118,3						
85	11,4						
86	170				1		
87	36,9						
88	262,2						
89	150,2		1				
90	320,9						

Tabela 37 - Relação entre a exploração de água e mineral que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Irrigação	Mineração		Poços Tubulares
			Água Mineral	Jazidas e Pedreiras	
1	1016,1				2
2	354,1				5
3	262				3
4	338,1			1	10
5	76,1			1	3
6	88				6
7	124,1				15
8	441,5			1	10
9	0,86				
10	21,7				
11	8,1				
12	62,2				
13	12,1				
14	30,6				1
15	98,1				
16	78,3				
17	243,4		1		1
18	141,8				
19	248,7			1	3
20	4				
21	180			1	1
22	18				
23	95,9			1	
24	6,5				
25	124,9				
26	64				
27	139,7				
28	315,3			1	1
29	3,7				
30	139,5				
31	71				1
32	427,8				
33	37				
34	23,5				3
35	3,0				
36	11,2				
37	2,3				
38	8,9				
39	38,6				1
40	53,1			1	
41	264,5		1		5
42	4,2				
43	129				
44	24,2				1
45	29,4				1

Obs. Valores referentes a números de pontos cadastrados.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Irrigação	Mineração		Poços Tubulares
			Água Mineral	Jazidas e Pedreiras	
46	211,6				
47	73,1				1
48	35,9				
49	2,7				
50	175,7			1	
51	81,6				
52	133,3				3
53	119,9			1	4
54	155,3	2			1
55	100,3				
56	50,8				2
57	182,8				
58	168,4				
59	75	1	1		5
60	71,9				3
61	95,5				2
62	35,8			2	
63	117,5				
64	64,2			1	
65	112,9				
66	60,2				
67	144,4				
68	79,2				
69	350,3				
70	6,1				
71	302,5				
72	37,1				
73	93,7			2	3
74	484,1				
75	35,6				
76	504,4				
77	23,9	2		1	5
78	851,5				
79	221,5			1	
80	89,2				
81	250,7				
82	31,2				
83	23,2				
84	118,3				
85	11,4				
86	170			1	
87	36,9			1	
88	262,2			5	
89	150,2		2		
90	320,9				

Tabela 38 - Relação entre os tipos de uso e ocupação do solo que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Cultura	Cana	Mata	Café	Pastagem	Reflorestamento	Área Urbana	Água	Solo exposto
1	1016,1	2,1	89,4	1,1		7		0,5		
2	354,1		72,3	1,5		23,8		2,3		
3	262		85,1	1,6		13,3				
4	338,1		86,4	0,6		3,6		9,4		
5	76,1		80,5					19,5		
6	88		76,5	1,2				20,3	1,9	
7	124,1		42	0,9		13,8		41,9	1,3	
8	441,5	2,6	84,3	3,4		3,4		5,9	0,3	
9	0,86					100				
10	21,7			29,5		68,8			1,7	
11	8,1			3,7		93,5			2,8	
12	62,2	3,6		6,6		88,3			1,5	
13	12,1	6,7		9,6		77			6,7	
14	30,6		69,3			30,7				
15	98,1		2,6	13,5		75,7	8,2			
16	78,3			28		72				
17	243,4		75,3	17,4		4	1,7		1,5	
18	141,8		12,4	5,2		65,1	16,7		0,6	
19	248,7	9,2	65,7	11,7		8,7	2,3	2,4		
20	4	6,9				44,8	41,3	7		
21	180	29,8	32,2	5,7		29,3	1,2		1	0,8
22	18			11,7		88,3				
23	95,9	38,5		14,3		32,1	14,5	0,6		
24	6,5					11,7	88,3			
25	124,9	53,6		2,6		42,3				1,4
26	64			20,3		77,4	2,2			
27	139,7	31,2		18,8		48,9				1
28	315,3	11,2		8,4		69,9	9,3	1,2		
29	3,7	19		50,6		30,4				
30	139,5	65,6	2,9	8,6		17,5		5,3		
31	71	2,3	54,2	2,7		7,9	31,2		1,7	
32	427,8	28,8	5,3	14,8		51				
33	37	16,4	18,9	10,7		24,1	29,9			
34	23,5		41	5,9		41,8	4,4	6,7		
35	3,0					97,2			2,8	
36	11,2	41,7		18,7		33,8			5,7	
37	2,3			34,6		65,3				
38	8,9			10,4		89,6				
39	38,6	2,9		5,3		80,3		9,9	1,5	
40	53,1	9,5		5,1		85,5				
41	264,5			3,2		95,2	1,7			
42	4,2	66,7				33,3				
43	129	16,2		11,4		71,1			1,2	
44	24,2	15,8				83,4			0,8	
45	29,4	50,3		16,2		49,6				

Obs. Valores referentes a % ocorrida em cada Unidade de Compartimentação

Tabela 38(continuação) - Relação entre os tipos de uso e ocupação do solo que ocorrem na Bacia do Rio Pardo e as unidades de compartimentação.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Cultura	Cana	Mata	Café	Pastagem	Reflorestamento	Área Urbana	Água	Solo exposto
46	211,6	17,4		19,7		62,2				0,7
47	73,1			20		80				
48	35,9			7,9		81,9			6,4	3,8
49	2,7			3,6		96,4				
50	175,7	2,4		6,2		87,8	1,9		1,8	
51	81,6			7,2		92,8				
52	133,3			2,9		90,2	4,8	0,4	1,8	
53	119,9			1,1		91,8		6,8		
54	155,3	7,8		13,5		74,7			0,8	0,2
55	100,3	9,6		18,6		70,9		2,9	0,6	0,3
56	50,8	1,8		9,2		85,9	0,6		1,9	0,5
57	182,8	4,7		2,1		90,7	0,3	0,3	1,5	0,4
58	168,4	1,5	9,1	86,4		0,1	0,5			0,4
59	75	0,6		6,4		77,5		13,5	1,9	2,5
60	71,9			4			96			
61	95,5	6,2		5,2		84,9		3,8		
62	35,8	2,3		13	29,5	53,1			1,2	
63	117,5	3,8		17,3	30,1	46,4			1,3	0,9
64	64,2	0,7		9,8	39	47,2	0,3		1,8	1,1
65	112,9	0,5		4,3	28,1	64,1	0,2		1,6	1,2
66	60,2	0,6		5,3	28	63,1			1,6	1,4
67	144,4	1,2		7,2	35,3	52,9			1,6	1,8
68	79,2	2,9		13,5	4,5	72,5	1,2		2,8	2,8
69	350,3			4,5	10,9	83,5		1		
70	6,1			8,2	21	70,8				
71	302,5	4,6		19,5	12	61,9	0,4	0,8	0,8	
72	37,1			13,1	22,6	54,5		9,8		
73	93,7			8,2	7,6	75		1	7	1,2
74	484,1			6,3	5,4	81,1		0,8	5,3	1,1
75	35,6									
76	504,4	16,9		11,4	6,5	63,7		1,4	0,2	
77	23,9	0,6		5,4	5,6	84,8	0,4	0,5	1,8	0,9
78	851,5	0,8		4,3	7,9	84,1	0,3	0,8	1,1	0,7
79	221,5	0,6		5,2	8,9	83,4		0,5	0,8	0,6
80	89,2	0,9		10,2	2	86		0,6		0,3
81	250,7	2,7		15,6	3,8	76,5			0,2	1,2
82	31,2	5,3		18,9		75,8				
83	23,2	1,2		6,1	7,8	82,8	1,9			0,2
84	118,3	8,9		15,3		74	1,3		0,1	0,4
85	11,4	3,1		13,8		83,1				
86	170	5,4		18,8		61,3	2,9	2,1		2,5
87	36,9			6,3		90,7		1,5		1,8
88	262,2	3,4		21,3	6,2	66,2	2			1,9
89	150,2	4,9		25,7		67,5	2,9		3,4	2,5
90	320,9									

Obs. Valores referentes a % ocorrida em cada Unidade de Compartimentação

Tabela 39 - Relação entre áreas de proteção ambiental e de interesse turístico e as unidades de compartimentação.

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Unidades de Conservação	Interesse Turístico	Sítios Arqueológicos
1	1016,1			
2	354,1	1	1	
3	262		1	
4	338,1		3	
5	76,1			
6	88			1
7	124,1		1	
8	441,5	1		
9	0,86			
10	21,7			
11	8,1			
12	62,2			
13	12,1			
14	30,6			
15	98,1			1
16	78,3			
17	243,4			1
18	141,8			1
19	248,7			2
20	4			
21	180	1		4
22	18			
23	95,9			
24	6,5			
25	124,9		1	1
26	64			
27	139,7			
28	315,3			
29	3,7			
30	139,5	1	1	
31	71			
32	427,8	1	1	1
33	37			
34	23,5			
35	3,0			
36	11,2			
37	2,3			
38	8,9			
39	38,6			
40	53,1			
41	264,5			
42	4,2			
43	129			
44	24,2			
45	29,4			

Unidade de Compartimentação	Área (Km²)	Unidades de Conservação	Interesse Turístico	Sítios Arqueológicos
46	211,6			
47	73,1			
48	35,9			
49	2,7			
50	175,7			
51	81,6			
52	133,3			
53	119,9	1		
54	155,3			
55	100,3			
56	50,8			
57	182,8		1	
58	168,4			
59	75			
60	71,9			
61	95,5			
62	35,8			
63	117,5			
64	64,2			
65	112,9			
66	60,2			
67	144,4			
68	79,2			
69	350,3		1	
70	6,1			
71	302,5			
72	37,1			
73	93,7		2	
74	484,1			
75	35,6			
76	504,4			
77	23,9			
78	851,5			
79	221,5			
80	89,2		1	
81	250,7			
82	31,2			
83	23,2			
84	118,3			
85	11,4			
86	170			
87	36,9		1	
88	262,2			
89	150,2	1		
90	320,9			

Obs. Valores referentes a número de pontos cadastrados

6-3 – Caracterização das unidades de compartimentação do meio físico

A caracterização das unidades de compartimentação foi feita principalmente sob o aspecto ambiental, uma vez que a caracterização em relação ao meio físico foi apresentado no item 6.2.

Com o objetivo de sintetizar as informações, as unidades de compartimentação foram divididas em três grupos. O Grupo 1 formado por litologias pertencentes à Bacia do Paraná, o Grupo 2 formado por litologias pertencentes ao Embasamento Cristalino e Rochas Alcalinas do Maciço de Poços de Caldas e o Grupo 3 que representa as planícies fluviais desenvolvidas na Bacia do Rio Pardo. Para cada grupo, foram individualizados subgrupos em função das similaridades existentes nos aspectos litológicos, fisiográficos em termos de solicitação de uso e ocupação, buscando assim salientar as aptidões e restrições impostas por cada unidade.

Cada subgrupo contempla determinadas unidades de compartimentação conforme pode ser observado na Tabela 40.

Grupo 1: Litologias pertencentes a Bacia do Paraná

Subgrupo 1a1

Ocupa uma área de 21,7% da área total da bacia, sendo constituído predominantemente por rochas magmáticas extrusivas pertencentes à Formação Serra Geral. As formas de relevo predominantes são as colinas com baixa densidade de drenagem e secundariamente morros com topos amplos, sendo observada uma drenagem de média densidade. O material inconsolidado caracteriza-se por apresentar textura argilosa a muito argilosa, com um elevado grau de alteração. Quando associados às colinas apresentam um espesso manto de intemperismo e quando se desenvolveram sobre os morros ocorre uma redução significativa nesta espessura.

Esta unidade tem passado por um intenso processo de degradação do meio físico. Por ser considerada uma área em que as características do solo e do relevo favorecem a prática de agricultura, praticamente 77% da área é destinada a esta prática, principalmente a cultura de cana de açúcar. Esta atividade causou um intenso processo de desmatamento, até

mesmo em áreas de cabeceiras de drenagens, sendo que atualmente somente 1,2% da área apresenta vestígios de matas naturais, normalmente concentradas isoladamente em topos de morros. As matas ciliares são praticamente inexistentes, favorecendo que os agrotóxicos utilizados nas plantações de cana de açúcar e o solo erodido nestas áreas, migrem com facilidade para as águas superficiais que cortam as unidades deste subgrupo.

Tabela 40 - Subgrupos definidos para a descrição das unidades de compartimentação.

Subgrupo	Unidades de Compartimentação		
1a1	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8		
1a2	9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16		
1b1	17; 18; 19; 20; 21		
1b2	22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29		
1b3	30; 31; 32; 33; 34		
1c	35; 36; 37; 38; 39; 40		
1d1	41; 42; 43; 44; 45; 46		
1d2	47; 48; 49; 50; 51		
1e	52; 53		
2a	54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61		
2b	62; 63; 64; 65; 66; 67; 68		
2c	69; 70; 71; 72		
2d	73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81; 82; 83; 84; 85		
2e	86; 87; 88; 89		
3	90		
GRUPOS			
1 - Bacia do Paraná		2 - Embasamento Cristalino	3 - Planícies Fluviais
SUBGRUPOS			
a1 - Fm. Serra Geral (Basalto) a2 - Fm.Serra Geral (Intrusivas) b1 - Fm. Botucatu b2 - Fm. Pirambóia b3 - Fm. Botucatú e Fm.Pirambóia c - Fm. Corumbataí d1 - Fm. Aquidauana d2 - Fm. Itararé e - Fm. Piraçununga		a - Rochas Graníticas b - Rochas Gnáissicas c - Rochas Granulíticas d - Rochas Migmatíticas e - Rochas Alcalinas	

A remobilização da terra associada à utilização de maquinários pesados promove a alteração da configuração natural da rede de drenagem e a compactação do solo, fazendo com que este solo, que naturalmente é caracterizado como resistente a processos erosivos, torne-se predisposto a instalação de processos erosivos e conseqüentemente ocasione assoreamento dos rios locais.

Outro fator preocupante nesta unidade foi a identificação de cadastros de uma grande quantidade de poços tubulares. Esta prática, quando executada sem controle, pode causar o rebaixamento do lençol freático.

De acordo com os resultados de qualidade de água realizados para o ponto Pardo-2600, a qualidade da água nesta unidade para o mês de outubro de 2003 foi classificada como ruim e em dezembro de 2003 como aceitável (CETESB, 2004). Foram identificados cadastros de pontos de lançamentos de efluentes domésticos, industriais e provenientes da prática da agricultura, diretamente sobre o Rio Pardo ou em seus afluentes. Estas atividades, quando não controladas, comprometem a qualidade da água.

De acordo com o levantamento executado por Silva e Fornasari Filho (1992), foram identificadas nesta unidade, duas Áreas de Proteção Ambiental, a Mata de Santa Tereza e o Morro de São Bento, ambas localizadas na cidade de Ribeirão Preto.

Subgrupo 1a2

Ocupa uma área de 2,7% da área total da bacia, sendo constituído predominantemente por rochas magmáticas intrusivas pertencentes à Formação Serra Geral. As formas de relevo predominantes são morros com vertentes irregulares e localmente áreas de *cuestas*. As encostas em geral são íngremes com presença de afloramentos rochosos. O material inconsolidado é classificado como argiloso a argilo arenoso, e apresenta-se em perfis com espessuras inferiores a 5 metros.

Em relação ao meio ambiente, esta unidade, quando comparada com a descrita anteriormente, mostrou-se menos degradada, porém não isenta deste processo.

Quanto ao uso e ocupação, ocorre o predomínio da pastagem, com 68% da área ocupada, substituindo grande parte da vegetação natural existente na área. Secundariamente, 17% da área é destinada à prática da agricultura, sendo observadas até mesmo no reverso das *cuestas*. Como citado na unidade anterior, esta prática provoca a compactação e impermeabilização do solo, diminuindo a infiltração da água no subsolo e aumentando o escoamento superficial, podendo ocasionar erosões, escorregamentos e rolamentos de blocos.

Em toda unidade apenas 12% da área é ocupada por matas, que se restringem às encostas dos morros e *cuestas*. Entretanto, estas áreas também estão passando por processos

de desmatamento, o que pode implicar em sérias consequências, pois estas são áreas em que devido a baixa espessura de material inconsolidado, é comum o afloramento do lençol freático nas encostas, ocasionando o surgimento de nascentes. O desmatamento destas áreas tende a provocar o secamento das nascentes.

Na base das encostas podem-se observar depósitos coluvionares, com grande heterogeneidade de material e textura diversificada.

Subgrupo 1b1

Ocupa uma área de 6,6% da área total da bacia, sendo constituído pelo predomínio de litologias de natureza sedimentar arenosa pertencente à Formação Botucatu. As formas de relevo predominantes são as colinas com topos amplos, densidade de drenagem de baixa a média densidade e com baixa amplitude. O material inconsolidado caracteriza-se por apresentar texturas arenosas, cujos perfis de alteração encontram-se com um elevado grau de alteração dispostos em perfis com espessuras que variam entre 3 e 7 metros.

Foi identificada neste subgrupo, uma unidade (unidade 20) que se diferencia das demais por apresentar-se topograficamente, constituída por morros com topos tabulares e amplos, porém, encostas com baixa declividade e médio padrão de drenagem. O manto de intemperismo é menos espesso e conseqüentemente o substrato rochoso pode ocorrer próximo à superfície.

Quanto aos aspectos ambientais, umas das principais características desta unidade é o fato do solo arenoso, apresentar uma alta permeabilidade, que quando associado ao escoamento superficial lento, devido à baixa densidade de drenagem, favorece a percolação da água da chuva, conduzindo-a até o Aquífero Guarani. Sendo assim, esta área é considerada uma importante área de recarga para este aquífero. Porém, estas características, atribuem a este solo uma baixa capacidade de retenção de poluente, podendo favorecer a contaminação dos aquíferos.

Apesar da baixa fertilidade do solo e da pouca capacidade de reter água, esta área tem sido amplamente utilizada para a prática da cultura de cana de açúcar. Atualmente, cerca de 37,1% da área é destinada a esta prática. Paralelamente a esta atividade encontra-se a pastagem, com aproximadamente, 30,3% da área. Estas atividades causaram um intenso processo de desmatamento, principalmente nas matas ciliares. Observou-se nesta

unidade que o cultivo da cana de açúcar muitas vezes tem atingido até mesmo os fundos dos vales, causando o assoreamento dos canais de drenagem.

A eliminação da vegetação natural associada aos processos utilizados na agricultura e ao desgaste do solo na prática da pastagem faz com que o solo desta unidade fique exposto às intempéries, tornando-se altamente erodido.

Devido ao fato da área ser classificada como área de afloramento e de recarga do Aquífero Guarani, constatou-se uma grande quantidade de poços tubulares instalados, o que pode causar o rebaixamento do lençol freático.

Foram identificados também cadastros de pontos de lançamentos de efluentes domésticos e originados da prática da aquicultura, diretamente sobre um dos principais afluentes do rio Pardo, como também áreas destinadas a instalação de depósitos de resíduos sólidos fora dos padrões ambientais. Estas atividades, quando não controladas, comprometem a qualidade da água tanto superficial como subsuperficial.

De acordo com o levantamento executado por Silva e Fornasari Filho (1992), foram identificadas nesta unidade, uma Área de Proteção Ambiental, a Estação Ecológica e Santa Maria no município de São Simão e quatro sítios arqueológicos, o que faz contribuir ainda mais para que sejam tomadas iniciativas no que diz respeito a preservação ambiental e do meio físico desta unidade.

Subgrupo 1b2

Ocupa uma área de 6,3% da área total da bacia e é formada pelo predomínio de litologia de natureza sedimentar arenosa pertencente à Formação Pirambóia. Os *landforms* predominantes são colinas onduladas de topo arredondado e vertentes suaves com declividades baixas. O material inconsolidado apresenta textura arenosa e ocorre em perfis de espessura variando entre 3 a 5 metros. Secundariamente, ocorrem morros de média amplitude, topos amplos, média a alta densidade de drenagem e encostas suavizadas. O material inconsolidado neste *landform* apresenta textura arenosa, porém ocorrem em perfis menos espessos. Localmente observa-se um material arenoso de origem transportado, sendo comum encontrar na sua base, níveis conglomeráticos.

Em função de suas características, este subgrupo apresentou muitas similaridades com o subgrupo 1b1 em relação às suas aptidões e restrições. Assim, optou-se por

apresentar uma breve descrição em termos de uso e ocupação e conflitos gerados em função das solicitações impostas ao meio físico.

A exemplo do subgrupo 1b1, esta é também uma importante área de recarga do Aquífero Guarani. O solo permeável facilita a percolação das águas da chuva, favorecendo o seu ingresso aos aquíferos.

Em relação ao uso e ocupação do solo, cerca de 50% de sua área é utilizada para a pastagem, sendo seguida pela prática da agricultura diversificada (19,2%) e sucessivamente por áreas ocupadas por matas (15,8%) e por reflorestamento (14%).

A área encontra-se em intenso processo de desmatamento, uma vez que as matas foram substituídas por áreas de pastagem. O pouco da vegetação que resta, concentra-se nos topos e ao longo de alguns rios. Este processo associado ao alto potencial erosivo do solo faz com que ocorra uma intensificação destes processos.

Outro fator que tem contribuído muito para a degradação ambiental deste subgrupo é o lançamento de efluentes domésticos, industriais e originados da aquicultura nos rios, comprometendo a qualidade da água superficial.

Depósitos de resíduos sólidos também são comuns na área, fazendo com que, quando instalados sem nenhum controle e sobre os solos arenosos que possuem uma baixa capacidade de retenção dos poluentes podem se tornar uma grande fonte de contaminação das águas subterrâneas.

De acordo com o levantamento executado por Silva e Fornasari Filho (1992), foram identificadas nesta unidade, Sítios Arqueológicos próximos à cidade de Cajuru.

Subgrupo 1b3

Ocupa uma área de 6,0% da área total da bacia e é constituída por ocorrências em proporções equilibradas dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia.

Os *landforms* predominantes são colinas com topo plano, vertentes suaves com declividades baixas e média densidade de drenagem. O material inconsolidado apresenta-se homogêneo com textura arenosa e ocorrem em perfis de espessura variando entre 3 a 7 metros. Localmente, observa-se a presença de uma camada de aproximadamente 1 metro de espessura, de solo de origem transportada e textura argilosa, provavelmente proveniente dos diabásios que se encontram próximos a esta área. Com menos intensidade, ocorre

morros de média amplitude, topos arredondados, encostas suavizadas e média densidade de drenagem. O material inconsolidado apresenta textura arenosa, ocorrendo em perfis com espessura inferior a 5 metros.

Em relação ao meio físico, apresenta muitas semelhanças com os sub-grupos 1b1 e 1b2, uma vez que é constituído por uma interação das litologias constituintes destes subgrupos. Assim, as características em relação a litologia, relevo, material inconsolidado e hidrogeológico, são basicamente as mesmas. Porém, no contexto ambiental apresenta diferenciações frente às solicitações de uso e ocupação que é imposto a área.

Em relação ao uso do solo, ocorre um equilíbrio entre as práticas de pastagem (28,4%), plantação de cana de açúcar (24,4%) e culturas diversas (22,6%). Juntas somam 75,4% da área, trazendo sérias implicações ao meio ambiente. Em função disso, somente 8,5% da área encontra-se coberta por matas.

Apresenta um grande potencial a instalação dos processos erosivos, principalmente quando na ocorrência do arenito da Formação Pirambóia, em consequência ocorre um agravamento dos processos de assoreamento dos rios e inundação das margens.

Devido às características do solo, esta unidade apresenta sérias restrições à instalação de depósitos de resíduos sólidos, principalmente, quando se encontram fora dos padrões ambientais. Entretanto, é comum a presença destes depósitos, que muitas vezes encontram-se dispostos diretamente sobre os arenitos, ocasionando a contaminação das águas subterrâneas, por meio da migração do chorume pelo solo.

Outra prática que tem contribuído bastante para a degradação ambiental é o lançamento de efluentes domésticos e originados da aquicultura nos cursos dos rios que drenam diretamente para o Rio Pardo.

De acordo com o levantamento executado por Silva e Fornasari Filho (1992), foram identificadas nesta unidade, duas Áreas de Proteção Ambiental, a Floresta Estadual de Cajuru e Altinópolis e a Estação Experimental de Bento Quirino e dois Sítios Arqueológicos.

Subgrupo 1c

Ocupa 1,0% da área total da bacia e é constituído por litologias argilosas da Formação Corumbataí. Geomorfologicamente é formado por formas de relevo suaves,

constituindo morrotes com declividades baixas e média densidade de drenagem. Secundariamente, ocorrem colinas de topos amplos com baixa declividade e densidade de drenagem. Os solos são profundos, de textura argilosa ocorrendo em vários estágios de alteração. Localmente ocorrem intercalados com níveis argilo siltosos.

Este solo caracteriza-se por ser poroso, com alta capacidade de retenção e de armazenamento de água. Estas características atribuem ao solo condições favoráveis para a prática da agricultura. Outro fator que deve ser considerado em relação a sua capacidade de retenção é o fato dele funcionar como uma barreira, retendo e depurando os poluentes e diminuindo a contaminação da água subterrânea.

Em relação ao uso e ocupação, a área é praticamente ocupada por área de pastagem (75,2%). Apesar de ter uma boa resposta em relação a agricultura, somente 9% da área é ocupada por esta atividade e em 12,5 % da área ainda é possível encontrar concentrações de mata natural.

Em locais onde o solo ocorre em camadas argilosas intercalado com camadas argilo siltosas, o comportamento em termos de resistência e estabilidade pode variar, ocasionando planos de fraqueza quando submetidos a esforços.

No aspecto ambiental, é uma das áreas deste grupo que menos tem sofrido com as conseqüências do uso do solo, porém não se encontra isento das alterações ambientais, decorrentes destes processos. Foram obtidos registros de pontos de lançamento de efluentes domésticos e de aquicultura nos afluentes do Rio Pardo.

Foi cadastrada também a presença de depósitos de resíduos sólidos na área. Apesar do solo nesta unidade, como dito anteriormente, mostrar-se favorável à retenção de poluentes, salienta-se que este tipo de depósito deve passar por um processo de reestruturação dentro das exigências ambientais, para que não venha comprometer tanto a qualidade ambiental quanto a e de vida da área em questão.

Subgrupos 1d1 e 1d2

Ocupa 9,4% da área total da bacia e são constituídos por litologias arenosas a areno-argilosas da Formação Aquidauana, Formação Itararé e Piraçunuga, respectivamente. Quando associadas a *landforms* do tipo colina apresenta material inconsolidado de textura arenosa e profundos e quando associados a morrotes, apresenta-se menos espesso,

constituindo um pacote de intercalações de níveis arenosos com níveis areno-síltico-argilosos.

Estas características fazem com que esta unidade apresente uma variação de comportamento em termos de resistência, estabilidade e permeabilidade. Devido a estes fatores, recomenda-se que seja feita uma investigação geotécnica criteriosa antes da instalação de qualquer tipo de uso e ocupação.

Devido a textura do material, em locais onde a camada arenosa encontra-se próximo a superfície, deve-se evitar a exposição do solo por períodos prolongados, tendo em vista que este material é altamente susceptível a instalação de processos erosivos.

Em relação ao uso e ocupação, a área é praticamente ocupada por área de pastagem (65,8%), seguido da agricultura (27,7%), práticas estas que são responsáveis diretamente pelo intenso desmatamento que a área vem sofrendo.

Sob o contexto ambiental, a água do Rio Pardo que cortam algumas unidades deste grupo é considerada favorável à reprodução de peixes. Porém, foram obtidos registros de pontos de lançamento de efluentes domésticos, industriais e originados da aquicultura em afluentes e até mesmo no próprio Rio Pardo. Atividade esta, que dependendo da intensidade com que é efetuada pode provocar a alteração da qualidade da água superficial e conseqüentemente comprometer o processo de reprodução.

Outra prática, que quando realizada de forma indiscriminada pode acarretar em sérios riscos é a utilização da água subterrânea através de poços tubulares, sendo que segundo cadastros da realização desta atividade nesta área, tem sido feito de forma intensa.

Subgrupo 1e

Ocupa 2,0% da área total da bacia e é constituído pelos arenitos da Formação Piraçunuga, respectivamente. Ocorre o predomínio de *landforms* do tipo colina com material inconsolidado de textura arenosa e profundos.

Em relação ao uso e ocupação, a área é praticamente ocupada por área de pastagem (91,0%) e somente 2,0% da área é ocupado por matas.

Devido a textura do material, o solo apresenta-se susceptível a instalação de feições erosivas, que associado ao intenso processo de desmatamento que a área se encontra, tende a cada vez mais se agravar.

Sob o contexto ambiental, outro problema que ocorre com frequência nas unidades deste subgrupo, é a utilização da água subterrânea a partir da instalação de poços subterrâneos.

Observou-se também neste grupo que as planícies fluviais que aí se desenvolveram, tiveram a sua vegetação natural substituída por outros tipos de vegetações.

Grupo 2: Litologias pertencentes ao Embasamento Cristalino e ao Maciço Alcalino Poços de Caldas

Subgrupo 2a

Ocupa uma área de 8,4 % da área total da bacia, sendo constituído predominantemente por rochas graníticas. As formas de relevo predominantes são os morros, onde através da análise de *lanforms* foi possível definir dois tipos de morros, que apresentam diferenças em suas características. O primeiro caracteriza-se por morros com amplitude média de aproximadamente 160 metros, declividades inferiores a 30% e média a alta densidade de drenagem. O material inconsolidado é caracterizado como areno argiloso e ocorre em perfis com espessuras variando entre 5 e 7 metros. O segundo tipo apresenta amplitudes mais elevadas, em torno de 250 a 360 metros, topos angulares e material inconsolidado com espessuras menores do que o anterior.

Secundariamente, ocorrem morrotes com declividades inferiores a 20%, alta densidade de drenagem e material inconsolidado com espessura inferior a 3 metros.

Quanto ao uso e ocupação esta área encontra-se ocupada basicamente pela prática da pastagem (81%). Constatou-se uma grande incidência de desmatamento, sendo que a área posteriormente foi ocupada por pastos, entretanto observou-se a ocorrência de uma porcentagem maior de mata nos morros com amplitudes mais elevadas do que nos que apresentam menores amplitudes. As matas, que representa em porcentagem o segundo tipo de ocupação (7,0%), ocorrem geralmente em porções restritas aos topos dos morros. O intenso desmatamento a que a área está submetida, principalmente quando associado ao material inconsolidado areno argiloso tem ocasionado o desenvolvimento de processos erosivos. Conseqüentemente, induz ao assoreamento dos rios, que na sua maioria encontram com boa parte das matas ciliares reduzidas.

No aspecto ambiental, as unidades deste grupo têm passado por conflitos, que no decorrer do tempo, poderão comprometer a qualidade do meio ambiente. Foram obtidos cadastros de um número considerável de pontos de lançamento de efluentes industriais, domésticos e provenientes da aquicultura que são lançados em importantes afluentes e diretamente no Rio Pardo. De acordo com informações obtidas de Silva e Fornasari Filho (1992) o Rio Pardo apresenta-se em algumas regiões favorável a reprodução de peixes. Logo, o lançamento indiscriminado e sem controle destes efluentes, podem comprometer este processo.

Outro fator de possível degradação ambiental observado foi a identificação de uma grande quantidade de poços tubulares e área de exploração de água mineral.

Observou-se também a presença de um aterro sanitário, que se encontra instalado sobre materiais de textura areno-argilosa e próximo a drenagens, podendo ocasionar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Subgrupo 2b

Ocupa uma área de 4,6 % da área total da bacia, sendo constituído predominantemente por rochas gnáissicas. Geomorfologicamente ocorre o predomínio de morros com amplitude média inferior a 250 metros declividades abaixo de 45%, média a alta densidade de drenagem e textura argilo-arenosa. Secundariamente, ocorrem morros com amplitudes mais elevadas, acima de 400 metros, apresentando declividades acima de 45%, material inconsolidado menos espesso, apresentando textura também argilo-arenosa e alta densidade de drenagem. Localmente, observam-se morros com amplitudes inferiores a 250 metros, porém com material inconsolidado areno-argiloso.

Quanto ao uso e ocupação, 62,5% da área é destinada a prática da pastagem. Secundariamente, ocorre a cultura do café 24%. As matas ocupam 12% da área. O desmatamento é grande e na maioria dos casos, observou-se que a plantações de café, avançam sobre os morros, que é a forma de relevo predominante na área. Em algumas áreas em que a declividade ultrapassa o valor de 47% e em topos de morros, ainda existe resquícios de mata virgem, já que estas são condições impostas por lei para a proibição de derrubada de matas (Código Florestal Brasileiro – Lei nº 7803 de 1989).

Quanto ao aspecto ambiental, além do alto índice de desmatamento, pode-se observar que ocorre uma quantidade considerável de pontos de lançamento de efluentes domésticos, industriais e provenientes da aquicultura em afluentes do Rio Pardo.

Observou-se também neste grupo, próximo ao município de Caldas, minerações ligadas à exploração de água mineral e pedreiras de onde são retirados blocos de gnaiss, ocasionando sérios impactos ao meio físico.

Subgrupo 2c

Ocupa uma área de 5,6 % da área total da bacia, sendo constituído predominantemente por rochas granulíticas. Geomorfologicamente, as unidades deste subgrupo são constituídas predominantemente por morros, onde pode ser individualizados dois tipos. Os morros com amplitudes inferiores a 250 metros apresentam declividades inferiores a 45%, média a alta densidade de drenagem e material inconsolidado de textura argilo-arenosa. Localmente apresentam, textura areno-argilosa. O segundo tipo ocorre em menor proporção, apresentam amplitude acima de 400 metros, ocorrendo valores de declividades acima de 45% , alta densidade de drenagem e material inconsolidado argilo-arenosa.

O uso e ocupação é representado basicamente por pastagem (66%) e pela monocultura cafeeira (18,3%). Como no grupo anterior, as características das plantações de café são basicamente as mesmas, traduzindo em um intenso processo de desmatamento, onde somente 11,1% da área encontra-se arborizada. Além do café foram observadas outros tipos de culturas, como por exemplo o milho, porém em menor intensidade (1,0%). Essas plantações ocorrem normalmente intercaladas com as áreas de pastagem.

No aspecto ambiental, não foram identificados grandes conflitos, além do desmatamento que configura um grande impacto na área. Foram obtidas informações a respeito de assoreamentos em rios próximos à cidade de Monte Santo de Minas, porém segundo informações obtidas da Prefeitura Municipal, estes assoreamentos não comprometem o abastecimento público da região.

Subgrupo 2d

Ocupa a maior parcela deste grupo, constituindo 22,8 % da área. É formada pelo predomínio de rochas migmatíticas. Geomorfologicamente ocorre na área em maior proporção feições de relevo do tipo morro. Foram observados morros com amplitudes inferiores a 250 metros, que apresentam declividades inferiores a 45%, alta densidade de drenagem e material inconsolidado de textura argilo-arenosa e também morros com amplitudes acima de 400 metros. Localmente, ocorrem morrotes e colinas.

Quanto ao uso e ocupação, 78,8% da área é destinada a prática da pastagem, seguida de áreas de mata (9,5%) e pela monocultura cafeeira (6,1%). O maior índice de plantações de café foi observado nas áreas de morros. Em contrapartida são as formas de relevo que possuem uma menor proporção de matas.

No aspecto ambiental, é a área pertencente a este grupo que mais tem sofrido com os impactos ambientais causados pelas diversas solicitações de uso e ocupação.

Foram obtidos registros de pontos de lançamento de efluentes domésticos, industriais e de aquicultura em importantes afluentes do Rio Pardo. Nas unidades 80, onde se localiza o município de Caldas, e 84 foram observados pontos de lançamento de efluentes domésticos e industriais. Este município é caracterizado por possuir pequenos laticínios, sendo que alguns deles, jogam seus efluentes diretamente nos afluentes do Rio Pardo, causando um sério comprometimento na qualidade ambiental da água. Vale ressaltar que este município possui atrativos turísticos e paisagísticos importantes para a região, como cachoeiras, fazendas históricas, etc.

Neste subgrupo foi notada uma das maiores incidência de lançamento de efluentes domésticos, sendo que os principais contribuintes são os municípios de Caconde, Divinolândia, São Sebastião da Gramma, Vargem Grande do Sul e São José do Rio Pardo.

Próximo aos municípios de Caconde e Tapiratiba foram cadastrados ocorrências de pedreiras, que exploram o migmatito como matéria prima para construção civil.

Os processos erosivos não são muito comum nesta região, porém nas unidades 81, 82 e 83 foram observadas grandes feições erosivas, que se instalaram em áreas que foram totalmente desmatadas sendo utilizada atualmente como área de pastagem.

Subgrupo 2e – Rochas Alcalinas

Ocupa a maior parcela deste grupo, constituindo 5,0 % da área. É formada pelo predomínio de rochas alcalinas pertencentes ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Geomorfologicamente ocorrem feições de relevo do tipo colina e morros. Os morros apresentam amplitudes inferiores a 250 metros, encostas com declividades inferiores a 30% e alta densidade de drenagem. O material de alteração apresenta textura argilo siltosa e ocorrem em perfis de espessuras inferiores a 3 metros. Nas colinas o material inconsolidado, apresenta textura argilo-silto-arenosa e ocorrem em perfis com espessuras inferiores a 7 metros.

Quanto ao uso e ocupação, ocorre o predomínio de pastagem (71,4%) e as áreas ocupadas por matas representam 18% da área, sendo que a maior incidência se deu na unidade 89, onde se localiza o Morro de São Domingos que é considerada área de preservação ambiental do município. Uma parcela de 4,5% da área é destinada a prática de culturas diversas e em 2,6% ocorre reflorestamento.

No aspecto ambiental, as unidades pertencente a este subgrupo tem como principal impacto, as minerações e pedreiras, sendo a unidade 88 a que apresentou um número maior de minerações em atividade. Algumas minerações pequenas encontram-se desativadas, e pode-se notar que nenhum plano de recuperação foi aplicado à área. Nestas áreas, encontram-se instaladas algumas feições erosivas, provocando o assoreamento de drenagens próximas.

A exemplo dos demais subgrupos, o maior problema indentificado é o desmatamento, que é executado para dar lugar às pastagens. Este fator oferece um grande risco para a região, uma vez que aí se encontra localizada uma das mais importantes estâncias hidrominerais dos pais. Este processo de desmatamento pode acarretar em sérias conseqüências, uma vez que compromete todo o ciclo hidrológico natural da região.

Grupo 3: Planícies fluviais

São feições que ocorrem em áreas isoladas em toda a Bacia do Rio Pardo. Ocupam 2,4% e estão associadas tanto as litologias da Bacia do Paraná como também a algumas litologias do Embasamento Cristalino.

Quando associadas às litologias pertencentes à Bacia do Paraná, ocorrem em maior proporção e são caracterizadas por serem amplas, com canais largos e rasos. O material inconsolidado é originado basicamente dos arenitos da Formação Pirambóia, de textura arenosa e com uma grande contribuição de matéria orgânica. Quando associadas ao Embasamento Cristalino, caracteriza-se por planícies fluviais rasas e abertas, porém com canais mais estreitos que as anteriores.

Em relação ao aspecto ambiental, praticamente toda atividade de uso e ocupação e impactos decorrentes destes usos, se refletem de maneira indireta nas planícies fluviais.

Por causa de sua baixa declividade ($< 2\%$) são alvos de constantes inundações em épocas de chuva, devendo-se assim, evitar que sejam ocupadas. Com o intenso processo de desmatamento observado em praticamente toda a Bacia do Rio Pardo, ocorre assoreamento dos rios em função da migração do solo erodido e conseqüentemente, fenômenos de inundações.

Um dos grandes problemas observado é a destruição das matas ciliares que funcionam como barreira ao material que migra dos terrenos da bacia em direção a drenagem principal, dentre eles pode-se incluir os agrotóxicos utilizados nas plantações, principalmente nas áreas de cultivo de cana de açúcar, que muitas vezes alcançam as áreas de planície.

Outro problema observado com frequência é o lançamento de efluentes domésticos e industriais nos rios, comprometendo não só a qualidade da água superficial, como também do solo desenvolvido nas planícies.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 – Quanto à metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas

A utilização da metodologia de compartimentação de bacias hidrográficas (Pfafstetter, 1987), utilizada como base para a definição de unidades de compartimentação mostrou-se adequada uma vez que possibilitou a individualização de Ottobacias (Bacias e Interbacias) até o nível de homogeneidade estabelecido.

O processo de análise das Ottobacias com os atributos do meio físico (substrato rochoso, *landforms*, materiais inconsolidados e declividade) permitiu a definição de 90 unidades de compartimentação que, quando analisadas separadamente apresentaram características similares, facilitando a integração das informações e a análise da relação existente entre o meio físico e as respostas obtidas em função das diversas solicitações de uso e ocupação impostos à bacia.

É importante ressaltar que algumas unidades de compartimentação caracterizadas como homogêneas em relação a alguns aspectos do meio físico, podem apresentar implicações ambientais diferentes, quando submetidas às solicitações de uso e ocupação. À estas unidades pertencem diversas Ottobacias com dimensões e características variadas. Portanto, em um estudo de planejamento e ocupação do solo a subdivisão das unidades em Ottobacias deve ser considerada, pois as alterações antrópicas podem conduzir a implicações ambientais diferentes conforme a Ottobacia analisada. Este aspecto ressalta a importância da metodologia utilizada, pois permitiu a compartimentação da área em unidades compatíveis com a escala regional de estudo, mas forneceu também as bases para um estudo mais detalhado ao apresentar a subdivisão em Ottobacias.

A compartimentação da Bacia do Rio Pardo em Ottobacias, associado ao processo de análise e agrupamento em unidades que se mostraram similares frente aos atributos do meio físico mostrou-se adequada como subsídio para Zoneamentos Geoambientais, uma vez que considera, entre outros aspectos, informações referentes ao substrato rochoso, materiais inconsolidados, águas subterrâneas, aquíferos, etc, que são atributos essenciais ao estudo de Zoneamento Geoambiental e apresentam características que extrapolam os limites dos divisores de água de uma bacia hidrográfica.

A quantidade e qualidade dos dados utilizados no processo de análise da homogeneidade das Ottobacias torna-se uma exigência essencial, pois eles são a base para a definição de unidades de compartimentação. Para isso, tornou-se fundamental associar a Metodologia Ottobacias com trabalhos de Cartografia Geotécnica, que permitiram a produção de um conjunto de documentos cartográficos essenciais para caracterização do meio físico.

7.2 – Quanto à utilização das técnicas de geoprocessamento e tratamento de dados

Os programas utilizados foram ferramentas de grande contribuição para o desenvolvimento do trabalho, uma vez que se mostraram-se adequados, permitindo tratar, combinar, analisar e comparar os atributos obtidos, além de permitir a manipulação com arquivos do tipo *raster*, tornando rápido e preciso a geração dos produtos cartográficos.

A utilização do SIG ArcView 3.1, mostrou-se satisfatória, pois é uma ferramenta rápida e de fácil interação na geração dos modelos digitais de terreno e conseqüentemente na carta de declividade. No processo de análise das informações, também apresentou um bom resultado, permitindo de forma eficaz o cruzamento das informações e cálculo de áreas.

O programa ENVI[®] mostrou-se adequado no que diz respeito ao processamento de imagens de satélite e obtenção do Mapa de Uso e Ocupação. Porém, deve-se ressaltar que a utilização deste programa apresenta resultados mais confiáveis quando se tem um conhecimento prévio da área.

7.3 – Quanto aos resultados da análise das unidades de compartimentação e das situações de uso e ocupação.

De acordo com a análise das unidades de compartimentação geradas e em função do uso e ocupação local, pode-se afirmar que:

- a Bacia do Rio Pardo, encontra-se em intenso processo de degradação, sendo que as principais atividades de uso e ocupação desenvolvidas são pastagem e agricultura, principalmente a monocultura de cana de açúcar.

- a monocultura cafeeira é desenvolvida com intensidade na porção mineira da bacia. As principais ocorrências se deram principalmente em terrenos constituídos por gnaisses e migmatitos, sendo observadas com grande frequência em áreas de declividades elevadas;

- a cana de açúcar desenvolve-se principalmente sobre as regiões onde afloram os basaltos da Formação Serra Geral e em área de declividades baixas;

- a pastagem ocorre praticamente em toda a área, sendo que a maior incidência foi observada nas litologias pertencentes ao Embasamento Cristalino. Observou-se também que a sua ocorrência se dá em todas as classes de declividades, principalmente nas classes de 0 a 20%;

- as matas nativas ocupam uma pequena porcentagem da área, concentrando-se basicamente em topos de morros e em áreas de altas declividades. As matas ciliares estão praticamente extintas;

- grande parte das áreas que apresenta solo exposto é constituída por terrenos associados à migmatitos e granitos;

- os principais problemas geoambientais associados ao meio físico e que ocorrem na Bacia do Rio Pardo são: erosão, assoreamento e inundações;

- em relação ao meio ambiente, os principais problemas que atualmente são desenvolvidos na Bacia do Rio Pardo são: lançamento de efluentes domésticos, industriais e de aquicultura diretamente no curso do Rio Pardo ou em alguns de seus importantes afluentes; utilização excessiva da água subterrânea através da instalação de poços tubulares; disposição de resíduos sólidos fora dos padrões ambientais e atividades de mineração sem estudo prévio de pesquisa mineral e recuperação de áreas degradadas.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER A. N. (1970) – Províncias geológicas e domínios morfo-climáticos no Brasil: São Paulo: IGEO/USP. 26 p. (Geomorfologia, 20).

AGUIAR, R. L. (1997) – Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua interseção na gestão ambiental. *Dissertação de Doutorado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Geotecnia*.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L. (coordenador) (2000) – Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimentos de diretrizes técnicas par a elaboração do plano da bacia hidrográfica do Rio Pardo. IPT/CBH-Pardo/FEHIDRO. Versão CD-ROM.

ALMEIDA, F. F. de (1974) – Fundamentos geológicos do relevo paulista. Série Teses e Monografias, n. 14, 98 p. IGEOG, São Paulo, 1974 (Transcrito de “Geologia do Estado de São Paulo” boletim n. 41, 1964, Inst. Geográfico e Geológico, SP).

ALMEIDA, C. C. (1979) - Programa COMPLET para preenchimento de falhas em séries de precipitação. Departamento de Geologia – Universidade de Lisboa. *In*: Notas de aula

ALMEIDA, F. F. M. de (1980) – Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo: IPT. 187 p. (IPT. Relatório 14091).

ALMEIDA, L. E. G. (2000) – Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP) – ênfase no uso da Técnica de Avaliação de Terrenos e perfis típicos de materiais inconsolidados. *Dissertação de Mestrado: Departamento de Geotecnia-EESC-USP*.

ALONSO HERRERO, E.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A (1990) – Enviromental – geological mapping and evaluation. *In* Cantabrian Mountains, Spain. *International Congress of the IAEG, 6. Amsterdam, 1990. Anais*. Amsterdam, alkema, Rotterdam, v. 1, p. 31 – 35.

ALVARENGA, S. R. (1997) - A análise das áreas de proteção ambiental como instrumento da Política Nacional do meio ambiente: o caso da APA Corumbataí – SP. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos - Ciências da Engenharia Ambiental*.

ALVES, D. S. (1990) – Sistemas de Informação Geográfica. *In: Geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 23 a 25 de maio de 1990. p. 66 – 78.

AMARAL, C.; CORSINI, P. C.; LOPES, L. R.; POLITANO, L. (1994) – Influência do relevo sobre o desenvolvimento de Bacias Hidrográficas de áreas com solos podzólicos vermelho-amarelo e latossolos das sub-regiões de Jaboticabal, Ribeirão Preto e Araraquara – SP. *In: Científica*. São Paulo, 22 (2). p. 263-276.

AMARAL, G. (1990) – Princípios de sensoriamento remoto. *In: Geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 23 a 25/05/90. p. 27-36.

AMARAL, S.E.do; LEINZ, V. (1962) – *Geologia Geral*. Ed. Nacional. 3ª ed. 523 p.

AMORIM, H. R. (2003) – Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da Usina Hidroelétrica de Caconde (SP), escala 1:50.000, com uso de geoprocessamento. *Dissertação de mestrado: Departamento de Geotecnia – EESC/USP*. 170p. + anexos.

ÁVILA, C.J.C.P; SILVEIRA, C. A. C. (1998) – Uso de ferramentas de Geoprocessamento na ANEEL para gestão de recursos hídricos. *Trabalho publicado. In: http://www.aneel.gov.br/egrh/Trab_pub/Geoproc.html*

BARBIERI, J. C. (1997) – *Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21* – Petrópolis, Rio de Janeiro. Ed. Vozes. 1997. p. 156.

BARBOSA, C.C.F.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; FONSECA, F. (1999) – Conceitos básicos em Geoprocessamento (cap. 2). *Curso de Geoprocessamento on line. INPE. In: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>*

BEATE, F. (1995) – Uma abordagem para o gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes. *Tese de doutorado: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção*.

BELCHER, D.J. (1942) - The Use of Soil Maps in Highway Engineering. *In : AMERICAN ROAD SCHOLL*, 28, 1942a, [s.l.]. *Proceedings 28th.. [s.l.]* : Purdue University, Engineering Bulletin n. 26, p. 64.

BELCHER, D.J. (1948) - Determinations of Soil Conditions from Aerial Photographs. *Photogrammetric Engineering*, [s.l.], v. 14, p. 482.

BETTINE, S. C. (1984) – Aplicação e Análise de um Modelo Geomorfológico para Resposta de Bacias Hidrográficas. *Dissertação de Mestrado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos*.

BOGO, J. M. (1998) - O sistema de gerenciamento ambiental segundo a iso 14001 como inovação tecnológica na organização. *Dissertação de mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas*.

BOURNE, R. (1931) - Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire. *Ox. For. Mem.*, v. 13.

BOURLON, N. (1992) – Cooperação na área da gestão das águas doces. *Rev. Contacto – Especial Meio Ambiente. Ano 4. p. 26-27 Jun. 1992*.

BRASIL (1965) - Lei n. 4.471 de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal.

BRASIL (1979) - Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano.

BRASIL/DNPM (1979) - *Projeto Sapucaí, estados de Minas Gerais e São Paulo: relatório final de geologia*. KAEFER, L. Q. et. al. Brasília, DNPM/CPRM, Superint.. Reg. São Paulo, 1979 229 p. 4 mapas color. (série geologia n.5, seção geol. básica, n. 2).

BUENO, L. S.; PAULINO, L. A. SANTOS, G. T.; VIEIRA, S. J. (1997) – A utilização de SIG's nos estudos geotécnicos. *Artigos 3º COBRAC*. In: <http://www.geodesia.ufsc.br>.

BURROUGH, P. A (1994) - *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*, Oxford University Press, New York.

BUSATO, J. M. (1996) – A decisão de investir em gerenciamento ambiental: evolução da questão em Santa Catarina. Estudo de caso. *Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas*.

CAMARA, G. & FREITAS, U. M. (1995) – Perspectivas em sistemas de informação geográfica. In: *Simpósio sobre CAD/CAM e computação gráfica*, SOBRACON, São Paulo, Anais, Vol. 1, p. 30 a 35.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (1998) – Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE. 2ª Ed. <http://www.inpe.br/dpi/cursos/gisbrasil/index.html>

CÂMARA, A. & SIMÕES, J. S. (1996) – Geoprocessamento para projetos ambientais. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, INPE.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. (1999). – Introdução (cap. 1). *Curso de Geoprocessamento on line* INPE. In: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. (1999). – Arquitetura do Sistema de Informação Geográfica (cap. 3). *Curso de Geoprocessamento on line*. INPE. In: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de; MONTEIRO, A.M.V. (1999) - Geoprocessamento para Projetos Ambientais (cap. 23). *Curso de Geoprocessamento on line*. INPE. In: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.

CARNESECA, L. F. (1998) – O sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos no Estado de São Paulo. *Revista Água e Energia Elétrica* (outubro/1998). In: <http://www.daee.sp.gov.br>.

CARVALHO, J. A R; SILVA, P. F. da & LARANJEIRA, M. (1998) – Geo –Almada Data Bank, Portugal – Engineering geological attributes for environmental planning. In: *International Congress of the IAEG*, 8. Balkema, Rotterdam.

CAVALCANTE, J. C. et al. (1979) – Projeto Sapucaí : relatório final de geologia. Brasília: DNPM. 299 p. (Série Geologia, 5; Seção Geologia Básica, 2).

CERUCCI, M. (1998) – A análise da eficácia do EPIA quanto à aplicação de metodologias para a localização de empreendimentos. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia - Ciências da Engenharia Ambiental*.

CENDRERO, A. (1975) – Environment geology of the Santander by area. Northern Spain. *Environmental Geology*, Springer Verlag, New York. Vol. 1, p. 97-114.

CENDRERO, A. (1988) – Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio. *Serie Engenharia Geoambiental, Inst. Tecn. Geominero de Espana, Madrid*, p. 25-33.

CENDRERO, A. (1990) – Geocientific maps for planning in semi-arid regions: Valencia and Gran Canaria. *Engineering Geology, Spain*, v. 29, p. 291-319.

CENDRERO, A. & DIÁZ DE TERAN (1987) – *The environment map system of the University of Cantabria, Spain. Minerals Resources, Extraction, Environment Protection and Land Use Planning in the Industrial and Developing Countries*. P. Arndt & G. W. Luttig (eds), Stuttgart, p. 149-181.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1994) *Consolidação do inventário das fontes fixas – poluição das águas*. São Paulo: CETESB (Programa de recursos hídricos).

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1998a) - *Cadastro de indústrias no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. Dados disponibilizados eletronicamente.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2004) – Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório de 2003. São Paulo: Cetesb (2004). 44 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980) – *Geomorfologia*. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2 ed. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1982) – A significância da densidade de drenagem para as interpretações paleoclimáticas. In: *SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4, Rio de Janeiro. Atas...* Rio de Janeiro, SBG, p. 349-364.

CHRISTOFOLETTI, A. (1974) *Geomorfologia*. 2ed. São Paulo. Ed. Edgard Blucher Ltda.

CHRISTOFOLETTI, A. (1987) – Análise Topográfica de Bacias de Drenagem. *Rev. Geociências, São Paulo*, 5/6. p. 1-29.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999) – *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Ed. Edgard Blucher. 1ª ed. 236 p.

CLOWES, A.; COMFORT, P. (1987) – *Process and Landform* – Ed. Oliver & Boyd. 2ª Edição.

CNRH. (1998) - Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos. Ata de Reunião. In: <http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R030.htm>

COLLARES, E. G. (1996) – Degradação ambiental: bases conceituais, análise e avaliação. *Revisão Bibliográfica: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos - Dep. Geotecnica*.

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

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1995) – *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB (1995). 286 p. (Série relatórios).

COMMISSION ON ENGINEERING GEOLOGICAL MAPS OF THE IAEG (1976) – *A guide to their preparation*, Unesco press, Paris, France.

COSTA, A. J. F. (1998) – Gestão municipal da água. In: <http://federativo.bnds.gov.br/dicas/D108.htm>.

CPRM Revistas Técnicas (2000) – Recursos Hídricos no Brasil – Questão do momento. In: <http://www.cprm.gov.br/rev/agua0601.html.bk>

CROSTA, A P. (1992) – *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas. UNICAMP/IG.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. (1996) – *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 372 p.

D'ALGE, J.C.L (1999) – Cartografia para geoprocessamento (cap. 4). *Curso de Geoprocessamento on line*. INPE. In: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.

DALE, P.F.; McLAUGHLIN, J. (1989) – *Land Information Management*. An introduction with special reference to cadastral problems in Third World countries. Claredon Press. London. 266 p.

DERMAN, W. R.; MATULA, M. (1986) – Enviromental aspects of Engineering Geological Mapping. *Bulletin of the Indternational Association of Engineering Geology*, no 14, p. 141 – 146. Krefeld, 1976.

DERMENTZOPOULOS, Th.; KATSARIDIS, P. (1997) – Engineering geological data management for urban planning using GIS: a case study from Piraceus, Greece. In: *International Congress of the IAEG, Greece, 1997. Anais*. Greece, Balkema, Rotterdam.

DIAS DE TÉRAN, J. R. (1988) – Tipos de metodologias de cartografia ambientais. *Série Engenharia Ambiental*. Instituto Tecnológico Geominas de Espanã Madrid. p. 239-257.

DIEGUES, A. C. (1989) - Desenvolvimento sustentado, gerenciamento ambiental e o de recursos naturais. *Cadernos FUNDAP*, São Paulo, n.9, n.16, junho. p.33-45.

DINIZ, N.C. (1998) – Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de doutorado: Universidade de São Paulo – Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Civil.

D' ORSI, R. N. (1992) – Impactos ambientais na área de baixada da folha Petrópolis (RJ) - 1:50.000: considerações geológicas. Dissertação de mestrado: Universidade Federal do Rio de janeiro - Departamento de Geologia.

EASTMAN, J. R. (1998) – *IDRISI for Windows User's Guide Version 2*. Introduction. Worcester – MA.Graduate School of Geography. Clark University.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1981): Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos/SNLCs. Rio de Janeiro. *Mapa de Solos do Brasil*. Esc. 1:5.000.000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2000): Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: <http://www.cnptia.embrapa.br>

ESRI (1996) - Programa ArcView (Manual do usuário), versão 3.5.

FABBRI, A. G. & CENDRERO, A (1995) – Changes and Enviroment . *ITC Journal* n° 4.

FATOR GIS on line (2000) – <http://www.fatorgis.br>

FONTES, S. B. (1999) – Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto/MG – Escala 1:5.000. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia - Departamento de Geotecnia*.

FORESTI, C. & HAMBURGER, D. S. (1991) – Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. P. 115 – 120. In: *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar* (Sâmia Maria Tauk – coord.)

FORNASARI F. N. *et al.* (1992) – Alterações no meio físico decorrente de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 162p. (IPT. Publicação 1972; Boletim 61).

FRANCÉS, E.; DIAS de TERÁN, J. R. & CENDRERO, A. (1990) – La aplicacion de la cartografia geoambiental al diagnostico de unidades territoriales: establecimiento de directrices de ordenacion. In: ROMARIZ, C. *Livro de homenagem a Carlos Romariz*. Lisboa. p. 377-402.

FREITAS, R. O.; VIEIRA, P. C.; MEZZALIRA, S. (1990) – A Formação Piraçununga na região de Vargem Grande do Sul, SP. Aplicação técnica de perfis sedimentares. *Rev. IG*, v. 11, n. 2, p.35-48.

FUNCEME (1988) - <http://www.funceme.br/pes/anamb/index.html>

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (1999) - Projeto Águas de Minas 1999, monitoramento da qualidade das águas de Minas Gerais. Convênio FEAM/MMA/SRH, versão *on line*: <http://www.feam.br>

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (2000) - Projeto Águas de Minas 2000, monitoramento da qualidade das águas de Minas Gerais. Convênio FEAM/MMA/SRH, versão *on line*: <http://www.feam.br>

FURRIELA, R. B. (2000) – Parecer: acesso das Organizações Não-Governamentais aos recursos do fundo estadual de recursos hídricos de São Paulo. *Instituto Socioambiental*. In: <http://www.socioambiental.org>.

GARCIA, G. J. (1982) – Sensoriamento remoto dos recursos hídricos. Cap. 9, p. 295-310. São Paulo. *Sensoriamento remoto: princípios e interpretações de imagens*

GORGULHO, S. (2000) – Lançada a Agenda 21 brasileira. In: *Folha do meio ambiente*. Ano 11. Edição 105. Junho/2000. Brasília/DF.

GOURNELLOS, T; VASSILOPOULOS, A.; EVELPIDOU, N. (1997) – Development of a GIS-based methodology to analyze geological, geomorphological and environmental data of the island of Zakynthos. In: International Congress of the IAEG, *Anais*. Amsterdam, Balkema, Rotterdam.

GRECCHI, R. C. & PEJON, O J. (1998) – Estudos geoambientais da região de Piracicaba (SP), focalizando o problema de erosão linear, com o auxílio do sistema de informação geográfica IDRISI. *VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão*.

GRECCHI, R. C. (1998) – Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba – SP, com auxílio de Geoprocessamento. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo* -

Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia. São Carlos – SP. 1332 p.

GUERRA, A. T. (1978) – Dicionário geológico e geomorfológico, 5ª ed. Fundação IBGE. Rio de Janeiro, 446 p.

HASENACK, H; WEBER, E. (1998) - Derivação de novas informações cadastrais para o planejamento urbano através de sistemas de informação geográfica. In: GIS Brasil 98 – IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, Anais. Curitiba/PR.. (<http://www.ecologia.ufrgs.br/idrisi>).

HORTON, R. E. (1945) - Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the geological Society of America*. v. 56, p. 275-370.

HOWARD, A. D. (1967) - Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *The american association of petroleum geologists bulletin*. v. 51, nº 11, p. 2246 - 2249. November, 1967.

HRASMA, M. (1998) – Engineering geology in urban development and regional planning. In: *8º International IAEG Congress. Balkema, Rotherdam*. p. 979 – 982.

INFANTI, N. Jr. (1976)–Geologia de Planejamento: escopo e metodologia. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1, ABGE, Rio de Janeiro, Anais...* Rio de Janeiro, v. 3, p. 373 – 382.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (2000) – In: <http://www.inpe.br>.

INSTITUTO AMBIENTAL VIDÁGUA (1999) – Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981. In: <http://home.techno.com.br/vidagua/leis/6938.htm>.

INTEGRA DA AGENDA 21 (2000) – Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. In: <http://www.mma.gov.br>.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (1976) – *Engineering geological maps – A guide to the preparation*. Paris. UNESCO, 1976. 79 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA (1971) – *Levantamento estereofotogramétrico topográfico regular*.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). Censo. Disponível em: www.ibge.gov.br

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1980) - Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico. Folha Santa Rita do Passa Quatro. Escala 1:50.000. São Paulo, Instituto Geológico, 1980.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1982) - Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico. Folha São João da Boa Vista. Escala 1:50.000. São Paulo, Instituto Geológico, 1982.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1983) - Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico. Folha Casa Branca. Escala 1:50.000. São Paulo, Instituto Geológico, 1983.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1985) - Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico. Folha Rio Tambaú. Escala 1:50.000. São Paulo, Instituto Geológico, 1985.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1986) - Mapa de geologia de superfície do Instituto Geológico. Folha Luiz Antônio. Escala 1:50.000. São Paulo, Instituto Geológico, 1986.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1996) – Diagnóstico do meio físico da média Bacia do Rio Piracicaba para fins de gestão ambiental. *Boletim do Instituto Geológico*, n. 13, 75 p. São Paulo.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1980) – Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente. São Paulo. *IPT-Relatório*: 28975, 3v.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - (1981). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*: escala 1:1.000.000. São Paulo. 2v. (IPT monografias 6).

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981a) – *Mapa geológico do estado de São Paulo*. IPT (Série Monografias, 6). 2v. Escala 1:500.000.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1997) – *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*. IPT. 2v. Escala 1:500.000.

JORGE, F.N.de; UEHARA, K. (1998) – Águas de superfície p. 101-109.. In: Geologia de Engenharia. São Paulo. *Associação Brasileira de Geologia de Engenharia*. 586 p.

KERTZMAN, F.F.; DINIZ, N.C. (1995) - As Abordagens de Solos Utilizadas na Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente; ABGE, IPT – Divisão de Geologia, Série Meio Ambiente*.

LANDIN, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. V. (coord.) – 1974 – *Projeto Caldas I*. Relatório Final. Mapas Geológicos das Folhas Caldas e Rio Capivari. Escala 1:50.000. Convênio DNPM/UNESP – Rio Claro 22p.

LANDIM, P. M. P. (2001) – Geologia quantitativa. Introdução a análise estatística de dados geológicos multivariados. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 93 p.

LANNA, A. E. (1994) *Instrumentos de gestão ambiental: métodos de gerenciamento de bacia hidrográfica*. Brasília: IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

LANGER, M.; HANISCH, J.; KOIRALA, A.; SHRESTHA, O. M.; KERNTKE, M.; JÄGER, S. (1997) – The geo-environmental map for the development of the Kathmandu, Nepal. IN: International Congress of the IAEG.

LANGEWEG, F. (1998) – The implementation of Agenda 21 “our common failure”? In: *The Science of the total environment*. 218 (1998). p. 227-238.

LAZZAROTTO, D. R. (2000) – Sensoriamento Remoto. In: <http://www.fatorgis.com.br>

LEOPOLD, L.B.; CLARKE, F.S.; HANSHAW, B.B.; BASLEY, J.R. (1971) - A procedure for evaluating environmental impact. *United States Geological Survey*; circ. 645. Washington, D.C. 13p

LIPORACI, S. R. (1994) - Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicados na cidade e parte do Município de Poços de Calda (MG) – escala: 1:25000 – visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico. 214p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LOBO, R. (2000) – Imagens de satélite de alta resolução. In: <http://www.fatorgis.com.br/artigos>

LOLLO, J. A de (1991) – Mapeamento geotécnico da folha de Leme-SP : utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. *Dissertação de Mestrado*: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

LOLLO, J. A de (1996) – O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. *Tese de doutorado*: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

LOLLO, J. A de (1998) – A técnica de avaliação do terreno como ferramenta para a geotecnia ambiental [CD-ROM]. In: Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, 2/Workshop de Geofísica Aplicada, 2 São Paulo : ABGE, 1998. Rio Claro (SP).

LOLLO, J. A. de (2000) O uso de redes neurais artificiais como mecanismo de identificação de *landforms*: princípios, metodologia e avaliação da eficácia. *Tese de Livre Docência: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita*.

LOMBARDO, M.A.; MACHADO, R.P.P. (1996) – Aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas nos estudos urbanos. In: *Revista do Departamento de Geografia*, v. 10. p. 5-11.

LOPES, M. (2000) – Congresso nacional aprova projeto da ANA. *Folha do meio ambiente*. Ano 11. Edição 105. Junho/2000. Brasília/DF. In <http://www.folhadomeioambiente.com.br/fma-105/capa105.htm>

LOPES, P. M. S. (2000) – Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias do Rio Passa Cinco e Rio Cabeça. Escala:1:50.000. Dissertação de Mestrado: Departamento de Geotecnia – EESC/USP. 2v.

LOPES, P.M.S.; PEJON, O.J. (2002) - Estudos dos Atributos do Meio Físico como Base para o Zoneamento Geoambiental das Bacias dos Rios Passa Cinco e Rio da Cabeça – São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, Ouro Preto, **Anais ...** CD-ROOM. 15p.

MACEDO, R. K. (1991) – A importância da avaliação ambiental. P. 11 – 26. In: *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar* (Sâmia Maria Tauk – coord.)

MARIANO, M. T. (1993) - Uma análise da participação da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos*. 144p.

MARTIN. L. (2000) – Imagens de satélites – Tendências de mercado. In: <http://www.fatorgis.com.br>.

MATULA, M. & LETKO, V. (1980) – Engineering geology in planing the metropolitan region of Bratislava. *Bulletin of IAEG. Paris, n. 3.* p. 7 – 14.

MEIRELES, C. F. S.; KONO, E. C.; PACHECO, M. R. P. S. & MODESTO, R. P. (1987) – Proposta metodológica para avaliação ambiental . *Ambiente. Revista CETESB. V. 1, nº 3.* p. 163-168.

MERICO, L. F. K. (1989) – Mapeamento geomorfológico e geotécnico como base para o planejamento do município de Brusque – SC. *Dissertação de mestrado: UNESP/Rio Claro/Geociências e Meio Ambiente*. 78 p.

MENEZES, D. B. (2000) – Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: aplicação na Bacia do Rio pardo. *Tese de doutorado: IGCE – UNESP/Rio Claro*. 235p.

MODENESI, M. C.; HIRUMA, S. T. (1999) – Geomorfologia do Estado de São Paulo, p. 33. In: *O Instituto Geológico em Geociências e Meio Ambiente*, 120 p.

MONOSOWSKI, E. (1989) – Políticas ambientais e desenvolvimento no Brasil. In: *Cadernos FUNDAP*, ano 9, nº 16, p. 15 – 24, jun. 1989.

MORALES, N. (1988) - Evolução lito-estrutural das rochas pré-cambrianas da região de São João da Boa Vista. Escala 1:50.000. Dissertação de mestrado: USP – IG. 156 p.

MULDER, E. F. J de (1994) – Geoscience for planning and management: na international perspective. In: *International Congress of the IAEG. 7, Amsterdam, 1994. Anais.* Amsterdam, Balkema/roterdam, p. 2337-2341.

NAVA, D. B.; SILVA, Jr. G. C. da & FERREIRA, A. M. M. (1991) – Levantamento geotécnico - ambiental da vertente sul dos morros do Corcovado e Sumaré. Serra da Carioca, Município do Rio de Janeiro. *In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo. Atas.* São Paulo, SBG/SP-RJ. p. 263-270.

NOVO, E. M. L. de M. (1989) – *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.* 307 p. Ed. Edgard Blucher Ltda. SP.

NUCLEBRÁS (1975) - Mapa geológico, tectônico e de drenagens do Planalto de Poços de Caldas. Escala 1:50.000.

OLENSCKI, R. (1994) – Geoprocessamento aplicado ao estudo da dinâmica ambiental da folha Jacupiranga – SP. *Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo - Escola Politécnica.*

OLIVEIRA, M. A. F. de; FRANCESCONI, R.; CORDEIRO, C. M.; INGLEZ, A. G.; OLIVEIRA, E. G.; SENA, C. A. S. (1983) – Geologia da porção paulista das quadriculas de Caconde e Guaxupé. *In: JORNADA DOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO.* Escala 1:50.000. *Anais...* Secr. Ind. Com. Ciência e Tecnol./Pró-minério, São Paulo, 1983.p. 171 – 188, 2 mapas.

OLIVEIRA, M. A. F. de; MORALES, N.; ZANARDO, A.; CARVALHO, S.G.; MANIAKAS, S. (1989) - Mapeamento geológico do quadrante noroeste da folha Caconde. Escala 1:25.000. Projeto Pró-Minério. UNESP-IGCE / Secr. Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. 169 p.

OLIVEIRA, A. M. dos S. (1991) – Geologia ambiental: o que importa são os problemas ambientais e os métodos que as geociências dispõe para resolvê-los. *In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo, 1991. Atas.* São Paulo, SBG/SP-RJ. p. 537-543.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I (1996) – Pedologia e geomorfologia. p 59-121. *In: Geomorfologia e Meio Ambiente.* Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 379 p.

PELOGGIA, A.U. G (1997) – Deve haver um método para a cartografia geotécnica? Discussão metodológica acerca da cartografia geotécnica em algumas de suas modalidades mais difundidas. *Revista Brasileira de Geociências, 27 (2): 199-206.* Junho de 1997.

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

PENTEADO, M. M. (1983) – *Fundamentos de Geomorfologia.* 3ª Edição. p. 149-154.

PEREIRA, JR. J. S. (2002) – Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável realizado em Johannesburgo, Africa do Sul. Relatório Especial. Consultoria Legislativa.

PFAFSTETTER, O. (1989) - Classificação de bacias hidrográficas. Manuscrito não publicado. Departamento Nacional de Obras de Saneamento.

PIRES NETO, A. G. (1991) - As abordagens sintético histórica e analítico dinâmica, uma proposição metodológica para o geomorfologia. São Paulo, 1991. Tese (doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. (1995) – Bacias Hidrográficas: Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Revista Ciência Hoje*. Vol. 19, nº 110. p. 40 a 45

PISANI, A. (1988) – Sensoriamento remoto por satélites aplicado a Bacias Hidrográficas. *Dissertação de Mestrado: Universidade de São Paulo - Escola Politécnica*. p. 54 – 76.

PONÇANO, W.L. *et al.* (1981) – Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. 2v. Texto explicativo e mapas.

PORTO, C. G. (1996) – Intemperismo em regiões tropicais. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 379 p.

PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G.; GREHS, S. A. (1974) – *Geologia ambiental ou de planejamento*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, Anais, v. 7, p. 273-289.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A. & FREITAS, C. G. L. de (1991). – A cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. São Paulo, IPT. In: *Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais*, p. 187 a 199.

PRANDINI, F.L; NAKAZAWA, V.A. & FREITAS, C.G.L. de; DINIZ, N. C. (1994) - Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. São Paulo, IPT. In: *5ª Apostila do curso de geologia aplicada ao meio ambiente*, p. 233 a 251.

PROCHNOW, M. C. R. (1990) – Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo. *Tese de doutorado: UNESP-Rio Claro - Instituto de Geociências e Ciências Exatas*.

PROJETO SADO (1997) – Conservação e Valorização de Sistemas Fluviais no Quadro do Ordenamento e Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas. Coordenador: Prof. Ilídio Moreira. In: <http://helios.cnig.pt/~fatimab/sado.html>

REVISTA FATOR GIS *on line* (2000) – <http://www.fatorgis.com>

RIVAS, V.; GONZALES, A; FISCHER, D. W. & CENDRERO, A (1994) – An approach to environmental assessment within the land – use planning process: Northern Spanish Experiences. In: *Journal of Environmental Planning and Management*. v. 37, n. 3, p. 305-322.

RODRIGUES, B. B. (1998) – Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia – SP – Escala 1:10.000. Tese de Mestrado: EESC/USP.

- RODRIGUES, J. M. C. (1967) – Desenvolvimento Integral de Bacias Hidrográficas. In: *Simpósio sobre Desenvolvimento Integral de Bacias Hidrográficas*. São Paulo – USP, 1967.
- RODRIGUES, M. (1990) – Introdução ao Geoprocessamento. In: *Geoprocessamento - Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. 23 a 25 de maio de 1990. p. 27 a 36.
- ROMERA, P. A. S (2000) – A educação ambiental como caminhada para uma cidadania plena. Revista Água e Energia Elétrica (fevereiro/2000). In: <http://www.dae.sp.gov.br>
- ROSS, J. L. S. (1996) – Geomorfologia aplicada aos EIA's – RIMA's. p.291-336. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Ed. Bertrand. Rio de Janeiro. 379 p.
- ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. (1997) - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia. Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia de Geotécnica-IPT/FAPESP.2v.
- ROSS, J.L. S.; DEL PETRE, M.E. (1998) – Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. In: *Revista do Departamento de Geografia*, n. 12, p. 89-121.
- ROCHA, C. L. (2000) – Uso racional da água. In: *Jornal O Estado de São Paulo* (22/03/00) – *Suplemento Agrícola. Caderno G*. p. 2.
- SALAZAR, JR O. (1996) - O uso dos sistemas de informações geográficas na cartografia geotécnica. In: 2º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e I Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente (1996 São Carlos-SP). *Anais...* São Carlos
- SALATI, E. (1996) – Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). São carlos, 199p. *Tese de Doutorado: Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo*.
- SARAIWA, R. M. (1995) - Mapeamento Geotécnico da folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (*Landforms*). Dissertação de Mestrado: EESC/USP, São Carlos, S.P, v. 1.
- SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H. E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. (1974) - Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG. V.1, p. 41-65.
- SCHUMM, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the geological Society of America*. v. 67, p. 597-646.
- SMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (1995a) - Macro Zoneamento das bacias dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande – questões sócio-ambientais regionais. São Paulo: SMA/SAA/SEP. 167 p.

SMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (1995b) - Macro Zoneamento das bacias dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande – regulamentação da Lei n. 7.641/91. São Paulo: SMA/SAA/SEP. v. 3, 65 p., mapas.

SMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (1998) – *Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo, parte II – Interior*. São Paulo. 32 p. il., mapas.

SMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (1997b) – *Cerrado: bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA/Documentos Ambientais. 113 p. (Série PROBIO/SP)

SETZER, J. (1966). *Atlas climático do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria de Agricultura.

SILVEIRA, L. L.L.DA (2002) - Elaboração da carta de suscetibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão - SP, escala 1:50.000. *Dissertação de Mestrado*: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

SILVA, W. S. da; FORNASARI FILHO, N. (1992) – Unidades de conservação ambiental e áreas correlatas no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT (IPT, Publicação, 1978).

SILVA, P. A. (1999) - Classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras segundo o método Pfafstetter, com uso de geoprocessamento. II Encontro das Águas. Montevideu - Uruguai

SILVEIRA, L. L. L da (2002) - Elaboração da carta de suscetibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão - SP, escala 1:50.000. São Carlos, 2002. *Dissertação de Mestrado*: Escola de Engenharia de São Carlos. 2 v.

SIGRH - SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2002)–Banco de dados hidrometeorológico. Versão *on line*: www.sigrh.sp.gov.br. Dados capturados em março de 2002.

SINGH, V.D. (1995) - Computer Models of Watershed Hydrology Boulder, *Water Resources Publications*.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. (1973) – Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973. Aracaju. *Anais...* Aracaju: SBG. V. 1, 243-256 p.

SOARES, P. C.; SINELLI, O. ;PENALVA, F.;WERNICK, E. ;SOUZA, A. ; CASTRO, P. R. M. (1973) - Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, SBG, Aracajú. *Anais...* v. 1, p. 209-228

SOARES, P. C. coord. (1976) – *Projeto Caldas II*. Relatório Final. Geologia das Quadrículas de Caldas e Ipuiúna. Escala 1:50.000. Convênio DNPM/UNESP – Rio Claro.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. (1976) - Lógica e sistemáticas na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. NOTÍCIAS GEOMORFOLÓGICAS. Campinas, 16 932) p. 71 – 104. Dezembro 1976.

STRAHLER, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of the American Geophysical Union*. v. 38, n.6, p. 913-920.

SOBREIRA, F. G. (1995) – Estudo geoambiental do Conselho de Sesimbra. Tese de doutorado: Departamento de geologia/Faculdade de Ciências/Universidade de Lisboa.

SOLOS – EMBRAPA (1999) – Sistema brasileiro de classificação de solos. In: <http://www.embrapa.br>.

TEIXEIRA, A *et. al.* (1991) – Sistemas de informação geográfica: revisão e comentários. In: *BOLETIM DE GEOGRAFIA TEORÉTICA*, 21 (41): 135-147.

TUCCI, C. E. M (2000) - Hidrologia : ciência e aplicação / [org] Carlos E. M. Tucci. 2. ed. Porto Alegre : Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 2000. 943 p.

TUNDISI, J. G. (1992) – Ecology and Development: perspectives for a better society. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Supl. 1, 64 – 1992.

UNESCO / IAEG (1976) – *Guia de preparação de cartas geotécnicas*. Unesco. Paris, 79p.

VAZ, J.C. (1996) – Legislação de uso e ocupação do solo. In: <http://federativo.bnds.gov.br/dicas/D77.htm>.

VAZ, J.C. (1997) - Geoprocessamento. In: <http://federativo.bnds.gov.br/dicas/D94.htm>.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. de (1993) – Zoneamento Geotécnico por Sensoriamento Remoto para estudos de planejamento do meio físico – Aplicação em expansão urbana. In: *VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Anais*. Curitiba, p. 155-162.

VIEIRA, A. da S. (1992) – Meio ambiente e desenvolvimento sustentável: fontes para compreensão do discurso político-ambiental do governo brasileiro. In: *Ciência da Informação*. vol. 21, no . 1, p. 7-13, jan/abr.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975) – *Hidrologia Aplicada*. Ed. Mc Graw –Hill do Brasil. Ltda. 245 p.

WEBER, E. J.; DUARTE, G. F; FRANK, M.; HOFF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. 1998. Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS. In: *GIS Brasil 98 – IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento*, Anais. Curitiba/PR. (<http://www.ecologia.ufrgs.br/idrisi>)

WINGE, M. *et. al.* 2001. Glossário Geológico Ilustrado. Publicado na Internet em <http://www.unb.br/ig/glossario/>.

WOLSKI, M. S. (1997) – Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso do Sistema de Informações Geográficas: uma aplicação à região do Médio Uruguai (RS). Florianópolis, 1997. 93 p. *Dissertação de Mestrado: Universidade de Santa Catarina/Departamento de Engenharia Civil.*

YASSUDA, E. R. (1989) – O gerenciamento de bacias hidrográficas. *Cadernos FUNDAP*, São Paulo, n.9, n.16, junho. p.46 - 53.

ZERNITZ, E. R. (1932) - Drainage patterns an their significance. *Journal of Geology*. Vol. 40. p. 498 -521.

ZUFFO, A. C. (1998) – Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos. São Carlos: Tese de Doutorado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Hidráulica e Saneamento.

ZUQUETTE, L. V. (1987) – Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos. *Tese de Doutorado: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos*, 3v.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. (1990) - Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. *Geociências*. Rio Claro, v.9, p.55 – 66.

ZUQUETTE, L. V. (1991) – Carta de risco da região de Ribeirão Preto (SP) – escala; 1:50.000. *In: Simposio de Geologia do Sudeste*, 2. Boletim de Resumos Sao Paulo : Sbg, 1991

ZUQUETTE, L. V. (1993) – Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração. *Tese de Livre Docência: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos*, 2 v.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O J.; GANDOLFI, N. G. & RODIGUES, J. E. (1997) – Mapeamento geotécnico: parte I – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. *Revista Geociências*. v. 16. n^o 2. p. 491-524.

ZUQUETTE, L. V. (1999) – Curso de riscos geológicos. Disciplina oferecida pelo departamento de Geotecnia – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. Outubro de 1999.