UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PIÇARRÃO, CAMPINAS – SP.**

Geól. SANDRA FERNADES DA SILVA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues

São Carlos – SP

2000

Aos meus pais, José Otacílio e Ireci ,
os dois grandes amores de minha vida.

“O mais importante na vida não é a situação em que estamos, mas a
direção para qual nos movemos”

(Oliver Wendell Holmes)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e a oportunidade diária de aprendizado e evolução.

Ao Prof. Dr José Eduardo Rodrigues pela amizade, orientação e estímulo.

A FAPESP pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) pela infra estrutura oferecida para o programa de pós-graduação, por meio do quadro de docentes e funcionários.

Aos professores Dr Nilson Gandolfi, Dr José Osni Pejon e Dr. Paulína Setti Riedel pelas sugestões, críticas e avaliações.

Ao geólogo Msc. Eduardo Goulart Collares por sua ajuda nos trabalhos de campo, assim como as discussões, os ensinamentos transmitidos e as sugestões feitas durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao engenheiro Herivelto pelos serviços de informática prestados.

Aos funcionários dos laboratórios do Departamento de Geotecnia pela ajuda nos trabalhos de campo.

Ao meu amigo Oscar dos Santos Neto, pela ajuda no campo e em todos os momentos que precisei.

As minhas amigas da sala de mapeamento Aline, Silvana, Marcinha e Martinha pela troca de conhecimentos, companheirismo e incentivo recebido durante este tempo.

As amigas Ana Paula, Kênia e Túlia, por sempre estarem presentes.

A Ana Carina Collares por sua preciosa amizade, compreensão e estímulo.

Ao meu amigo de todas as horas Paulo Maurício Lopes, por toda amizade, ajuda e companheirismo em todos estes anos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Ilustração esquemática das diferentes categorias de impacto ambiental (adaptado de TOMMASI, 1993).	09
Figura 2 -	Principais atividades que compõem um programa de recuperação (adaptado de BITAR & ORTEGA, 1998).	15
Figura 3 -	Possíveis interações provocadas nos recursos hídricos por atividades humanas (PIRES & SANTOS, 1995).	19
Figura 4 -	Limitações do suporte de desenvolvimento pelos fatores ambientais (PIRES & SANTOS, 1996).	20
Figura 5 -	Etapas de realização do gerenciamento de bacias hidrográficas, envolvendo análise integrada de recursos (adaptada de PIRES & SANTOS, 1995).	25
Figura 6 -	Abordagens distintas dos estudos de natureza geoambiental (SOBREIRA, 1995).	27
Figura 7 -	Fluxograma esquemático da metodologia apresentada por RIVAS <i>et al.</i> (1994).	28
Figura 8 -	Redução das unidades do geral para o específico em termos de informações homogêneas (FRANK, 1995).	34
Figura 9 -	Localização da área estudada.	40
Figura 10 -	Localização da Sub-bacia com relação ao município de Campinas.	40
Figura 11 -	Redes de Bacias Hidrográficas do Município de Campinas.	45
Figura 12 -	Sistema de drenagem da porção sudoeste do município de Campinas.	46
Figura 13 -	Mapa geológico do município de Campinas, reduzido e simplificado de IG (1993).	47
Figura 14 -	Unidades de relevo identificadas no município de Campinas (IG, 1993).	49
Figura 15 -	Sequência de procedimentos metodológicos empregados.	52
Figura 16 -	Mapa de Documentação da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	55
Figura 17 -	Modelo Digital do Terreno gerado pela interpolação de curvas de nível de bases topográficas 1:10.000.	57
Figura 18 -	Carta de Declividade da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	58
Figura 19 -	Mapa de Substrato Rochoso da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	60
Figura 20 -	Mapa de Materiais Inconsolidados da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	62
Figura 21 -	Mapa de Uso e Ocupação da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	70
Figura 22 -	Exemplo de área com taxa de ocupação por habitação média.	73
Figura 23 -	Tipo de uso do solo caracterizado por pastagem.	74
Figura 24 -	Exemplo de ocorrência de vegetação nativa.	75
Figura 25 -	Área de reflorestamento destinada a plantação de eucalipto.	75
Figura 26 -	Exemplo de área de solo exposto.	76
Figura 27 -	Amostra da rede de drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.	85
Figura 28 -	Rede de drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão do	94

	Piçarrão.	
Figura 29 -	Número de canais por ordem de ramificação.	95
Figura 30 -	Comprimento linear dos canais de drenagem por ordem de ramificação.	96
Figura 31 -	Algumas das principais atividades antrópicas registradas na sub-bacia hidrográfica.	102
Figura 32 -	Delimitação das microbacias de ordem 3.	130
Figura 33 -	Aumento em extensão areal da microbacia B3 ^a .	107
Figura 34 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ^a .	108
Figura 35 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ^B .	109
Figura 36 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ^C .	110
Figura 37 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ^E .	112
Figura 38 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ^F .	113
Figura 39 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ₃ .	118
Figura 40 -	Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3 ₆ .	120
Figura 41 -	Escalas de graus de alteração estabelecidas para área de estudo.	122
Figura 42 -	Segmentação da sub-bacia hidrográfica em faixas de degradação.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	A) Processos do Meio Físico (modificado de COLLARES, 1996).	05
Tabela 1 -	B) Atividade modificadoras do meio relacionadas aos processos tecnológicos (modificado de COLLARES, 1996).	06
Tabela 2 -	Exemplo de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993).	11
Tabela 3 -	Exemplificação de problemas gerados pela disposição inadequada de resíduos (CUNHA & CONSONI, 1995).	12
Tabela 4 -	Tipos de impactos gerados conforme o tipo de lavra (adaptado de COLLARES, 1996).	13
Tabela 5 -	Tipos de impactos gerados conforme o tipo de minério (adaptado de COLLARES, 1996).	13
Tabela 6 -	Medidas de recuperação do meio físico de acordo com o tipo de área degradada e o processo de degradação (BITAR & BRAGA, 1995).	16
Tabela 7 -	Atributos X Formas de obtenção de atributos fundamentais para o Zoneamento Geoambiental(modificado de ZUQUETTE <i>et al.</i> , 1998).	31
Tabela 8 -	Geoindicadores: influência natural X influência humana (ITC, 1996).	36
Tabela 9 -	Principais características das unidades de relevo identificadas para a área de estudo (modificado de IG, 1993).	50
Tabela 10 -	Classes de declividade adotadas para a área em estudo.	55
Tabela 11 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade II.	63
Tabela 12 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade III.	64
Tabela 13 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade IV.	65
Tabela 14 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade V.	65
Tabela 15 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade VII.	67
Tabela 16 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade VIII.	67
Tabela 17 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade IX.	68
Tabela 18 -	Perfil de alteração estabelecido para a Unidade X.	69
Tabela 19 -	Variáveis morfométricas relacionadas à morfologia da sub-bacia hidrográfica	88
Tabela 20 -	Variáveis morfométricas relacionadas à composição da rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica.	93
Tabela 21 -	Classes de texturas topográficas (modificado de FRANÇA, 1968).	97
Tabela 22 -	A) Quadro resumido das alterações registradas nas microbacias comuns .	104
Tabela 22 -	B) Quadro resumido das alterações registradas nas microbacias não comuns.	105
Tabela 23 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _A .	106
Tabela 24 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _B .	109
Tabela 25 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _C .	110
Tabela 26 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _D .	111
Tabela 27 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _E .	112
Tabela 28 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _F .	113
Tabela 29 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _G .	114
Tabela 30 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _H .	115

Tabela 31 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _I .	115
Tabela 32 -	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _J .	116
Tabela 33	Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3 _K .	117

RESUMO

SILVA, S.F. *Avaliação das Alterações Ambientais na Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, Campinas-SP*. São Carlos, 2000.2v. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho consiste no estudo de uma bacia hidrográfica onde se insere parte da área urbana de Campinas e tem como objetivo a aplicação de uma proposta metodológica que visa avaliar e determinar as alterações ambientais nela registradas, correlacionando-as às atividades antrópicas desenvolvidas em um período de 23 anos.

A principal ferramenta utilizada para a caracterização e avaliação ambiental da área foi a análise morfométrica da rede de drenagem, juntamente com a determinação dos diferentes tipos de atividades antrópicas desenvolvidos.

O meio utilizado para estabelecer a relação entre as alterações registradas e as atividades antrópicas por elas responsáveis foi a análise detalhada das bacias de ordem 3.

Para o estabelecimento dos níveis de alteração da área e foram considerados os tipos e a intensidade das alterações sofridas pela rede de drenagem que permitiram a definição de três setores com características de alteração ambiental bem distintas..

Foram gerados, ainda, como documentos cartográficos: o mapa de documentação, a carta de declividade, o mapa de substrato rochoso, o mapa de materiais inconsolidados e o mapa de uso e ocupação.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica – Alterações Ambientais – Análise Morfométrica – Rede de Drenagem – Atividades Antrópicas.

ABSTRACT

SILVA, S.F. *Evaluation of the environmental alterations in the “Piçarrão” River hydrographic basin, Campinas – SP - Brazil*. São Carlos, 2000.2v. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work consists in the study of a hydrographic basin that covers part of the urban area of Campinas city. It's intent was apply a methodological proposal for assessing and evaluating basin's environmental alteration, correlating these whit the human actives developed through a period of 23 years.

The main tool used in the environmental characterization and evaluation of the area was the morphometric analysis of the drainage network along with the determination of the different sorts of human actives.

The relation between the human actives and the transformation caused by them was stablished through a detailed analysis of 3rd order basins.

The type and intensity of the transformations in the drainage network were used in the determination of alteration levels, which permitted the definitions of three distinct areas, concerning the environmental changes characteristics.

Also, the following cartographic documents were produced: documentation map, declivity map, geologic map, consolidated materials map and land use map.

KEY-WORDS: Hydrographic Basin – Enviromental Alterations – Morphometric Analysis – Human Actives

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente está sujeito, principalmente nas últimas décadas, a alterações constantes e significativas, em grande parte devido à interação de atividades humanas com o meio físico, em especial a ocupação e o crescimento desordenado de centros urbanos. Estas atividades levam, muitas vezes, ao comprometimento e até à inviabilização de uso de recursos do meio físico.

Os recursos hídricos caracterizam-se como os mais facilmente afetados pelo processo de crescimento e ocupação desordenada de áreas, seja pelo comprometimento de sua qualidade e/ou quantidade, ou seja pelo comprometimento de outras características, como mudança de cursos de drenagem ou diminuição de canais de drenagem. Isto leva a um quadro preocupante, pois os recursos hídricos apresentam vital importância para os seres humanos e para o meio ambiente como um todo.

Uma forma de estudar as alterações ambientais superficiais ocorridas em uma área, que vem ultimamente sendo apresentada na literatura e com grande aceitação no meio técnico, é a que propõe a adoção de bacias hidrográficas como unidade física de avaliação. Tal fato justifica-se, principalmente, por estas unidades apresentarem sistemas ecológicos e hidrológicos que interagem, formando uma unidade física bem caracterizada (PIRES & SANTOS, 1995), e também por não haver qualquer área da Terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica (PROCHNOW, 1990).

O comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo é função de dois grupos de fatores: os de ordem natural (geomorfologia, geologia, pedologia, topografia, etc.), os quais são responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental e os antrópicos, os quais compreendem as atividades humanas que influenciam de forma direta e indireta o funcionamento das bacias, podendo deflagrar e/ou acelerar processos de degradação do meio físico (PROCHNOW, 1990).

Uma boa maneira de avaliar e caracterizar as alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica é por meio de estudos comparativos das modificações ocorridas no terreno, em períodos distintos.

A realização desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de desenvolvimento de estudos que avaliem as alterações do meio físico, de forma a abordar e correlacionar as atividades passíveis de geração de impactos, relacionadas às interferências do homem neste meio. Outro aspecto importante é o fato da área eleita para o desenvolvimento da pesquisa constituir uma unidade de estudo ambiental (sub-bacia hidrográfica) e também por se tratar de uma região que apresenta grande desenvolvimento econômico e alta taxa de urbanização no Estado de São Paulo.

1.1 - OBJETIVOS

A presente pesquisa se propõe a aplicar e verificar a proposta metodológica desenvolvida por COLLARES (no prelo), para fins de avaliação ambiental de bacias hidrográficas, para o caso particular de uma microbacia (sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão).

A proposta de COLLARES (no prelo) objetiva, em linhas gerais realizar o zoneamento de bacias hidrográficas em termos de níveis de alterações ambientais, por meio de observações e levantamento de atributos do meio físico.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram estabelecidos como objetivos:

- verificar a adequabilidade do uso de bacias hidrográficas como unidades de estudo ambiental,
- determinação das modificações ocorridas no terreno , por meio da caracterização morfométrica da rede de drenagem,
- definição de quais atributos referentes a rede de drenagem melhor caracterizam as alterações ocorridas no terreno,
- determinação da influência das atividades antrópicas (características de uso e ocupação do solo) nas alterações registradas.
- Definição de critérios de análise que possibilitem verificar a relação entre as alterações sofridas e o tipo de atividade antrópica desenvolvida, e
- Definição de meios para o estabelecimento de níveis de alteração

Além destes objetivos principais, foram estabelecidos como objetivos mais específicos:

- utilização de programas computacionais específicos (ENVI® e AutoCAD Map®) para tratamento de imagens, com a finalidade de verificar sua funcionalidade;
- utilização de programas que possibilitassem maior rapidez e precisão no processamento de informações levantadas, além do emprego de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no processo de elaboração de mapas.

LISTA DE SÍMBOLOS

- A** - Área da Bacia
- CM** - Coeficiente de Manutenção
- Ct** - Comprimento Total dos Canais de Drenagem
- Ci** - Comprimento dos Canais de Drenagem por Ordem
- Dd** - Densidade de Drenagem
- Dh** - Densidade Hidrográfica
- Hm** - Amplitude Altimétrica Máxima da Bacia
- L** - Maior Comprimento da Bacia
- Lm** - Largura Média da Bacia
- Lmi** - Comprimento Médio dos canais de Determinada Ordem
- Lt** - Comprimento dos Rios da Bacia
- Li** - Comprimento dos canais de drenagem por ordem
- Nt** - Número Total dos Canais de Drenagem
- Ni** - Número dos Canais de Drenagem por Ordem
- P** - Perímetro da Bacia
- Rb** - Razão de Bifurcação dos Canais de Drenagem
- Rr** - Relação de Relevo
- Rlm** - Relação de Comprimento Médio das Drenagens
- Tt** - Textura Topográfica
- $\rho_{d_{nat}}$** - Massa Específica Seca de Campo
- ρ_s** - Massa Específica dos Sólidos
- e** - Índice de Vazios

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O MEIO AMBIENTE

Compreender o significado do termo “meio ambiente”, é de suma importância em estudos ambientais que enfocam questões referentes à degradação ambiental.

Diversas são as definições utilizadas para o termo meio ambiente, podendo ser destacadas as seguintes:

“O meio ambiente consiste na interação de componentes abióticos (rochas, ar e água), bióticos (vegetal e animal) e sociais e econômicos (humanos), considerados, respectivamente, em meio físico, biótico e sócioeconômico ou antrópico (FORNASARI FILHO & BITAR, 1995).”

“O Meio ambiente consiste em um determinado espaço, onde ocorre a interação entre os componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (águas, rocha e ar) e bióticos-abióticos (solo) (ABNT, 1989).”

A interação entre os meios e seus diversos componentes se processa por meio de fluxos de energia e matéria, estabelecendo uma dinâmica no meio ambiente, a qual tende a impor controles e modificações. Essas interações condicionam a evolução do meio e configuram os processos do ambiente.

De acordo com FORNASARI FILHO & BITAR (1995), os processos do ambiente podem ser divididos em:

- Processos do meio físico – decorrem de interações com predominância de componentes abióticos e referem-se ao desenvolvimento de sucessões de fenômenos potencializados pela interação de componentes materiais e tipos de energia, podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos e biológicos (fauna e flora).
- Processos tecnológicos – relacionam-se às interferências do homem no meio ambiente, sendo responsáveis pelas atividades modificadoras do meio ambiente.

As Tabelas 1A e 1B apresentam os processos considerados do meio físico e atividades modificadoras do meio, relacionadas aos processos tecnológicos.

Tabela 1 – A) Processos do Meio Físico (modificado de COLLARES, 1996).

A) PROCESSOS DO MEIO FÍSICO	
Carstificação	Expansão de solo ou rocha
Circulação de água no mar	Interações físico-químicas na água, solo e rocha
Circulação de partículas e gases na atmosfera	Movimentação das águas de sub-superfície
Corrida de massa	Movimento de bloco
Deposição de sedimentos ou partículas	Potencialização e desencadeamento de sismos
Erosão eólica	Processos pedogenéticos
Erosão pela água	Queda de detritos
Escoamento das águas em superfície	Rastejo de solo
Escorregamento	Subsidência

Tabela 1 –B) Atividades modificadoras do meio relacionadas aos processos tecnológicos (modificado de COLLARES, 1996).

B) ATIVIDADES MODIFICADORAS DO MEIO AMBIENTE	
Aeroporto	Irrigação
Agroindústria	Linha de transmissão
Aterro sanitário	Mineração
Barragens	Porto
Canal e retificação de cursos d'água	Projeto urbanístico
Dutovia	Unidade industrial
Estrada de rodagem	Usina termoeletrica
Ferrovia	

As mudanças impostas ao meio ambiente decorrentes da ação dos processos do meio físico ou dos processos tecnológicos caracterizam alterações ambientais. Tais alterações podem ser qualificadas e quantificadas, sendo ou não favoráveis ao ecossistema e à sociedade humana (TOMMASI, 1994).

2.1.2 – Processo de Avaliação Ambiental

O processo de avaliação ambiental de uma região permite identificar as potencialidades do meio quanto ao uso e ocupação, suas vulnerabilidades e seu desempenho futuro, além de orientar quanto as decisões relacionadas a sua preservação, conservação e desenvolvimento (MACEDO, 1995). Para o autor, um modelo de avaliação ambiental serve como ferramenta para avaliar as transformações ambientais de qualquer natureza, devendo apresentar três dimensões distintas e complementares:

- Relativas ao meio ambiente;
- Relativas às atividades transformadoras; e
- Relativas a ambos.

Nos modelos relativos ao ambiente são considerados não só a qualidade ambiental de um ecossistema, a qualidade de vida (específica do homem), os indicadores ambientais e o meio ambiente, como também suas compartimentações, sua representação e suas relações ambientais (troca de energia entre os fatores ambientais que constituem um ecossistema).

Nos modelos relativos às atividades transformadoras, considera-se quaisquer processos, oriundos ou não da ação humana, capazes de alterar um ecossistema, em qualquer um de seus níveis. Esses processos são denominados de fator de ameaça (quando causam adversidades ambientais, geram impactos negativos) e fator de oportunidade (quando causam benefício, geram impactos positivos).

Nos modelos relativos a ambos (ambiente e atividades transformadoras), considera-se a implementação e a operação de uma atividade transformadora e as modificações na ordem e na complexidade dos ecossistemas susceptíveis à sua presença direta ou indireta.

MACEDO (1995) considera que o modelo de avaliação ambiental pode ser abordado de duas maneiras:

- Avaliação estrutural: busca aferir e comparar os impactos ambientais decorrentes das atividades transformadoras distintas e suas relações ambientais em um mesmo intervalo de tempo, numa dada região;
- Avaliação temporal: afere e compara os impactos ambientais referentes a dois cenários, atual e tendencial, com a mesma estrutura ambiental, em instantes distintos.

2.2 – IMPACTO E DEGRADAÇÃO

O meio ambiente encontra-se sujeito a constantes alterações. Estas alterações podem ser, segundo FORNASARI FILHO (1992),

resultantes dos processos de alteração predominantemente de componentes abióticos, gerando modificações no meio, denominadas de processos do meio físico, como terremotos e atividades vulcânicas; ou podem resultar de atividades desenvolvidas pelo homem, gerando modificações denominadas de processo tecnológicos, como ocupação do meio, cultivo, extração, manufatura, entre outras atividades.

Há também um terceiro processo gerado pela interação conjunta dos dois processos anteriormente citados que pode levar a modificações do meio ambiente. Neste, as atividades humanas caracterizam-se como potencializadoras do desenvolvimento de fenômenos do meio físico, como enchentes, aceleração de processos erosivos, escorregamentos e assoreamentos (BITAR, 1995).

As alterações, às quais o meio ambiente está sujeito, são denominadas de alterações ambientais (COLLARES, 1996). Estas alterações irão caracterizar impacto ambiental, quando as mesmas forem consideradas significativas.

DUINKER & BEALAND (1989) utilizam os seguintes parâmetros para determinação e avaliação da significância das alterações ambientais geradas:

- a importância dos atributos ambientais a serem alterados;
- a distribuição das alterações no tempo e no espaço;
- a magnitude das alterações, e;
- a confiabilidade das alterações previstas e medidas.

Se uma alteração do meio físico é caracterizada como significativa, ela pode ser classificada como uma ação de impacto ambiental e, de acordo com TOMMASI (1994), esta pode ser classificada, ainda, em diferentes categorias (Figura 1).

Figura 1 – Ilustração esquemática das diferentes categorias de impacto ambiental (adaptado de TOMMASI, 1994).

Dentre as diversas categorias acima apresentadas , o impacto negativo é o que pode gerar a degradação ambiental, pois tem como resultado um dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental , como por exemplo o lançamento de esgotos não tratados em um lago. Isso leva à redução ou ao comprometimento da capacidade produtiva dos recursos ambientais (COLLARES, 1996).

2.2.1 – Atividades Geradoras de Impacto

As principais alterações registradas no meio ambiente são, de uma maneira geral, originadas ou potencializadas por atividades humanas. Estas atividades alteram propriedades ou características do meio físico e podem interferir em usos preexistentes de um determinado ambiente (FORNASSARI FILHO, 1992).

Como principais atividades modificadoras do meio podem ser citadas:

- as atividades agro-pecuárias e agro-industriais;
- a disposição de resíduos sólidos de forma inadequada;
- as atividades de mineração, e;
- a ocupação humana.

2.2.1.1 – Atividades Agro-pecuárias e Agro-industriais

Essas atividades acarretam, principalmente, a erosão das terras cultivadas e a poluição de aquíferos, pelo uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, e o lançamento de efluentes de animais (DOYLE, 1991; SEAGER *et al.*, 1992). Além destas, existem também as consequências secundárias, como o desmatamento e perda de florestas gerados pelo processo de abertura de clareiras e criação de animais; a perda e desperdício de água utilizada para irrigação de terras, e a diminuição de nutrientes do solo, pelo uso excessivo deste recurso (CORSON, 1993).

A Tabela 2 exemplifica melhor os diversos efeitos que as praticas agrícolas podem causar ao meio ambiente.

Tabela 2 – Exemplos de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993).

Práticas Agrícolas	Solo	Recurso Afetado		Flora e Fauna	Outros (ar, paisagem, produtos agrícolas)
		Água Subterrânea	Água Superficial		
Desenvol. da Terra: programas de consolidação da Terra	Direção inadequada levando à degradação do solo	Outra direção da água influenciado		Perda de espécies	Perdas no ecossistema, perda da diversidade biológica
Irrigação, drenagem	Sais em excesso, represamento de água	Perda da qualidade, fornecimento de água potável afetado	Degradação do solo, sedimentação, poluição da água com partículas de solo	Ressecamento de elementos naturais afetando o ecossistema dos rios	Degradação da terra se a atividade não for apropriada à localidade
Lavoura	Erosão causada pelo vento e/ou pela água				
Mecanização equipamentos grandes ou pesados	Compactação do solo, erosão do solo				Gases com a combustão, barulho
Uso de Fertilizantes:	- nitrogênio - fosfato	Acúmulo de metais pesados (Cd)	Lixiviação do nitrato afetando a água	Escoamento, lixiviação ou degradação levando à eutrofização	Efeitos sobre a microflora do solo
	- esterco, adubo animal	Acúmulo de fosfato de cobre (esterco de porco)	Nitrato, fosfato – através do uso excessivo de esterco	Eutrofização levando a diminuição do oxigênio	Mau cheiro, amônia
	- adubo com matéria de esgoto, composto	Acúmulo de metais pesados contaminadores			Resíduos
	Aplicação de pesticida	Acúmulo de pesticidas e produtos degradantes	Lixiviação de resíduos de pesticidas móveis e de produtos degradantes	Afeta a microflora do solo; envenenamento; resistência de algumas ervas daninhas	Evaporação; acúmulo pela vaporização, resíduos

2.2.1.2 – Disposição de Resíduos Sólidos

Essa atividade é responsável tanto por problemas de contaminação das águas subterrâneas e superficiais como pela aceleração de processo do meio físico, como escorregamentos, assoreamentos e erosões (CUNHA & CONSONI, 1995). Envolvem ainda outros problemas como impacto visual e estético, doenças em

animais e população, acúmulo de produtos não biodegradáveis e mal cheiro, que contribuem para degradação (CAMPBELL, 1993).

A Tabela 3 apresenta os tipos de problemas gerados devido à disposição inadequada de rejeitos.

Tabela 3 – Exemplificação de problemas gerados pela disposição inadequada de resíduos (CUNHA & CONSONI, 1995).

TIPO	ORIGEM	CAUSAS
Contaminação das águas subterrâneas	- falha na impermeabilização de base (aterro/lagoa de tratamento de chorume)	-impermeabilização(solo/manta) incompatível com os líquidos percolados
	- recalques (aterro/lagoa de tratamento de chorume)	- má compactação - solo natural com propriedades inadequadas - recalque devido às alterações (carga aumento da umidade, agressão ao solo)
	- elevação do nível d'água acima da base do aterro	- dados insuficientes (nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc.)
Potencialização de processos do meio físico	- escorregamentos e erosão	- cortes em altos ângulos nas encostas - cortes contra a foliação ou fraturamentos - alterações na vegetação marginal - deficiência de compactação dos aterros e resíduos dispostos
	- assoreamentos	- erosão dos cortes (solo de fácil alteração/instabilização) - carreamentos devido à deficiência na drenagem superficial - desvegetação/alterações na áreas marginais

2.2.1.3 – Atividades de Mineração

As atividades de mineração provocam intervenções no meio ambiente, que geram impactos ora positivos e benéficos, ora negativos e prejudiciais, tanto à saúde do homem quanto à economia, além de alterar a cadeia ecológica no local do empreendimento (SILVA, 1988).

MASCARENHAS (1989) destaca como principais fatores que influenciam na natureza e na extensão dos impactos gerados por

atividades de mineração: o método de lavra e o tipo de minério (Tabela 4 e 5).

Tabela 4 – Tipos de impactos gerados conforme o tipo de lavra (adaptado de COLLARES, 1996).

Tipo de Lavra	Impacto Gerado
Céu aberto	Produção de maior impacto – grande quantidade de estéril, poeira, ruído e poluição das águas
Subterrânea	Produção de menor impacto – o estéril pode ser jogado nas próprias galerias abandonadas, os efluentes líquidos são pontuais e a poeira os ruídos e as vibrações são menores
Dragagem	Potencialmente poluidora – provoca turbidez nos rios e áreas vizinhas e gera também poluição química, devido a utilização de mercúrio e cianeto no beneficiamento do minério

Tabela 5 - Tipos de impactos gerados conforme o tipo de minério (adaptado de COLLARES, 1996).

Tipo de Minério	Impacto Gerado
Minérios utilizados na construção civil	Causam problemas na ocasião da detonação e britagem, acarretando poluição devido ao pó, ruído e vibração
Metálicos	Liberam rejeitos na forma de lama fina, contaminada com reagentes químicos e orgânicos. Liberam também SO ₂ atmosférico, provocando chuvas ácidas
Ferrosos	Liberam grandes quantidades de estéril, geram poluição pelo pó, ruídos e vibrações
Carvão	Provocam poluição no ar e na água (quando a céu aberto) Liberam efluentes, causam subsidência e podem provocar combustão (quando subterrânea)

SILVA (1988) acrescenta a estes fatores o tamanho da operação, que pode ser considerada pequena, quando movimenta 100m³/dia de material; ou grande, quando envolve desmonte da ordem de várias toneladas/dia. Outro fator, também destacado por SILVA (*op. cit.*), é a localização do empreendimento, pois envolve a consideração da densidade populacional (nas proximidades da lavra), da topografia, do clima da região além de fatores sócioeconômicos.

2.2.1.4 – Ocupação Humana

A ocupação humana constitui um fator decisivo de incremento de processos geradores de impactos como erosão, assoreamento e escorregamento. A ocorrência destes processos é induzida por meio de atividades como o desmatamento, cultivo de terra, construção de obras e criação ou expansão de cidades (SALOMÃO & IWASA, 1995).

Conforme COLLARES (1996), uma das principais consequências da erosão, além da perda de terrenos, é o assoreamento que ocorre nos cursos d'água e reservatórios. O principal impacto provocado pelo assoreamento é o desequilíbrio das condições hidráulicas, gerando enchentes, perda de capacidade de armazenamento d'água, incremento de poluente e o prejuízo no abastecimento e produção de energia.

2.2.2 – Degradação Ambiental e Recuperação de Áreas Degradadas

O termo degradação ambiental é utilizado para qualificar os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.(BITAR & BRAGA, 1995).

Uma área é considerada degradada quando parte do meio apresenta situações de degradação geradas por tipos diversos de intervenção no meio físico.

A recomposição de áreas degradadas pode ser realizada por três processos (BOX, 1976, *apud* ABNT, 1989):

- Restauração: quando as condições do local são exatamente iguais àsquelas anteriores a intervenção;
- Recuperação: quando as condições do local situam-se próximo às condições anteriores a intervenção; e

- Reabilitação: quando há reaproveitamento da área para outra finalidade, de acordo com as ocupações circunvizinhas.

Para BITAR & ORTEGA (1998), o conceito de recuperação incorpora o de reabilitação, prevalecendo duas perspectivas básicas: uma referente à execução articulada de medidas que assegurem a estabilidade do ambiente a curto prazo e outra, vinculada a um eventual projeto de uso futuro para a área, de médio a longo prazo, agregando o conceito de sustentabilidade ambiental.

O objetivo da recuperação é o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (BITAR & BRAGA, 1995).

A Figura 2 apresenta as principais atividades que compõem um programa de recuperação.

Figura 2 – Principais atividades que compõem um programa de recuperação (adaptado de BITAR & ORTEGA, 1998).

A recuperação do meio físico degradado é feita de acordo com o tipo de atividade que ela requer e as tecnologias aplicadas para a estabilização do meio são três: 1) técnicas de revegetação, 2) tecnologias geotécnicas e 3) tecnologia de remediação (BITAR & BRAGA, 1995).

A Tabela 6 apresenta diferentes tipos de medidas de recuperação do meio físico.

Tabela 6 – Medidas de recuperação do meio físico de acordo com o tipo de área degradada e com o processo de degradação (BITAR & BRAGA, 1995).

Tipo de Área Degradada	Principais Processos de Degradação (Meio Físico)	Algumas Medidas Corretivas (Meio Físico)
Mineração abandonada em regiões urbanas	<ul style="list-style-type: none"> - escoamento das águas superficiais - erosão por sulcos e ravinas - escorregamentos - deposição de sedimentos e partículas 	<ul style="list-style-type: none"> - revegetação - captação e condução das águas superficiais - estabilização de taludes e blocos
Depósitos de resíduos industriais	<ul style="list-style-type: none"> - interação físico-química no solo (poluição do solo) - escoamento das águas superficiais - movimentação das águas subsuperficiais 	<ul style="list-style-type: none"> - prospecção do depósito - remoção total ou parcial, transporte e disposição dos resíduos - tratamento “in situ” do solo - descontaminação ou remediação do solo
Ocupação habitacional de encostas em situação de risco	<ul style="list-style-type: none"> - escorregamentos - escoamento das águas em superfície 	<ul style="list-style-type: none"> - captação e condução das águas superficiais - estabilização das encostas (com ou sem estruturas de contenção) - revegetação
Boçorocas urbanas ou rurais	<ul style="list-style-type: none"> - erosão por boçorocas - movimentação das águas de subsuperfície 	<ul style="list-style-type: none"> - controle do uso e ocupação - captação e condução das águas superficiais - drenagem das águas de sub-superfície/fundo - estabilização dos taludes da boçoroca ou aterramento
Ocupação agrícola irrigada	<ul style="list-style-type: none"> - adensamento e compactação do solo - acidificação do solo por lixiviação 	<ul style="list-style-type: none"> - controle da irrigação - aragem profunda do solo - correção da acidez do solo
Cursos e corpos d'água assoreados	<ul style="list-style-type: none"> - deposição de sedimentos e partículas - enchentes e inundações 	<ul style="list-style-type: none"> - controle da erosão a montante - dragagem dos sedimentos - obras hidráulicas

2.3 – BACIAS HIDROGRÁFICAS E ESTUDOS AMBIENTAIS

Para SILVEIRA (1993), uma bacia hidrográfica constitui uma área de captação natural de água precipitada, onde os escoamentos convergem para um único ponto: Apresenta como constituintes básicos o conjunto de vertentes e as redes de drenagem, formadas pela confluência dos cursos d'água.

As bacias hidrográficas podem ser consideradas, em um enfoque sistêmico, como um sistema aberto, sustentado por um equilíbrio dinâmico. O *input* de energia deste sistema é constituído, principalmente, pelo clima gerando o transporte de água e sedimentos, tanto no interior do sistema como nas vertentes, canais e abaixo da superfície. O *output* natural da bacia hidrográfica é caracterizado pela evapotranspiração e pela vazão de água e sedimentos pela foz da bacia (WALLING & GREGORY, 1973).

De acordo com TUNDISI (1991), o conhecimento dos *inputs* de uma bacia hidrográfica, as medidas quantitativas de fonte poluidoras (pontuais ou não) e o desenvolvimento integrado do ecossistema terrestre constituem um processo complexo, mas necessário para resolver os problemas ecológicos dos recursos hídricos. Para que se melhore o conhecimento ecológico, no sentido de se promover uma política ambiental adequada, o sistema aquático tem que ser considerado como receptor do desenvolvimento e usos da bacia hidrográfica, ou seja, o sistema aquático pode ser usado como unidade fundamental para o planejamento regional.

PROCHNOW (1990) destaca que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento tem aceitação internacional. Tal fato justifica-se não apenas porque a bacia constitui uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração como da finalidade de seus elementos, mas também porque não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre à uma bacia hidrográfica.

Para LAZLO (1986, *apud* SALATI, 1996), planejar uma bacia hidrográfica significa estruturar um conjunto de procedimentos, os quais devem ser capazes de assegurar um uso ambiental correto dos recursos naturais, objetivando:

- Promover o desenvolvimento sustentado da bacia;
- Melhorar a qualidade de vida das populações, e;
- Garantir a construção e a preservação ambiental.

Dentro do processo de planejamento de bacias hidrográficas, VLASCHOS (1982 *apud* SALATI, 1996) salienta a importância da avaliação de impactos ambientais, como uma das mais importantes etapas de planejamento. Para VLASCHOS (*op. cit.*), tais avaliações constituem um processo de previsão, destinado tanto à avaliação de um futuro melhor como também à garantia da sobrevivência do homem sobre a Terra.

PIRES & SANTOS (1995) ressaltam que a importância das bacias, como unidade de planejamento nos estudos relacionados a impactos ambientais, é devida ao valor da água como um bem mineral e, principalmente, pelo atual estágio de degradação dos recursos hídricos provocados, direta ou indiretamente, por atividades decorrentes da ocupação humana (Figura 3).

Figura 3 – Possíveis interações provocadas nos recursos hídricos por atividades humanas (PIRES & SANTOS, 1995).

A Figura 3 exemplifica que qualquer uso do solo em uma bacia de drenagem pode ser prejudicial aos recursos hídricos, não importando o grau de utilização ou dependência direta da água.

Para SALATI (1996), o planejamento regional de bacias hidrográficas, também almeja alcançar um desenvolvimento espacialmente equilibrado, de maneira a criar ligações efetivas entre áreas urbanas e rurais.

Portanto, o gerenciamento e o planejamento de bacias hidrográficas deve incorporar todos os recursos ambientais da área de drenagem, e não apenas o hídrico. A abordagem adotada deve integrar os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com maior ênfase nos primeiros, pois a capacidade ambiental de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do

qual todos os outros aspectos serão inevitavelmente afetados (PIRES & SANTOS, 1995) (Figura 4).

Figura 4 – Limitações do suporte de desenvolvimento pelos fatores ambientais (PIRES & SANTOS, 1996).

2.3.1 – Gestão Ambiental

De acordo com CHADWICK (1971) e LEE (1975), o processo de gestão ambiental deve ser aplicado à etapa seguinte ao processo de planejamento. O processo de gestão é compartimentado em cinco etapas distintas, as quais são:

- Identificação e descrição do sistema;
- Definição dos objetivos com base nos problemas atuais e futuros, além de suas inter-relações;

- Geração de soluções que satisfaçam os objetivos sem violar as restrições dos sistemas;
- Apresentação de soluções adequadas; e
- Execução e controle.

O processo de gestão ambiental pode ser entendido como uma sequência de atividades como condução, direção e controle, as quais são desenvolvidas por órgãos gestores (federais, estaduais e municipais), por meio de instrumentos que incluem medidas econômicas, regulamentos e normalizações, investimentos, requisitos judiciais e inter-institucionais.

As atividades de gestão resultam na recuperação e manutenção de ecossistemas, de maneira a maximizar a recuperação pelo homem dos recursos naturais, assegurando desta forma uma produtividade prolongada.

Para LANNA(1993) a gestão ambiental integra os seguintes princípios:

- Política ambiental: - conjunto de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e ou governamentais, relacionados a regulamentação ou modificação no uso, controle, proteção e conservação do ambiente.
- Planejamento ambiental – processo organizado de obtenção de informações, reflexão sobre problemas e potencialidades de uma região, definição de metas, objetivos e estratégias de ação, projetos e atividades, bem como a definição do sistema de monitoramento e avaliação a serem utilizados. Este processo visa a adequação do uso, controle e proteção do ambiente às aspirações sociais e/ou governamentais, expressa em uma política ambiental. O zoneamento ambiental, o zoneamento ecológico – econômico e a avaliação de impactos ambientais são tidos como instrumentos do planejamento ambiental.

- Gerenciamento ambiental – conjunto de ações destinado a regular o uso, controle, proteção e conservação do ambiente, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental.

Segundo AGUIAR (1994), o termo “Gestão Ambiental” está relacionado à incorporação da dimensão ambiental no planejamento e no processo de tomada de decisão, criando uma ligação com o plano de ação do planejamento de desenvolvimento ambiental.

2.4 – FORMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS DEGRADADAS

2.4.1 – Gerenciamento de Bacias Hidrográficas

O gerenciamento de bacias é um processo que, segundo LANA (1993), engloba uma negociação social fundamentada em conhecimentos científicos e tecnológicos e visa compatibilizar as demandas e as oportunidades de desenvolvimento da sociedade, de acordo com a capacidade de suporte do ambiente, considerando horizontes de planejamento de longo prazo.

O conceito de gerenciamento de bacias engloba um vasto leque de atividades, que podem ser agrupadas em três categorias genéricas (FRANK, 1995):

- Recuperação, conservação, proteção ou preservação dos recursos naturais da bacia hidrográfica

Nesta categoria estão enquadrados não apenas recuperação, conservação, proteção ou preservação de rios ou cursos d’água. São incorporados o tratamento dos chamados “recursos associados” à água, como o solo, a fauna, a flora, os minerais e o relevo existentes nas bacias de captação, que influem na produção e na descarga de água. A este conjunto de atividades atribui-se o termo manejo

ambiental, o qual integra programas de controle e aproveitamento múltiplo da água em nível de bacia principal.

- Aproveitamento e controle da água ou dos recursos hídricos, seja como fins setoriais ou multisetoriais

O objetivo desta categoria é o de controlar o aproveitamento, geralmente múltiplo, das águas de uma ou mais bacias principais com base, principalmente, no planejamento, no projeto, na construção e na operação de obras hidráulicas, para satisfazer demandas múltiplas de água. Este procedimento tem a finalidade de contribuir para o desenvolvimento social e econômico, assim como o de controlar inundações e secas. São objetos também prioritários desta categoria o controle e a manutenção da qualidade das águas nas bacias, visando reutilizá-las e também evitar a degradação ambiental e as ameaças à saúde dos usuários dos recursos da bacia, sejam ou não nela residentes.

- Bem estar do homem, usuário dos recursos da bacia, seja ou não nela residente

Neste caso, adota-se a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, com objetivo de ordenar as atividades que promovam a melhoria da qualidade de vida do homem ou que a desenvolvam. A escolha da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento é devida à relação estreita que existe entre a água e as necessidades do homem. As ações de aproveitamento e proteção da bacia devem ser efetuadas considerando-se a compatibilização dos usos da água e dos demais recursos nela existentes, sob coordenação de entidades setoriais, responsáveis pelo gerenciamento da bacia hidrográfica.

LANNA (1993) define Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (GBH) como um instrumento que orienta o poder público e a sociedade, a longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais naturais, econômicos e sócios-culturais, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a proporcionar o desenvolvimento sustentável da mesma.

De acordo com o LANNA (1993), o conceito de gerenciamento de bacias hidrográficas e gerenciamento de recursos hídricos são freqüentemente confundidos. O gerenciamento de bacias deve ser considerado como resultado da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e intervenção da gestão ambiental, sistêmica e globalizada, enquanto o gerenciamento de recursos hídricos busca a harmonização das demandas e oferta da água de uma bacia.

PIRES & SANTOS (1995) consideram importante que o gerenciamento de bacias envolva todos os atores sociais no processo inicial do planejamento, sendo a participação da sociedade imprescindível para que as normas e diretrizes de uso, de apropriação e conservação dos recursos ambientais sejam aceitas e obedecidas. O gerenciamento eficaz de um bacia hidrográfica requer, antes de tudo, um amplo processo de planejamento ambiental, para buscar soluções dentro dos limites de capacidade de suporte ambiental. Recomendam uma metodologia para o gerenciamento de bacias, envolvendo técnicas de análises integradas de recursos (AIR), as quais incorporam considerações ecológicas como produtividade e estabilidade no planejamento do uso e manejo de unidade ambientais (Figura 5).

Figura 5 – Etapas de realização do gerenciamento de bacias hidrográficas, envolvendo análise integrada de recursos (adaptada de PIRES & SANTOS, 1995)

O diagnóstico ambiental se resume na análise das condições ambientais atuais frente à ocupação humana e pode ser separado em três atividades distintas:

- inventário e levantamento de dados e informações sobre o ambiente físico e biológico;
- levantamento das áreas ambientais críticas e
- análise das informações e classificações geográficas de acordo com a capacidade de absorver os diversos usos humanos, levando em consideração suas restrições ambientais.

Esse diagnóstico deve verificar a situação atual de uso do solo, o nível de aproveitamento do recursos naturais e a qualidade ambiental dos mesmos.

No prognóstico ambiental, são analisadas prováveis condições futuras, em diferentes cenários de tempo e ocupação de espaço, frente às tendências de desenvolvimento e à demanda de serviços e produtos. São identificadas, ainda, as situações de insustentabilidade

entre as diversas formas de utilização dos recursos ambientais, que provoquem a degradação dos recursos e a incompatibilidade de usos

O plano de gerenciamento resulta na integração das análises ambientais, políticas e econômicas, levando em consideração as diretrizes políticas para o uso do solo, conciliando o desenvolvimento econômico com a manutenção do equilíbrio ambiental a longo prazo.

Essa etapa resulta na geração de uma proposta de divisão do território estudado em unidades ambientais, denominada de Zoneamento Ambiental ou Geoambiental, o qual será focado no tópico seguinte.

2.4.2 – Zoneamento Geoambiental

O zoneamento geoambiental pode ser caracterizado como um instrumento de auxílio no planejamento e no ordenamento territorial, seja em escala regional ou local, pois estudos desta natureza possibilitam a caracterização de áreas quanto às suas aptidões e restrições às atividades já em desenvolvimento e/ou prováveis de serem implantadas, além de indicar porções do terreno com uma maior qualidade ambiental que possam ser preservadas (GRECCHI, 1998).

De acordo com SOBREIRA (1995), os estudos de natureza geoambiental apresentam três formas de abordagem distintas: planejamento e ordenamento territorial, análise dos perigos e riscos naturais e estudos de impactos ambientais (Figura 6). O autor ressalta ainda que as abordagens, apesar de distintas, apresentam-se interligadas, pois têm como problemática central a intervenção do homem na natureza.

Figura 6 – Abordagens distintas dos estudos de natureza geoambiental (SOBREIRA, 1995).

CENDRERO (1975) ressalta a importância dos estudos geoambientais, salientando que o planejamento, de acordo com a capacidade das unidades ambientais, permite o máximo uso dos recursos naturais de uma área com um mínimo de dano ambiental.

A importância de se considerar os elementos e processos naturais no planejamento ambiental está não só no auxílio à distribuição das atividades humanas, mas também nos possíveis impactos negativos que possam ocorrer (FRANCÊS, 1990 *apud* SOBREIRA, 1995). Outros objetivos mais específicos a serem considerados são a definição cartográfica de porções do terreno com maior qualidade ambiental que devam ser preservadas; a proposição de medidas de atuação direcionadas a melhorar, a recuperar ou a reabilitar os elementos e ou processos do meio natural que se encontrem degradados por atividades incompatíveis com sua vocação de uso (entendidas estas como atividades que causam menor rendimento do meio, causando deterioração desnecessária de seus parâmetros ambientais); a delimitação de áreas com elevada produtividade primária, cuja vocação de uso aconselhe sua exclusão do perímetro urbano, evitando sua consolidação ou deterioração por obras de infra-estrutura, polígonos industriais, etc e finalmente o estabelecimento de linhas de atuação para valorização dos recursos naturais insuficientemente aproveitados.

RIVAS *et al.* (1994) apresentam uma metodologia para estudos de natureza geoambiental, que tem por objetivo principal a identificação, representação e caracterização de unidades ambientais homogêneas, definidas com base na seleção de feições abióticas, bióticas e humanas (Figura 7). Esta metodologia assemelha-se a apresentada por PIRES & SANTOS (1995) no item anterior.

Figura 7 – Fluxograma esquemático da metodologia apresentada por RIVAS *et al.* (1994).

2.4.2.1 – Metodologias de Zoneamento Geoambiental

Segundo CENDRERO (1990), diversas são as metodologias empregadas em trabalhos que visam o zoneamento geoambiental. As diferenças entre estas metodologias são decorrentes da diversidade existente nas características geológicas e climáticas, do nível de ocupação humana e das atividades predominantes em cada região.

De uma maneira geral, as metodologias de ordenamento territorial podem ser divididas em dois grupos principais (FARIA, 1989, *apud* SOBREIRA, 1995):

1. Metodologias que apresentam as características geológicas como base para caracterização de domínios e obtenção de aptidões do terreno.
2. Metodologias que consideram os aspectos geológicos de maneira não aprofundada.

A seguir serão apresentadas descrições de algumas metodologias de zoneamento geoambiental, pertencentes a cada grupo.

- Metodologias pertencentes ao Primeiro Grupo

- ❖ Metodologia de CENDRERO (1975)

Em seu trabalho, o autor faz comparações de feições geológicas ambientais com a capacidade de reuso e uso atual da terra e da água, obtendo desta forma um mapa de geologia ambiental.

Nesta metodologia, os parâmetros considerados na obtenção e classificação das unidades ambientais incluem processos ativos, *landforms*, propriedades físicas do substrato rochoso e depósitos superficiais, assembléias biológicas e feições antrópicas. Podem ainda ser utilizados dados de solos, de produtividade agrícola e outros parâmetros que permitam um entendimento completo do meio natural e antrópico. Estas informações, adicionadas aos dados sócioeconômicos, permitirão um melhor e mais eficiente planejamento do meio.

Segundo este autor, informações quantitativas adicionais, em especial sobre propriedades físicas e taxas de processos ativos, são necessárias para uma definição mais precisa das unidades ambientais.

A capacidade destas unidades é definida em termos de atividades humanas ou pelo uso das mesmas. Esta habilidade de sustentar o impacto de atividades humanas, implica em um certo

grau de julgamento profissional, o qual nem sempre é objetivo, principalmente considerando que os desenvolvimentos tecnológicos futuros podem alterar a habilidade do homem de usar o meio sem provocar danos.

❖ Metodologia de ZUQUETTE *et al.* (1997, modificado de 1993)

Segundo esta metodologia, a carta de Zoneamento Geoambiental, corresponde a uma cartografia geotécnica, no que se refere a avaliação do contexto global das potencialidades do meio físico.

Segundo estes autores, para obtenção da carta de zoneamento geoambiental é necessária a análise de documentos cartográficos preliminares, os quais são divididos em quatro grupos:

- Documentos Fundamentais Básicos – mapa de substrato rochoso, mapa de qualidade das águas, mapa de *landforms*, mapa de bacias hidrográficas, mapa de documentação, etc;
- Cartas Fundamentais de Síntese – mapa de condições geológico-geotécnicas, etc;
- Cartas Derivadas ou Interpretativas - carta de potencial ao escoamento superficial, carta de potencial ao movimento de massa, carta de zona de recarga de aquífero, carta para disposição de rejeitos e resíduos, etc;
- Cartas Analíticas Básicas – carta de probabilidade de ocorrência de eventos naturais, carta de possibilidade de ocorrer eventos perigosos, etc.

Uma ressalva importante feita pelos autores, é que se deve admitir um critério rigoroso na seleção dos atributos a serem considerados e suas respectivas classificações, as quais devem atender diretamente às solicitações do trabalho (ZUQUETTE, 1993). Isto é possível por meio da hierarquização de cada componente, para o detalhamento da região. A priorização adequada dos atributos pode proporcionar uma maior confiabilidade na caracterização dos

problemas de determinada área, possibilitando a exclusão de alguns atributos do meio físico, seja em função de sua pouca expressão ou pela impossibilidade de obtenção dos dados ou ainda pela sua confiabilidade.

Na Tabela 7 são apresentados os atributos considerados essenciais e necessários à elaboração e análise dos documentos cartográficos propostos anteriormente pelos autores. São apresentados, também, os métodos e procedimentos utilizados para obtenção destes atributos.

Tabela 7 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (ZUQUETTE *et al.*, 1997 modificado de 1993).

COMPONENTE	TIPO	ATRIBUTO	FORMA DE OBTENÇÃO
Águas	Superficiais	Escoamento superficial	M. Cook / Es
		Áreas de acúmulo d'água (temporário / permanente)	FI
		Bacias hidrográficas desde primeira ordem	FI
		Canais com fluxo permanente	Tc; FAb; Im
	Subterrânea	Presença de lentes salgadas	Tc
		Aqüíferos(livres/confinados)	FI; TC
		Áreas de recarga	FI
		Fontes naturais	Tc (GPS)
		Escoamento básico	AR
		Áreas de descarga	TC; FI
Geomorfologia	Morfometria	Declividade	TC; TE; FI
	Morfologia	Landforms	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

Tabela 7 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (ZUQUETTE *et al.*, 1997 modificado de 1993) (continuação).

		Movimento de massa	FI; TC
	Materiais Inconsolidados	Gerais Origem (residual/retrabalhado)	FI; TC; L
		Textura	TC; L
		Variação em profundidade (perfil de alteração)	TC
		Distribuição (em área)	FI; TC
		Potencial à salinidade	L
		Específicos Potencial quanto a fertilidade	L; Es
Feições do Tecnógeno		Áreas de aterro e entulho	TC;FI
		Áreas exploradas para exploração de material para 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	

Tabela 7 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (ZUQUETTE *et al.*, 1997 modificado de 1993) (continuação).

Climático		Pluviosidade	Li
		Temperatura	Li
		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	
FORMA DE OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS			
TC – trabalho de campo		M. Cook- método de Cook	
FI - fotointerpretação		FAB – fotos aéreas baixas	
L – ensaios laboratório		GPS	
E S – estimativas		TE – trabalho de escritório	
Im – imagens de satélite		Re - registros	
AR – análise relativa		Li - literatura	

▪ Metodologias pertencentes ao Segundo Grupo

❖ Metodologia de VILLOTA (1996)

O autor propõe uma metodologia, onde a análise do território é feita com base no estudo da paisagem. Aqui o termo paisagem é utilizado no sentido de um "recurso derivado da valoração estática de percepção do meio", sendo justificado devido seu grande valor paisagístico.

Nesta metodologia, é obtido um mapa de unidades de paisagem, por meio de um sistema de sobreposições, com redução das unidades maiores em "unidades de paisagem" (Figura 8), as quais devem apresentar uma homogeneidade entre seus atributos paisagísticos. Tais unidades homogêneas resultam da compartimentação morfológica (fisiografia e litologia), caracterizadas qualitativamente por atributos geomorfológicos, vegetação e atividade antrópica.

Figura 8 - Redução das unidades do geral para o específico em termos de informações homogêneas. (FRANK, 1995)

A descrição destas unidades é feita por meio de fotografias aéreas verticais e oblíquas, trabalhos de campo, além de análise de fotos e *slides* de pontos que apresentem aspectos singulares na área de estudo. São utilizados também atributos descritivos de qualidade visual, singularidade e aspectos de potencialidades, fragilidades e absorção de impactos ambientais.

As características geológicas e geomorfológicas são obtidas por meio da resposta visual que estes fatores podem influenciar na paisagem, vegetação e usos do solo, entre outros.

De uma maneira geral, esta metodologia é baseada em observações diretas, com subjetividade aceita. Exigem um profundo conhecimento da área de estudo e utilizam também apoios cartográficos, resultando em uma valoração sintética (subjetiva) das diferentes unidades as quais são caracterizadas em escalas semiquantitativas de fácil compreensão.

SOBREIRA (1995) salienta que estas metodologias, do primeiro e segundo grupos, apresentam como fator comum a representação dos territórios por meio de mapas de vários tipos, os quais servem de base para a orientação de decisões futuras dos organismos de planejamento.

2.4.2.2 – Indicadores Geoambientais

ALONSO *et al.* (1990) destacam que uma maneira de se efetuar a avaliação integrada da capacidade do terreno, frente às diferentes solicitações do meio físico, é pela utilização de mapas Geoambientais de vários tipos, o que possibilita a combinação e o cruzamento de informações geológico-geotécnicas com outros dados ambientais.

De acordo com ITC (1996), baseado em tendências internacionais, tem-se utilizado os “Geoindicadores Ambientais” em estudos que objetivam relatar o estado do meio ambiente e possibilitar avaliações de sustentabilidade ambiental.

Os geoindicadores ambientais podem ser definidos como “medidas de taxa, de magnitude, de frequência e de tendência de processos ou fenômenos geológicos que vem ocorrendo na superfície da terra, ou próximo desta, em um período de 100 anos ou menos, sujeitos às variações significativas as quais são responsáveis para compreensão de mudanças ambientais rápidas” (COGEOENVIROMENT, 1992).

Na Tabela 8, são apresentados os geoindicadores, suas tendências naturais e as influências antrópicas nas alterações destes atributos.

Tabela 8 – Geoindicadores: influência natural X influência humana (ITC, 1996).

Geoindicadores	Influência Natural	Influência Humana
Magnitude, duração e frequência de tempestade de poeira		
Flutuações de geleiras		
Qualidade da água subterrânea		
Química da água subterrânea em zona insaturada		
Nível da água subterrânea		
Nível de lagos e salinidade		
Nível relativo do mar		
Posição da linha de costa		
Erosão de solos e sedimentos		
Qualidade do solo		
Escoamento/fluxo d'água		
Morfologia dos canais		
Transporte e deposição de sedimentos		
Comportamento da temperatura da superfície terrestre		
Qualidade da água superficial		
Extensão, estrutura e hidrologia de terras alagadas		
Erosão eólica		
- Fortemente influenciado por		
- Pode ser influenciado por		
- Não exerce influencia substancial sobre		

ITC (1996) salienta ainda que alguns geoindicadores já possuem parâmetros padronizados, como é o caso da qualidade das águas superficiais, enquanto que outros deveriam ganhar mais espaço na avaliação ambiental.

SIMÕES (1997) cita, em uma análise da dinâmica de sistemas e geoindicadores, a grande importância destes no subsídio a programas de monitoramento e avaliação de impactos ambientais, sendo em muitos casos necessário utilizar a avaliação de mais de um índice em algumas situações, devido à dinâmica de cada geossistema que envolve processos multivariados.

2.4.3 – O Uso dos Sistemas de Informações Geográficas em Estudos Ambientais.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) vêm sendo muito utilizados em trabalhos de monitoramento ambiental e em diversas áreas como no planejamento urbano e regional, no estudo de recursos terrestres, no controle de rede de transportes, etc.

Os SIG's apresentam diversas definições, dentre as quais, pode-se citar a de CÂMARA & SIMÕES (1996), que os define como “série de ferramentas que utilizam técnicas matemáticas e computacionais no tratamento e análise de informações geográficas. Outra definição é dada por COWEM (1988, *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998), “sistemas de suporte à decisão que integram dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas e problemas”.

As diversas definições dos sistemas de informações geográficas permitem concluir que estes apresentam finalidades multivariadas, tendo duas características principais, que são:

- ♦ Inserir e integrar , em uma base de dados única, informações espaciais obtidas de dados cartográficos, censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e modelos numéricos do terreno; e
- ♦ Oferecer mecanismos para combinar os vários níveis de informação, através de operações de manipulação e análise, por algoritmos, bem como consultar, recuperar visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados.

As informações inseridas nos SIG's são localizadas por coordenadas geográficas, em relação a algum sistema de referência (georeferenciamento). Isto distingue os SIG's dos programas gráficos ou de desenho/projeto, pois têm a capacidade de tratar as relações

espaciais entre os objetos georeferenciados (CÂMARA & SIMÕES, 1996).

Em função da grande quantidade de aplicações, incluindo ramos como agricultura, vegetação, cartografia, cadastro de dados, os sistemas de informações geográficas podem ser utilizados com três fins: 1) Como ferramenta na elaboração de mapas; 2) Como suporte para análise espacial de fenômenos e 3) Como banco de dados geográfico, com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Os estudos relacionados ao meio ambiente necessitam da manipulação de uma grande quantidade de informações e os sistemas de informações geográficas permitem uma grande flexibilidade na manipulação de um número grande de informações, à medida que possibilitam a combinação e a superposição de diversos tipos de informações, como mapas topográficos, temáticos, fotografias aéreas, imagens de satélite, etc (CENDRERO, 1990). Este fato faz com que a utilização dos SIG's, para avaliação de áreas, venha se tornando mais freqüente, tanto em órgãos privados quanto nos órgãos administrativos e de pesquisa.

Os SIG's trabalham com uma infinidade de operações matemáticas (funções), sendo este o ponto que os distingue de outros tipos de sistemas de informações. Estas funções realizam análises espaciais, utilizando atributos espaciais ou não das informações armazenadas em uma base de dados, com o intuito de serem realizados modelamentos (simulações) sobre os fenômenos reais, seus aspectos ou parâmetros (LOPES 1999).

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

3.1 - LOCALIZAÇÃO

A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão é parte integrante da bacia hidrográfica do Rio Capivari, correspondendo mais precisamente, à porção da bacia denominada de Alto Capivari (Figura 9). Localiza-se na região centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°51'43" e 22°58'13" de latitude sul e os meridianos 47°03'31" e 47°09'34" de longitude oeste na Folha Topográfica Campinas SF-23Y-A-V-4 (1:50.000), totalizando aproximadamente 62km² e engloba a porção sul do município de Campinas. As principais vias de acesso à área são a rodovias Anhanguera (SP-330), Bandeirantes (SP-348), Santos Dumont (SP-079) e Via D. Pedro (SP-065).

A sub-bacia do Ribeirão do Piçarrão tem parte de sua área no município de Campinas (SP) e apresenta como característica marcante o desenvolvimento urbano da cidade dentro de seus limites. Sua nascente ocorre a leste da cidade, percorre o sentido leste-sudoeste, e totaliza uma extensão de aproximadamente 21,7Km (Figura 10).

Figura 9 – Localização da área estudada, com relação a compartimentação da bacia hidrográfica do Rio Capivari.

Figura 10 – Localização da Sub-bacia com relação ao Município de Campinas.

3.2 – HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS

De acordo com EMBRAPA (1998) origem do povoamento de Campinas está ligada à abertura dos caminhos para o sertão de Goiás e Mato Grosso, no século XVIII. O povoado utilizado para o descanso dos tropeiros, que utilizavam estes caminhos entre os vales de Jundiaí e Mogi-Mirim, ficou conhecido como “Campinas do Mato Grosso”, em razão de três pequenos descampados ou “campinas” em meio a mata.

Em 1772 foi solicitada licença para construção de uma capela devido à grande distância entre esse povoado e Jundiaí. Em 1773 foi autorizada a construção de uma igreja matriz, ao invés de uma simples capela. Esse fato contribuiu para que o governador da capital de São Paulo autorizasse a fundação do núcleo urbano. Em 1842, Campinas foi elevada a categoria de cidade.

No século XIX, o município tornou-se um grande produtor de cana de açúcar , e depois de café no estado de São Paulo, sendo considerado em 1870 o município mais rico da província paulista. Com a construção da ferrovia paulista (Campinas-Jundiaí) e a abertura dos primeiros estabelecimentos industriais, iniciou-se a fase de industrialização do município. O desenvolvimento econômico, social e cultural da cidade lhe permitiu disputar, no final do século XIX, primazia como a Capital do Estado.

No início do século XX, apesar das crises cafeeiras, Campinas já apresentava uma economia bastante consolidada, o que lhe possibilitou acompanhar as etapas seguintes do desenvolvimento econômico do país. As décadas de 30 e 50, caracterizaram-se pelo crescimento urbano (comércio, indústria e serviços) e substituição das atividades agrícolas pela industrialização. No período de 60 a 80 houve um extraordinário crescimento da indústria na região, passando o município da condição de centro regional a condição de grande cidade.

Da década de 80 em diante, apesar da crise econômica que se estabeleceu no país, há uma intensificação do processo de interiorização da indústria no Estado. Por este fato, há o desenvolvimento econômico no município com atividades industriais dirigidas ao mercado exterior somado a ação governamental, que favoreceu o crescimento do parque industrial do Estado.

Campinas tem hoje 846 mil habitantes, constituindo-se no pólo de uma área que abriga cerca de dois milhões de habitantes. É o maior centro de desenvolvimento econômico do interior do Estado de São Paulo, e sua região configura-se com a terceira grande concentração industrial do Brasil.

As 2.500 indústrias instaladas na região correspondem a 25% da produção química do Estado de São Paulo; 23% da produção de minerais metálicos; 19% da produção de equipamentos mecânicos; 27% da produção de couro, papel e papelão, 21% da produção de têxtil 17% da produção agro-industrial. Trinta e uma das quinhentas maiores indústrias do mundo operam em Campinas, entre elas a IBM, General Motors, Pirelli, Singer, Mercedes Benz e Bosch. Encontram-se igualmente instaladas na região centenas de grandes empresas brasileiras, como a Itaútec, Dedini, Nardini e Antarctica. Algumas das mais importantes indústrias processadoras de suco de laranja, de açúcar e álcool estão instaladas na região.

Campinas contribui com 20% da produção agrícola estadual e movimenta 30% do crédito rural. É a primeira região do país em índices de mecanização, em uso de adubos e de sementes qualificadas e defensivos agrícolas. A agricultura da região contribui com 27% da produção de laranja do Estado.

3.3 – ELEMENTOS DO CLIMA

De acordo com o Instituto Geológico - IG (1993), o clima local pode ser classificado como Subtropical de Altitude, com verão quente

e úmido e inverno frio e seco. Caracteriza-se por apresentar pluviosidade média de aproximadamente 1.700mm, concentrados no período de maior precipitação, que corresponde aos meses de outubro a março.

A temperatura média anual é de 20,6°C, com média máxima anual de 24,9°C e média mínima anual de 18,2°C (IG, 1993).

Segundo OLIVEIRA *et al.* (1979), são observadas temperaturas médias inferiores a 18°C no período de inverno e superiores a 22°C durante o verão. Ainda segundo o autor, os regimes hídricos e térmicos do solo são respectivamente údico e hipertérmico.

3.4 – ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

O Município de Campinas apresenta grande quantidade de água, tanto superficiais como subsuperficiais, passíveis de serem usadas pela indústria, pela agricultura e pela população, para consumo próprio.

De acordo com IG (1993), o alto crescimento populacional e industrial verificado no município de Campinas nestes últimos anos, resultou no aumento acelerado da demanda de água potável, levando a elevação da taxa de exploração de água subterrânea.

3.4.1 – Águas Subsuperficiais

Segundo IG (1993), no município de Campinas ocorrem três sistemas de aquíferos:

- Sistema de Aquífero Diabásio;
- Sistema de Aquífero Tubarão; e
- Sistema de Aquífero Cristalino.

Na área de estudo destaca-se o Sistema de Aquífero Tubarão. Este sistema ocorre na parte oeste do município, ocupando 30% de

sua área, é suportado por rochas sedimentares do Subgrupo Itararé, que ocorrem em contato discordante e erosivo com o Embasamento Cristalino. Em sua maior parte o Sistema de Aquífero Tubarão recebe, dentro da área de estudo, contribuição superficial dos Rios Capivari e Capivari-Mirim e pelo Ribeirão do Piçarrão e parte do Córrego do Quilombo e do Ribeirão Anhumas nas porções central e norte.

As intercolocações e interdigitações das camadas condicionam a este sistema a um comportamento livre e localmente semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e fortemente anisotrópico. A constituição litológica imprime um controle da circulação da água subterrânea. As continuidades verticais e laterais das camadas arenosas, interdigitadas com camadas lamíticas dificultam a recarga de um modo geral, principalmente a recarga mais profunda.

Este sistema apresenta, segundo dados do DAEE (1981), a transmissividade variando entre 0,3 a 40m²/dia e a capacidade específica com valores entre 0,002 a 7,5m³/h/m.

3.4.2 – Águas Superficiais

O Município de Campinas é dotado de vários corpos d'água como rios, córregos, cursos d'água intermitentes, lagos, represas e barragens.

Na área estudada, os cursos d'água são pouco representativos, destacando-se o Ribeirão do Piçarrão, pertencente a sub-bacia do Rio Capivari, o Ribeirão do Quilombo e Córregos da Lagoa e Boa Vista, pertencentes a Sub-bacia do Rio Piracicaba (Figura 11).

Figura 11 – Redes de Bacias Hidrográficas do Município de Campinas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS – PLANO DIRETOR, 1995).

De acordo com IG (1993), o principal manancial superficial da porção oeste do município é o Rio Capivari, com produção de água tratada da ordem de $0,4\text{m}^3/\text{s}$. Em 1993, o volume médio produzido (volume consumido mais um índice de 40% de perdas) situava-se ao redor de $3,2\text{m}^3/\text{s}$. A demanda “per capita” era de 280 litros por habitante por dia e o volume médio mensal consumido pelas indústrias era de $245.000\text{m}^3/\text{m}$ ($0,095\text{m}^3/\text{s}$)

A densidade de drenagem na área é bastante reduzida, com exceção da porção central, a qual tem influência da rede de drenagem desenvolvida pelo Ribeirão do Piçarrão sobre os sedimentos siltsos do Subgrupo Iatararé (Figura 12).

Figura 12 – Sistema de drenagem da porção sudoeste do município de Campinas.

3.5 – ASPECTOS GEOLÓGICOS

O Município de Campinas abrange de uma maneira geral três tipos de unidades geológicas (IG, 1993):

- Rochas Pré-Cambrianas de alto e médio grau metamórfico, constituintes do Complexo Itapira, intrudidas por granitos, presentes na porção leste do município;
- Rochas Sedimentares do Subgrupo Itararé, presentes na porção oeste do município; e
- Diabásios Juro-Cretáceos, gerados pelo mesmo evento magmático da formação Serra Geral, de distribuição não uniforme e intrudidos nos sedimentos do Subgrupo Itararé.

Destas unidades, de acordo com IG (1993), são encontrados na área estudada arenitos, ritmitos e diamictitos do Subgrupo Itararé, diabásios Juro-Cretáceos e aluviões (Figura 13).

Figura 13 – Mapa geológico do Município de Campinas, reduzido e simplificado de IG (1993).

Subgrupo Itararé

As rochas deste Subgrupo estão representadas na área por três subunidades ou associações faciológicas:

Arenitos – constituída por quatro fácies, 1) Arenitos com conglomerados; 2) Arenitos médios a grossos com estratificação cruzada; 3) Arenitos finos a médios com estratificação cruzada sigmoidal; e 4) Arenitos médios a finos com estratificação cruzada tabular.

Diamictitos/Lamitos e Ritmitos – presentes em camadas tabulares e lenticulares, com espessura variável (métrica a decamétrica).

Ritmitos - compostas por três litofácies, 1) Associação arenito/silito/argilito, 2) Associação lamitos/silitos-argilosos laminado, e 3) Associação arenitos finos e muito finos.

Diabásios

Estas rochas são formadas pelo mesmo evento gerador da formação Serra Geral e ocorrem, principalmente, sob forma “sills”. Do ponto de vista macroscópico, as rochas apresentam granulação fina a muito fina, cor cinza escura a preta e estrutura maciça

Sedimentos Terciários-Quaternários

Constituem-se predominantemente de arenitos grossos a médios, mal selecionados, com grãos de quartzo angulosos, granulares, e por vezes, seixos de quartzo angulosos

3.6 – ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O Município de Campinas encontra-se localizado em uma porção de transição entre dois grandes compartimentos geomorfológicos do Estado de São Paulo, o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica (PONÇANO *et al.*, 1981).

CHRISTOFOLETTI & FEDERICI (1972) atentam para o fato que a transição entre estas duas grandes compartimentações não é muito perceptível, devido à presença do manto de alteração de grande espessura que recobre os dois compartimentos, fazendo com que os mesmos apresentem condições semelhantes.

O IG (1993) adota, para a identificação dos tipos de relevo do município de Campinas as unidades reconhecidas por PONÇANO *et al.* (1981). Para este Instituto, o Planalto Atlântico, sustentado por rochas cristalinas, corresponde a relevos de morros e serras do

Planalto Jundiaí, com altitude máxima de 980m. A Depressão Periférica, suportada por rochas sedimentares do Subgrupo Itararé e por “sills” de diabásio, é constituída por relevos de colinas e morrotes, com altitudes médias de 600 e 700m, correspondendo à Zona do Médio Tietê (Figura 14).

Figura 14 – Unidades de Relevo identificadas no Município de Campinas (IG, 1993).

Na área de estudo, de acordo com IG (1993), são identificadas três unidade de relevo: 1) colinas médias e amplas (Cma), 2) colinas médias (Cm) e 3) colinas pequenas(Cp) (Tabela 9). Estas unidades correspondem à compartimentação da Depressão Periférica – Zona do Médio Tietê.

Tabela 9 – Principais características das Unidades de Relevo identificadas na área de estudo (modificado de IG, 1993).

Tipo de Relevo	Amplitude (m)	Declividade (%)	Comprimento de rampa (m)	Altitude (m)	Litologia
Colinas Médias e Amplas	20 a 90	3 a 12	380 a 1950	641 a 750	Anfibólio biotita granito da Suíte Granítica Jaguariúna, Gnaisses bandados do Complexo Itapira, intrusivas básicas da Formação Serra Geral e sedimentos do Subgrupo Itararé
Colinas Médias	32 a 82	4.5 a 11	420 a 1380	610 a 709	Sedimentos do Subgrupo Itararé
Colinas Pequenas	30 a 75	6 a 16.5	300 a 1180	619 a 709	Sedimentos do Subgrupo Itararé

De acordo com BACHION (1997), na área de estudo, as formas de relevo mais freqüentes são caracterizadas por colinas médias, onde predominam declividades baixas, de 5 a 10% e amplitudes locais geralmente inferiores a 100 metros. Estas formas ocorrem associadas aos sedimentos arenosos pertencentes ao Subgrupo Itararé, que predominam na área de estudo. Segundo a autora (*op. cit.*), as formas de colinas pequenas ocorrem de modo mais localizado, associadas a ritmitos.

4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para o desenvolvimento desta pesquisa adotou-se, em linhas gerais, a proposta metodológica de COLLARES (no prelo), a qual objetiva a avaliação e determinação de alterações ocorridas em bacias hidrográficas, por meio de observações e levantamentos de atributos referentes ao terreno (dados do meio físico), a bacia hidrográfica (rede de drenagem) e a ocupação do meio físico (dados de atividades antrópicas).

A elaboração da pesquisa seguiu basicamente três linhas de trabalho interligadas, descritas a seguir e representadas na Figura 15.

Dados do Meio Físico

Nesta linha buscou-se realizar o levantamento de informações sobre o meio físico existentes da área como, mapas, relatórios e teses. Estes dados foram utilizados para elaboração de documentos cartográficos: mapa de documentação, carta de declividade, mapa de materiais inconsolidados, mapa de substrato rochoso e mapa de uso e ocupação.

A forma de obtenção e as etapas seguidas para a elaboração de cada mapa ou carta são tecidas no capítulo referente aos documentos cartográficos elaborados.

Figura 15 – Sequência de procedimentos metodológicos empregados.

Dados da sub-bacia

Os dados referentes à sub-bacia foram obtidos, principalmente, por meio da interpretação das fotografias aéreas, escala 1:25.000, de duas épocas distintas (1972 e 1995). Este procedimento possibilitou o levantamento e o processamento das informações referentes à rede de drenagem. O levantamento e o processamento dessas informações foram realizados por meio das etapas de fotointerpretação, escaneamento, mosaicagem, georeferenciamento e digitalização. A descrição destas etapas está no capítulo correspondente à obtenção das informações das alterações ocorridas na sub-bacia.

Dados de Atividades Antrópicas

Os dados de atividades antrópicas foram obtidos a partir, predominantemente, da análise de imagem de satélite e trabalhos de reconhecimento de campo. Em conjunto, foram utilizados alguns dados retirados do processo de fotointerpretação. Essas informações foram trabalhadas para elaboração da carta de uso e ocupação e para realização da avaliação temporal das características de ocupação do terreno.

5. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS

5.1 – DOCUMENTOS GERADOS

5.1.1 – Mapa de Documentação

Para a elaboração do mapa de documentação foi utilizado como base o mapa topográfico digitalizado, por meio do programa AUTOCAD MAP® 3.0, a partir das cartas topográficas Santa Izabel (SF-23-Y-A-V-4-SO-B), Campinas III (SF-23-Y-A-V-4-SE-A), Campinas V (SF-23-Y-A-V-A-4-SO-D), Campinas IV (SF-23-Y-A-V-4-SE-C), Campinas XI (SF-23-Y-A-V-4), em escala 1:10.000, confeccionadas pela Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (1979).

Adotou-se a equidistância de 10 metros, para as curvas de nível, gerou-se então o mapa topográfico em escala 1:10.000, o qual foi posteriormente transformado em 1:25.000. A amplitude média de área é de 650 metros, sendo a cota mínima de 570 metros e a máxima de 720 metros. Além das curvas de nível, o mapa de documentação (Figura 16) contém também os seguintes elementos:

Coordenadas UTM;

Rede de Drenagem;

Rodovias, ferrovias e estradas;

Pontos de descrição geológica [utilizados por MACARI(1996) e BACHION(1997)]; e

Figura 16 - Mapa de Documentação da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Pontos de observação para áreas de treinamento da Imagem de Satélite.

5.1.2. – Carta de Declividade

Para elaboração da carta de declividade, utilizou-se do Sistema de Informação Geográfica IDRISI.

O SIG-IDRISI considera a área trabalhada como uma matriz bidirecional, sendo a determinação da declividade de cada píxel (célula) feita em função da distribuição das curvas de nível digitalizadas (GUERRA, 1998).

Para a elaboração da carta, inicialmente, utilizou-se da base topográfica digital gerada para o mapa de documentação. O arquivo digital contendo as curvas de nível foi exportado, como um arquivo no formato DXF. Este arquivo foi convertido da extensão DXF para a extensão TXT, por meio do programa de conversão PGDXFCON (Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP). Após esta conversão, criou-se uma malha retangular a partir do arquivo de extensão TXT, dentro do programa SURFER®, composta por 330 linhas e 460 colunas, dando origem a um Modelo Digital do Terreno (MDT), como um arquivo de extensão GRD (Figura 17). Esta malha foi criada utilizando-se o método de interpolação de mínima curvatura, com um espaçamento de 30/30metros.

O arquivo GRD gerado foi importado para o IDRISI, originando um arquivo de imagem de extensão IMG. A partir deste arquivo, foi gerado um mapa de declividade em porcentagem. Este foi então reclassificado em intervalos de classes de declividade definidas, obtendo-se assim a carta de declividade em porcentagem para a área.

Figura 17 - Modelo Digital do Terreno gerado pela interpolação de curvas de nível de bases topográficas 1:10.000.

As classes de declividade definidas foram sete (Tabela 10, Figura 18), e a definição foi determinada com base em trabalhos anteriores realizados na região, como os de MACARI (1996) E BACHION (1998).

Tabela 10 – Classes de declividade adotadas para a área em estudo.

Classes	Intervalos (%)	Intervalos (°)
7	>50	
6	30-50	22,5
5	20-30	13,5
4	10-20	9
3	5-10	4,5
2	2-5	2,25
1	<2	0,9

Figura 18 - Carta de Declividade da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Nota-se, na carta de declividade (Figura 18), um predomínio de ocorrência de áreas de baixa declividade, destacando-se principalmente as classes de declividade <2%, 2-5% e 5-10%. Secundariamente, destacam-se áreas com ocorrências de faixas de 10-20% de declividade, correspondendo às regiões das cabeceiras dos cursos de ordem 1. De forma muito restrita são notadas áreas com faixas de declividade maiores que 20%.

5.1.3. – Mapa de Substrato Rochoso

Este documento foi confeccionado a partir da compilação de trabalhos anteriormente realizados na área em estudo, MACARI (1996) e BACHION (1997), em escala 1:25.000 (Figura 19).

A descrição das unidades mapeadas é apresentada a seguir:

Rochas do Embasamento Cristalino – Proterozóico Médio

Estas rochas correspondem a granadas-biotita gnaisses, presentes de forma localizada na porção nordeste da área, em contato com os arenitos do Subgrupo Itararé e sills de diabásios.

De acordo com MACARI (1996) e BACHION (1997), os granada-biotita gnaisses, tem como principais características a cor cinza, a qual varia de clara a média.

Rochas do Subgrupo Itararé – Carbonífero-Permiano

As rochas deste subgrupo destacam-se por ocorrerem de forma predominante, na área de estudo e ocupa mais de 90% dela. Destaca-se a maior predominância das associações de arenitos e secundariamente, as associações de ritmitos localizados na porção central e extremo nordeste da região.

Figura 19 - Mapa de Substrato Rochoso da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Os arenitos ocorrem de forma predominante nesta associação, apresentando como característica a cor amarelada, amarronzada, avermelhada e esbranquiçada; granulometria fina, média e grossa

Os ritmitos ocorrem na porção central da área na forma de camadas constituídas por siltitos, argilitos e arenitos finos em camadas alternadas, muitas vezes com presença de nódulos de pirita.

Rochas Básicas – Jurássico

As rochas básicas englobam os derrames de basaltos, mais especificamente sills de diabásio, presentes na porção extremo centro-norte da área, com granulação fina a muito fina.

5.1.4. – Mapa de Materiais Inconsolidados

Assim como o mapa de substrato rochoso, este mapa foi confeccionado a partir da compilação dos trabalhos de MACARI (1996) e BACHION (1997), em escala 1:25.000 (Figura 20).

Foram definidas para a área 10 unidades de materiais inconsolidados, sendo cada unidade caracterizada por um perfil típico de alteração, contendo informações sobre gênese, textura, espessura máxima e mínima, classificação quanto ao comportamento laterítico, atividade dos argilominerais, a presença de minerais micáceos e matacões e ainda índices físicos, como massa específica seca natural (ρ_{nat}), massa específica aparente máxima (ρ_{max}), massa específica dos sólidos (ρ_s) e índice de vazios (e). A gênese foi caracterizada em termos de horizontes - residual (R), o qual pode ser maduro (M) ou jovem (J); retabalhado (RT) e saprolito (SP).

Figura 20 - Mapa de Materiais Inconsolidados da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Picarrão.

Unidade I

Corresponde aos materiais aluvionares encontrados, principalmente junto as margens dos rios. Apresenta textura predominantemente arenosa (70% de areia), em especial quando associada às rochas areníticas do Subgrupo Itararé. As outras porcentagens correspondem a siltes e argilas.

Esta unidade não apresenta um perfil típico de alteração.

Unidade II

É a unidade predominante da fácies arenosa do Subgrupo Itararé, ocorrendo na porção sudoeste da área.

É representada por arenitos finos a grosseiros, feldspáticos e com presença de minerais micáceos. O quartzo é o componente principal, podendo ocorrer feldspatos, micas e argilominerais. A atividade está relacionada à presença de argilominerais do grupo da caulinita, não implicando na laterização deste solo.

As frações areia, silte e argila encontram-se respectivamente nas faixas de 52-80%, 9-30% e 10-21%.

A Tabela 11 apresenta o perfil representativo desta unidade.

Tabela 11 – Perfil de alteração estabelecido para unidade III.

Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997)

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e
R	2,0 a 4,0	Areia com pouco silte Areia com pouca argila	Inativa a Ativa	LA' a LA	1,22 a 1,47	1,93 a 2,01	2,59 a 2,63	0,77 a 1,15
SP	0,5 a 1,30	Areia com pouco silte	Normal	NA ou NA'	1,40 a 1,44	1,85 a 1,92	2,60 a 2,61	0,80 a 0,86

Unidade III

Esta unidade ocorre na porção sudoeste da área onde o substrato rochoso é constituído por arenitos finos e pouco micáceo, da fácies arenosa do Subgrupo Itararé. Localmente ocorrem arenitos de textura média a grossa com presença de feldspato, além de minerais micáceos. O componente principal é o mineral quartzo, sendo a ocorrência de minerais micáceos secundária, presente no nível residual, e o no nível do saprólito.

As frações areia, silte e argila encontram-se na faixa de 64-70%, 16-22% e 13-18%, respectivamente.

O perfil que melhor caracteriza esta unidade é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Perfil de alteração estabelecido para unidade III. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997)

Horizonte	Espess (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{anat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e
RM	0,9 a 0,5	Areia com pouco silte	Inativa ou Pouco Ativa	LA	1,30 a 1,43	1,93 a 2,0	2,60 a 2,64	0,82 a 1,02
SP	0,6 a 1,5	Areia com pouco silte	Muito Ativa	NA'	1,34	1,82	2,60	0,94

Unidade IV

Esta unidade localiza-se na porção centro sul da área, sendo formada por solos residuais, derivados da fácies siltosa do Subgrupo Itararé.

Do ponto de vista mineralógico, esta unidade apresenta como componente principal o quartzo, secundariamente ocorrem micas, feldspatos e argilominerais, possivelmente do grupo da caulinita.

A fração silte apresenta um teor bastante elevado, acima de 60%, com muito pouca fração areia, sendo texturalmente classificada como silto-argilosa.

O perfil que melhor caracteriza esta unidade é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade IV. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e
RM	>2,0	Silto-argilosa	Ativa				2,63	
RJ	<2,0	Silto-argilosa	Ativa	NG'	1,24	1,68	2,64	1,13
SP	>4,0	Silto-argilosa	Ativa	NG' ou NS'	1,35	1,75		0,95

Unidade V

Ocorre na porção nordeste da área, na cabeceira da bacia, sendo fruto de material residual arenoso do subgrupo Itararé. Um perfil interessante deste material é observado junto ao Ribeirão do Piçarrão, o qual ocorre sobre um leito de arenito dissecado, em que não há deposição de sedimentos aluvionares.

O quartzo é o mineral predominante nesta unidade, ocorrendo também argilominerais, principalmente do grupo da caulinita. A textura do material em superfície é areno-argilosa, havendo um aumento do teor de silte à medida que se aprofunda no perfil. As principais características do perfil de alteração observadas para esta unidade são descritas na Tabela 14.

Tabela 14 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade V. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)
RM	2,0 a 4,0	Areno-argilosa a argilo-arenosa	Pouco Ativa	LG'	1,31	1,88	1,02
RJ	1,0 a 3,0	Areno-argilosa	Pouco Ativa	LA e LA'	1,62	2,40	0,63

Unidade VI

Localiza-se na porção extremo nordeste da área, em uma região de intensa urbanização, sendo caracterizada, em sua maior parte, por solos retrabalhados, pouco ativos, lateríticos, provenientes de ritmitos do Subgrupo Itararé, com alguma contribuição de materiais provenientes de rochas básicas.

Há predomínio de argilominerais, com pouco quartzo e presença pouco significativa de micas, que ocorrem em subsuperfície.

A textura dos solos superficiais é predominantemente argilosa (49%), com teores de areia da ordem de 25%, Em subsuperfície, há um acréscimo do teor de silte na medida em que a profundidade aumenta.

Devido ao elevado grau de urbanização e conseqüentemente ausência de afloramentos, não foi possível o estabelecimento de um perfil de alteração para esta unidade.

Unidade VII

Esta unidade se localiza na porção extremo noroeste da área, sendo formada principalmente por material retrabalhado, proveniente de fácies areno-siltosa do Subgrupo Itararé. Verificam-se, em alguns, casos a presença de linhas de seixos de concreções lateríticas a profundidades que variam entre 2 e 6 metros.

O material retrabalhado apresenta teores em torno de 40% de silte, 31% de argila e 23% de areia fina, sendo classificado como silto-argiloso.

O perfil que melhor caracteriza esta unidade é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade V. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm³)	ρ_{max} (g/cm³)	ρ_s (g/cm³)	e
RT	1,0 a 6,0	Silto-argilosa	Pouco Ativa	LG'	1,44	1,78	2,61	0,81

Unidade VIII

Esta unidade ocupa uma pequena porção da área, localizada na parte extremo nordeste da região estudada, com solos lateríticos, em sua maioria, retrabalhados da fácies areno-siltosa do subgrupo Itararé.

O quartzo apresenta-se como mineral predominante, podendo ocorrer também óxidos de ferro e argilominerais. Em alguns casos se forma uma crosta silicificada, de espessura milimétrica sobre o material, o que aumenta sua resistência.

Nos materiais retrabalhados, o teor de areia sempre ultrapassa os 50%, o de silte encontra-se acima de 35% e o restante corresponde à porcentagem de argila.

A Tabela 16 apresenta o perfil que caracteriza esta unidade.

Tabela 16 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade V. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm³)	ρ_{max} (g/cm³)	ρ_s (g/cm³)	e
RT	> 5,0	Areno-argilosa	Pouco Ativa	LA'	1,60	2,10	2,47	0,65
RJ ou RM	>10,0	Argilo-arenosa	Pouco Ativa	LG'	1,23	1,70	2,58	1,06
SP	?	Arenosa	Ativa	LA'	1,41	2,63	2,85	0,86

Unidade IX

Esta unidade ocorre na parte nordeste da área, como produto de alteração de rochas gnáissicas do Complexo Itapira. 67

Os horizontes saprolíticos apresentam granulometria grosseira com muitos fragmentos rochosos de cor de alteração esverdeada. São comuns a ocorrência de blocos rochosos com proporções métricas, sem qualquer alteração.

O solo residual maduro indica um predomínio da fração areia (mais de 60%), com 22% de argila e 16% de silte.

As características desta unidade são listadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade V. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e
RM	2,0 a 3,0	Areno-argilosa	Ativa	LA'	1,44	1,98	2,58	0,79
SP	1,0 a 2,0	Arenosa grosseira	Ativa					

Unidade X

Corresponde a uma faixa que corta a área no sentido leste-oeste, localizada na porção centro-norte da região estudada. É caracterizada principalmente por material residual, faltando evidências seguras para a diferenciação entre solo residual maduro e os materiais retrabalhados.

A composição mineralógica predominante é representada por argilominerais e pouco quartzo, podendo ocorrer canga laterítica.

Os teores de argila são sempre superiores a 45% nos horizontes mais evoluídos, diminuindo para 24% nos termos saprolíticos. As frações silte e areia sempre aumentam com a profundidade, chegando o silte a teores acima de 30% nos horizontes menos alterados.

As características desta unidade são listadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Perfil de alteração estabelecido para a unidade V. Modificado de MACARI (1996) e BACHION (1997).

Horizonte	Espessura (m)	Classif Textural	Atividade (Azul de Metileno)	Classif (MCT)	ρ_{nat} (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e
RT ou RM	> 3,0	Argilo-siltosa a argilo-arenosa	Pouco Ativa	LG'	1,17 a 1,37	1,70	2,8 a 3,20	1,07 a 1,80
RJ	>2,0	Areno-argilosa	Pouco Ativa	LG'	1,29	1,70	2,71	1,04
SP	Máx 2,0	Areno- siltos-argilosa	Pouco Ativa ou Ativa CA=11,45***	NG'	1,25	1,66	2,78	1,20

- ***CA = Coeficiente de atividade por 1g de argila (10⁻³ g/g%), determinado em ensaios de adsorção de azul de metileno, se CA<11, o solo classifica-se como Pouco Ativo, se CA>11, o solo classifica-se como Ativo e se CA> 45 o solo classifica-se como Muito Ativo (FABBRI,1994).

5.1.5 – Mapa de Uso e Ocupação

Este documento foi confeccionado com o objetivo de fornecer informações sobre os tipos de uso e ocupação do terreno vigentes na área de estudo (Figura 21). Para confecção deste documento foram utilizadas imagem de satélite SPOT de 1995, com resolução espacial de 20m, fotografias aéreas de 1995, escala 1:25.000, e trabalhos de campo.

O sistema de satélite SPOT foi desenvolvido pela CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Apresenta dois instrumentos para produzir imagens: O HRV (High Resolution Visible), o qual monitora três comprimentos de onda, apresentando respostas espectrais da superfície terrestre em três bandas (1, 2 e 3), o que possibilita representação colorida da superfície do terreno, com resolução espacial de 20m; e o PAN (pancromático), o qual monitora um único comprimento de onda, apresentando respostas espectrais em uma banda em preto e branco, com resolução espacial de 10m.

Figura 21 - Mapa de Uso e Ocupação da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

A primeira etapa de laboratório objetivou o desenvolvimento de uma análise prévia da imagem de satélite, em composição colorida (Bandas 3, 1, 2), juntamente com as fotografias aéreas. Nesta análise, foram determinados os possíveis tipos de uso do solo e selecionadas áreas para serem utilizadas como amostras de treinamento para classificação supervisionada da imagem. A seleção destas áreas foi feita utilizando-se a resolução espectral da imagem e a resolução espacial das fotografias. Isto é, foram verificados e identificados nas fotografias os tipos de uso presentes, e verificada na imagem as respostas espectrais apresentadas por um mesmo tipo de uso, para só então serem selecionados as áreas para treinamento. Em função das respostas espectrais apresentadas, foi selecionada uma ou mais áreas de treinamento para uma mesma categoria de uso.

A etapa de campo(segunda etapa) consistiu da verificação das áreas previamente selecionadas para serem utilizadas como amostras para classificação da imagem. Nesta etapa foram identificados onze tipos de uso e ocupação do terreno:

- 1 vegetação densa (mata original);
- 2 vegetação de médio porte pouco densa (Mata capoeira);
- 3 vegetação rasteira (Pastagem);
- 4 áreas de plantação de eucalipto;
- 5 áreas de plantação (Hortaliças);
- 6 solo exposto;
- 7 substrato rochoso exposto;
- 8 área de ocupação de periferia;
- 9 zona urbana residencial;
- 10 zona urbana comercial e
- 11 zona industrial.

Na segunda etapa de laboratório, foi realizada a classificação da imagem de satélite. Este processo foi desenvolvido no âmbito do programa ENVI 3.0 (Environment for Visualizing Images), específico

para tratamento de imagens. A imagem foi inicialmente georeferenciada, utilizando-se como base coordenadas de mapa (IBGE, 1974) e posteriormente recortada, tomando-se o cuidado de delimitar uma área maior que a área de estudo. Em seguida, procedeu-se à classificação com a determinação de áreas de interesse, onde foram editadas as classes de uso do solo verificadas em campo. O método de classificação utilizado foi o da “ Máxima Verossimilhança”. Este método assume que cada amostra de treinamento é representada por pixels de reflexão característica e vale como área de referência dos números digitais (DNs) na classe (ENVI, 1997). As estatísticas calculadas para cada classe, em cada banda, são naturalmente distribuídas e, a seguir, é calculada a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Como resultado de confiança foi adotado o valor 0.9. Após a classificação procedeu-se um tratamento para homogeneização de ruídos apresentados na imagem, como a presença de pixels isolados assinalando classes diversas junto à homogeneamente classificadas, e a ocorrência de pixels com mistura de duas ou mais classes. O tratamento pós-classificação consistiu do emprego das funções clump classes, a qual permite a junção de classes adjacentes, e da função sieve classes, a qual permite eliminar classes adjacentes. Os tipos de uso do solo obtidos com a finalização da classificação foram reunidos em sete grupos:

- Centro urbano – neste grupo, foram agrupadas a zona urbana residencial, a zona urbana comercial e a zona industrial. Caracteriza-se por apresentar elevada taxa de ocupação por edificações (principalmente residências e prédios comerciais), ruas asfaltadas e quase inexistência de áreas vegetadas. Ocupa uma área de 24,83km² dentro da região de abrangência da bacia, restringindo-se à porção da cabeceira da mesma.

- Área com taxa de habitação média – este grupo corresponde à área de ocupação de periferia. Caracteriza-se pelo desenvolvimento de conjuntos habitacionais para população de baixa renda, instalados em áreas distantes do centro urbano (Figura 22) e apresentando taxa média de ocupação por edificações e ruas não pavimentadas. Normalmente, estes conjuntos se desenvolvem de forma irregular, como pequenos núcleos, não havendo concentração em uma região. Ocupa uma área total de 6,02km² dentro da área da bacia, correspondendo à porção centro-oeste da bacia.
- Área de pastagem e mata capoeira – este grupo corresponde aos tipos de uso vegetação rasteira (pastagem) e vegetação de médio porte (capoeira). Caracteriza-se por ocorrer em 39,10% (24,3km²) do total da área da bacia, marcada pela maior ocorrência de pastagem (Figura 23). As áreas de mata capoeira tem ocorrência mais restrita, caracterizando-se por uma vegetação de médio porte e pouco densa. O desenvolvimento desta classe é mais comum na porção central e oeste da bacia.

Figura 22 – Exemplo de área com taxa média de ocupação por habitação

- Área de mata/reflorestamento – compreende a área correspondente à vegetação nativa, aqui representada pela vegetação de cerrado (Figura 24) e às áreas de plantação de eucalipto (Figura 25), utilizadas para reflorestamento. Esta classe ocorre de forma localizada e esparsa, ocupa 6,26km², correspondendo a 10,08% do total da bacia. Sua pouca representatividade deve-se principalmente ao processo de urbanização, o qual é responsável pela retirada da cobertura original do solo.

Figura 23 – Tipo de uso do solo caracterizado por pastagem

- Área de solo exposto– neste grupo foram agrupadas as categorias de solo e substrato rochoso expostos. Caracteriza-se pela presença de áreas com ausência da cobertura vegetal. Tem ocorrência restrita, 0,49km², sendo mais representada por áreas com solo exposto (Figura 26). As áreas de substrato rochoso exposto são restritas a duas pedreiras.

Figura 24 – Exemplo de ocorrência de vegetação de Mata Nativa (cerrado).

Figura 25 – Área de reflorestamento destinada a plantação de eucalipto.

- Área de cultivo de hortaliças – este grupo, corresponde principalmente às áreas destinadas ao cultivo de hortaliças. É representada por áreas de pequena dimensão e com ocorrência restrita, 0,21 km².
- Águas – neste grupo estão enquadrados todos os corpos d'água (rios, represas e lagoas) presentes na área da bacia.

Figura 26– Exemplo de área de solo exposto.

6. OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES REFERENTES AS ALTERAÇÕES OCORRIDAS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PIÇARRÃO

6.1 - CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

De acordo com COLLARES (no prelo), a rede de drenagem de uma bacia atua como um sensor indicador das alterações ocorridas em seu interior, refletindo as mudanças condicionadas quer por processos naturais, quer por processos de origem antrópica. As mudanças ocorridas na composição da rede de drenagem, seja por alteração na sua estruturação, forma, ou mesmo pela perda ou aparecimento de novos canais, constituem um importante geoindicador das condições ambientais da bacia, por refletir a atuação de processos (de origem antrópica ou do meio físico). Nesse contexto, a caracterização da rede de drenagem, por meio da análise morfométrica, permite retratar as alterações ocorridas em bacias hidrográficas, constituindo assim, um valioso instrumento em estudos que envolvem análises temporais.

A caracterização morfométrica de bacia hidrográficas é realizada por meio da utilização de índices lineares e superficiais (areais) que descrevem o comportamento das drenagens e da superfície do terreno.

Um importante parâmetro a ser considerado, no processo de caracterização morfométrica, é a classificação da bacia de acordo com

as ordens dos seus cursos de água, a qual reflete o grau de ramificação ou bifurcação dessa bacia (VILLELA & MATTOS, 1975). Uma classificação neste contexto foi introduzida por HORTON (1945) e modificada por STRAHLER (1964). Segundo este autor, são considerados como canais de primeira ordem os pequenos canais que não tem tributários; a junção de dois canais de ordem N dá lugar a um canal de ordem N+1. Isto é, o encontro de dois rios de primeira ordem forma um rio de ordem dois e assim sucessivamente.

STRAHLER (1957) define duas classes de variáveis morfométricas que podem ser utilizadas para avaliação de bacias hidrográficas: 1) variáveis que expressam dimensões de comprimento e seus produtos, onde pode-se incluir comprimento de canais de uma dada ordem, densidade de drenagem, perímetro e área da bacia, e 2) variáveis adimensionais, que relacionam ângulos e razões de medidas de comprimento, tais como, relação de bifurcação, relação de comprimento médio, ângulos de junção, número de canais por ordem e propriedades referentes ao relevo.

Na presente pesquisa foram utilizadas, para a caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica, os parâmetros:

- Área de Drenagem (A);
- Perímetro da Bacia (P);
- Maior Comprimento (L);
- Largura Média (Lm);
- Número de Canais de Drenagem por Ordem (Ni);
- Número Total de Canais de Drenagem (Nt);
- Comprimento dos Canais de Drenagem por Ordem (Li);
- Comprimento Total dos Canais de Drenagem (Lt);
- Comprimento Médio dos Canais por Ordem (Cm);
- Relação de Bifurcação (Rb);
- Relação de Comprimento Médio (Rm);
- Densidade de Drenagem (Dd);

- Coeficiente de Manutenção (CM);
- Textura Topográfica (Tt); e
- Densidade Hidrográfica (Dh).

As definições e discussões sobre estas variáveis serão feitas no tópico referente às variáveis morfométricas.

6.2 – LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES

A caracterização e avaliação morfométrica da sub-bacia hidrográfica, com a finalidade de determinar as alterações ambientais ocorridas no período de 23 anos (1972 – 1995), foi realizada por meio de dois processos básicos distintos, o processo de fotointerpretação e o processo de digitalização e processamento dos dados obtidos da fotointerpretação. Estes dois processos constituem parte dos procedimentos gerais empregados para determinar o quadro ambiental da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, seguindo a proposta metodológica desenvolvida por COLLARES (no prelo).

6.2.1- Processo de Fotointerpretação

O processo de interpretação das fotografias aéreas consistiu, principalmente, do exame e identificação dos cursos de drenagem, tendo-se como resultado principal a rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica em escala 1:25.000, em dois períodos distintos (1972 e 1995).

Para a definição da rede de drenagem utilizou-se estereoscópio de espelho (Carl Zeiss) que permitiu uma visão ampla do terreno, estereoscópio de bolso (Carl Zeiss) para observação de detalhes e folha com película plástica (tipo transparência) , sobre a qual foi

efetuada o traçado da drenagem com o uso de canetas coloridas de ponta fina.

Cabe ressaltar que foram considerados como canais de drenagem todos os canais naturais, perceptíveis nas fotografias aéreas, que permitissem o escoamento linear das águas.

Além dos canais de drenagem, foram identificados também, nas fotografias aéreas, os limites da sub-bacia, as represas, as áreas de solo exposto e de ocupação urbana e rodovias.

6.2.2 – Processo de Digitalização e Processamento dos Dados

O processo de digitalização das redes de drenagem de 1972 e 1995, obtidas da fotointerpretação, foi realizado em quatro etapas: 1) escanderização das fotografias aéreas, 2) mosaicagem, 3) georeferenciamento das imagens (fotografias) e 4) digitalização. Após a conclusão destas etapas, foi realizado o processamento dos dados necessários à caracterização morfométrica da sub-bacia.

6.2.2.1 – Etapa de Escanderização

Nesta etapa, procedeu-se a escanderização das fotografias aéreas juntamente com o *overlay* (papel tipo transparência) contendo a rede de drenagem manualmente traçada. Durante o processo, tomou-se o cuidado de recortar as bordas das fotografias aproximadamente em 10% de sua área total, visando a eliminação de regiões onde as deformações são mais acentuadas.

As fotografias foram escanderizadas uma a uma e salvas como arquivos de imagem (formato JPEG), com resolução de 400 dpi.

6.2.2.2 – Etapa de Mosaicagem

A mosaicagem dos arquivos de imagem (fotografias) foi executada dentro do programa ENVI[®] 3, específico para o processamento de imagens.

Efetuiu-se a mosaicagem das fotografias aéreas para as datas de 1972 e 1995, obtendo-se como resultado um único conjunto, referente a cada período, envolvendo toda a área da sub-bacia hidrográfica.

Os arquivos de imagem foram inseridos no programa como imagens externas (formato JPEG) e carregados no *display* em duas janelas, tomando-se o cuidado de carregar fotografias que apresentassem maior superposição de áreas, obedecendo o sentido de voo de aquisição das imagens. Para a mosaicagem propriamente dita, foi necessária a geração de pontos de controle (*Ground Controls Point's-GCP's*) utilizando-se a sequência de comandos: (Registro→Selecionar pontos de controle→Imagem para Imagem) que permitem definir pontos coincidentes nas duas imagens. Cada ponto selecionado foi adicionado ao arquivo de pontos e, a partir do 5º ponto, o programa automaticamente passa a informar o erro calculado. Os pontos foram sempre selecionados primeiramente na imagem *warp*, que corresponde à imagem que será superposta na imagem tomada como base. Foram selecionados aproximadamente 8 a 10 pontos por imagem, sempre com o cuidado de se obter um erro abaixo de 1.

Após a geração dos arquivos de pontos, procedeu-se o registro de uma imagem em relação à outra, por meio da seguinte sequência de comandos: (Registro→Retificar imagem com pontos de controle pré-definidos→Retificar imagem para imagem) adotando-se como opções para execução do registro – reamostragem bilinear, grau 3, método polinomial. Com este procedimento, as duas imagens passam a

apresentar coordenadas coincidentes na área de cobertura. Procedeu-se então o recorte das bordas da imagem registrada por meio dos comandos: (Ferramentas→Ferramentas de Arquivo→Redimensionar imagem→Redimensionamento espacial→redimensionamento pela imagem) determinando-se as novas dimensões para cada imagem.

Para que as imagens apresentassem características semelhantes de contraste (intensidade de brilho e de tons de cinza) as mesmas foram colocadas com as mesmas condições de contraste. Para tal foi selecionado, no *display* contendo as duas imagens, uma mesma região presente em ambas, e então utilizou-se os seguintes comandos: (Função→Realce de contraste→Contraste interativo) para os dois *displays*, adicionando-se o histograma de contraste da imagem base na imagem *warp*.

Após a execução de todos estes processos, partiu-se para a etapa de mosaicagem da imagem com o uso dos comandos: (Registro→Mosaicar imagem→Imagem baseada em pixel).

Este conjunto de procedimentos foi repetido até que os mosaicos de 1972 e 1995 estivessem completos.

6.2.2.3 – Etapa de Georeferenciamento

O processo de georeferenciamento dos mosaicos (1972 e 1995) foi realizado em duas etapas, uma no ambiente dos programas ENVI[®] 3.0 e IDRISI e outra no ambiente do programa AutoCad MAP[®] 3.0.

A utilização do programa ENVI[®], na etapa de georeferenciamento, visou especificamente a criação de um arquivo de pontos de controle, separados para cada mosaico, os quais foram utilizados, posteriormente, como bases para o georeferenciamento dos mosaicos no programa AutoCad MAP[®] 3.0.

Os pontos de controle utilizados foram retirados de base topográfica 1:50.000 (IBGE, 1972), com valores de coordenadas de latitude e longitude adotados com 6 e 7 algarismos, respectivamente. Para a criação do arquivos de pontos do tipo ROI (*Region of Interest*), utilizou-se os comandos: (Função→Região de interesse→ROI) selecionando-se no *display* os pontos previamente retirados da base topográfica. Aos pontos, selecionados foram atribuídas suas coordenadas e o arquivo foi salvo com as opções (coordenadas de mapa, UTM 23, Zona sul).

O arquivo de pontos gerado foi transformado do formato ROI para DXF, por meio dos comandos: (Ferramentas→Ferramenta de vetor→Converter ROI/DXF). Este arquivo foi importado para o programa IDRISI, utilizando-se os comandos: (Import/Export→DXF/IDRISI) retificando as opções UTM 23 e Zona sul. Com a finalização destes procedimentos, o arquivo foi exportado para o programa AutoCad MAP®, para realização da segunda etapa do processo de georeferenciamento.

A adoção deste procedimento no programa ENVI® foi necessária porque a importação de imagens pelo AutoCad MAP® seria efetuada no formato figura (JPEG), perdendo, assim, as georefrências.

Para o processo de georeferenciamento no AutoCad MAP®, primeiramente adotou-se a divisão da tela do programa em duas janelas. Uma destinada a carregar o arquivo de imagem (mosaico), já salvo no formato DWG, e a outra destinada a carregar o arquivo de pontos com as coordenadas georeferenciadas. Para divisão da tela em duas janelas utilizou-se os comandos: (*View →Tiled →Viewports →2Viewports →V*) Em seguida foram inseridos os arquivos de imagem e pontos (*Insert→Raster Image→Attach*). Com os comandos: (*Map→Maptools→Rubber Sheet*), procedeu-se o georeferenciamento dos mosaicos, selecionando-se os pontos coincidentes no arquivo de pontos e na imagem. O arquivo foi salvo com os comandos:

(*Map→Save Back→save to Source Drawings*), adicionando-se o arquivo de pontos ao arquivo imagem. Desta forma, o mosaico adquiriu as referências da base topográfica.

6.2.2.4 – Etapa de Digitalização e Processamento dos Dados

O processo de digitalização foi realizado por meio do programa AutoCad MAP® 3.0 e efetuado no *display* com o uso do mouse. Este procedimento foi preferido ao tradicional (utilização da mesa digitalizadora) em função da maior rapidez e precisão oferecidas pelo programa, além da possibilidade do uso de aumentos (*zoom*).

A digitalização da rede de drenagem foi efetuada isoladamente, isto é, os canais de cada ordem foram digitalizados em *layers* distintos (Figura 27), bem como a digitalização dos traçados da borda da bacia e das áreas de represa, de áreas degradadas e das áreas de ocupação urbana. Este procedimento foi necessário para facilitar a obtenção dos dados numéricos.

Após a digitalização dos parâmetros obtidos, extraídos da fotointerpretação, procedeu-se à checagem dos cruzamentos entre os canais da rede de drenagem e dos polígonos limites das áreas (represas, áreas degradadas e urbanas) com o uso do comando: *Clean Up* (*Map→Map Tools→Drawing Clean Up*). Este comando corta ou prolonga as linhas digitalizadas até o cruzamento mais próximo, conforme a necessidade.

Figura 27 – Amostra da rede de drenagem da Sub-bacia do Ribeirão do Piçarrão. As cores utilizadas representam os *layers* distintos atribuídos à cada ordem de drenagem.

Como etapa final, para o processamento das informações, foi efetuada a obtenção de dados numéricos e a associação de informações em duas etapas, por meio do processo de criação de topologias. Primeiramente, foram criadas ²topologias de rede (*Map→Create→Create topology→Network*), para os canais de drenagem, e topologias de polígono (*Map→Create→Create topology→poligon*), para os traçados limites de bacia, represas e áreas urbanas e áreas degradadas. As topologias de rede foram criadas de acordo com o nível hierárquico dos canais; com isto, foram obtidos parâmetros como o número total de canais, o comprimento total da rede, o número de canais por ordem de ramificação e o comprimento médio por ordem de ramificação. Com as topologias de polígonos, foram obtidos os parâmetros de área e perímetro da bacia, das represas e das áreas urbanas e áreas degradadas. Na segunda etapa,

² Corresponde a estrutura de relacionamento espacial estabelecida entre objetos geográficos

procedeu-se à visualização dos parâmetros quantitativos obtidos com a criação das topologias (*Map*→*Topology*→*Administrator*).

As outras variáveis morfométricas foram obtidas a partir das variáveis primárias determinadas pelas topologias.

6.3 – ANÁLISE DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

As variáveis morfométricas obtidas foram segmentadas em dois grupos , seguindo a proposta metodológica de COLLARES (no prelo). O primeiro envolve variáveis relativas à morfologia, que apresentam como característica o fato de não sofrerem alterações temporais de curto prazo, e o segundo envolve variáveis referentes à composição da rede de drenagem, que apresentam como características alterações temporais de curto prazo, condicionando-as, portanto, como variáveis potencialmente adequadas para retratar as alterações ocorridas na sub-bacia.

Por apresentarem comportamentos distintos (alteração ou não de seus valores) as variáveis obtidas serão abordadas em tópicos separados. No tópico relativo às variáveis referentes à rede de drenagem, serão abordadas apenas algumas das variáveis adotadas por COLLARES (no prelo).

6.3.1 – Variáveis Relativas à Morfologia

- Área de Drenagem (A) e Perímetro da Bacia (P)

Estas variáveis correspondem, respectivamente, à área plana (projeção horizontal) inclusa entre os divisores topográficos da bacia, e ao comprimento lateral da área da bacia.

De acordo com VILLELA & MATTOS (1975), a área e o perímetro constituem elementos básicos para os cálculos de outras características físicas.

- Maior Comprimento (L) e Largura Média (Lm)

A determinação destas variáveis obedeceu aos critérios adotados por FONTES (1987). De acordo com o autor, o maior comprimento é representado pelo maior comprimento do eixo longitudinal da bacia e a largura média pode ser determinada pela expressão:

$$Lm = \frac{A}{L}$$

onde: A – área da bacia

L – maior comprimento.

- Amplitude Altimétrica Máxima (Hm)

Esta variável foi inicialmente introduzida por SCHUMM (1956) com a denominação de relevo máximo da bacia.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1987), a amplitude altimétrica máxima corresponde à diferença altimétrica (em metros) entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. O autor ressalta que deve se tomar cuidado com os casos em que a cota máxima representa apenas um ponto excepcional dentro da bacia, vindo a fornecer um resultado que mascara o real significado da movimentação topográfica da bacia de drenagem.

Os valores altimétricos adotados para a desembocadura e o ponto mais alto no divisor de águas foram retirados de base topográfica em escala 1:50.000 (IBGE, 1974).

- Relação de Relevo (Rr)

Esta variável foi inicialmente apresentada por SCHUMM (1956).

O parâmetro relação de relevo apresenta a relação existente entre a amplitude altimétrica máxima e a maior extensão da bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem (CHRISTOFOLLETTI, 1969). Este parâmetro é definido pela expressão:

$$Rr = \frac{Hm}{L}$$

onde: Hm – amplitude altimétrica máxima

L – maior comprimento da bacia hidrográfica

A Tabela 19 apresenta os valores das variáveis morfométricas acima descritas, obtidos para sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Tabela 19 – Variáveis Morfométricas relacionadas à morfologia da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Variáveis Morfométricas	Valores obtidos
Área (km)	62,123
Perímetro (km)	46,683
Maior comprimento (km)	13,183
Largura média (km)	4,712
Amplitude altimétrica máxima (km)	0,15
Relação de relevo (m/km)	0,011

Os valores apresentados na Tabela 19 revelam que a sub-bacia em questão apresenta pequenas proporções (medidas em área, valor do maior comprimento e largura máxima). As variáveis de amplitude altimétrica máxima e relação de relevo mostram que a sub-bacia tem

um baixo desnível topográfico, apresentando uma diferença topográfica, entre a cabeceira e a foz, de 150 metros.

6.3.2. – Variáveis Relativas à Composição da Rede de Drenagem

- Número Total de Canais (Nt) e Número de Canais por Ordem de Ramificação (Ni)

Suas determinações foram obtidas pela contagem direta do número de canais por ordem de ramificação e do número total de rios, por meio do processo de criação de topologias de rede efetuado no programa AutoCad Map®.3.0.

Estas duas variáveis são consideradas essenciais para o cálculo de outras variáveis.

- Comprimento Total da Rede de Drenagem (Lt), Comprimento Total dos Canais por Ordem (Li) e o Comprimento Médio dos Canais por Ordem (Lmi)

Assim como as variáveis de número total de rios e comprimento por ordem de ramificação, estas variáveis foram obtidas de forma similar pelo processo de criação de topologia de rede, efetuando-se a contagem da extensão por ordem de ramificação e total da rede de drenagem.

- Densidade Hidrográfica (Dh)

O índice densidade hidrográfica foi inicialmente definido por HORTON (1954), com a denominação de frequência de rios.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1969), a densidade hidrográfica corresponde à relação existente entre o número de rios

ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica, sendo determinada pela expressão:

$$Dh = \frac{N}{A}$$

onde: N – números de rios ou cursos d'água

A – área da bacia

CHRISTOFOLETTI (1969) ressalta que a adoção de N como o número total de drenagens pode levar a um resultado irreal a respeito comportamento hidrográfico da bacia (capacidade de gerar novos cursos d'água). O autor recomenda a adoção de N como o número de canais de ordem 1.

- Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem foi inicialmente definida por HORTON (1945).

Esta variável expressa o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, correlacionando o comprimento total dos canais de drenagem com a área da bacia.

A densidade de drenagem (Dd) é calculada pela expressão:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

onde: Lt – comprimento dos rios das diversas ordens de drenagem

A – área da bacia

CHRISTOFOLETTI (1969) ressalta que no cálculo do comprimento total dos rios devem ser considerados tanto os rios perenes como os canais intermitentes, obtendo-se assim um resultado mais coerente com a realidade da bacia.

CHRISTOFOLETTI (1974) cita que a densidade de drenagem é condicionada por fatores do meio físico como geologia, topografia,

clima e vegetação. O autor considera também que em terrenos onde há dificuldades para infiltração das águas há melhores possibilidades para esculturação de canais, o que pode explicar altos valores de Dd.

Para VILLELA & MATTOS (1975), a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, portanto fornece uma indicação da eficiência da rede de drenagem. Os autores afirmam, ainda, que este índice pode variar entre 0,5km², para bacia pouco drenadas, a 3,5km² ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas.

- Textura Topográfica (Tt)

A textura topográfica representa o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1969).

SMITH (1950, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1969) foi o primeiro a tecer considerações sobre o cálculo desta variável. O autor cita que este parâmetro expressa o espaçamento entre os canais de drenagem e o perímetro da bacia, sendo a determinação deste espaçamento feita pela adoção de uma curva de nível que apresente o maior número de inflexões.

FREITA (1950, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1969) considera, com base na definição de SMITH (*op. Cit.*), que a textura topográfica pode ser determinada por meio da densidade de drenagem, utilizando-se a expressão:

$$\log Tt = 0,219649 + 1,115 * \log Dd$$

onde: Dd – densidade de drenagem.

- Coeficiente de Manutenção (CM)

Definido inicialmente por SCHUMM (1956), o índice coeficiente de manutenção representa uma medida de textura, semelhante à

densidade de drenagem. Para o autor, este índice fornece a área mínima necessária para manutenção de 1 metro de canal de escoamento permanente. O coeficiente de manutenção limita a área mínima requerida para o desenvolvimento de um canal de drenagem.

Este índice é calculado pela seguinte expressão:

$$CM = \frac{1}{Dd} * 1000$$

onde: Dd – densidade de drenagem

- Relação de Bifurcação (Rb)

Definido inicialmente por HORTON (1945), este índice representa a relação entre o número total de canais de uma certa ordem e o número total de canais da ordem imediatamente superior, sendo definido pela expressão:

$$Rb = \frac{Ni}{Ni + 1}$$

onde: Ni - número de canais de uma certa ordem

Ni+1 - número de canais da ordem imediatamente superior

- Relação de Comprimento Médio (Rlm)

Essa variável também foi introduzida por HORTON (1945), assim como a razão de bifurcação. Este índice expressa a relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem e o comprimento médio dos canais da ordem imediatamente inferior:

$$Rlm = \frac{Lmi}{Lmi - 1}$$

onde: Lmi - comprimento médio dos canais de determinada ordem

Lmi-1 - comprimento médio dos canais da ordem imediatamente inferior

A Tabela 20 apresenta os valores das variáveis morfométricas, relativas à composição da rede de drenagem, obtidas para sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão nas duas épocas (1972, 1995).

Tabela 20 – Variáveis Morfométricas relacionadas à composição da rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão.

Parâmetros Morfométricos	Símb.	1972	1995
Número total de canais	Nt	643	379
Número de canais de ordem 1	N1	510	284
Número de canais de ordem 2	N2	105	73
Número de canais de ordem 3	N3	23	17
Número de canais de ordem 4	N4	4	4
Número de canais de ordem 5	N5	1	1
Comp. total da rede de drenagem(km)	Lt	192,274	140,307
Comp. dos canais de ordem 1(km)	L1	97,879	66,126
Comp. dos canais de ordem 2(km)	L2	52,842	34,803
Comp. dos canais de ordem 3(km)	L3	17,109	19,590
Comp. dos canais de ordem 4(km)	L4	18,545	13,846
Comp. dos canais de ordem 5(km)	L5	5,990	5,942
Comp. Médio dos canais de ordem 1(km)	Lm1	0,191	0,232
Comp. Médio dos canais de ordem 2(km)	Lm2	0,503	0,476
Comp. Médio dos canais de ordem 3(km)	Lm3	0,743	1,152
Comp. Médio dos canais de ordem 4(km)	Lm4	4,613	3,461
Comp. Médio dos canais de ordem 5(km)	Lm5	5,990	5,942
Relação de bifurcação (1-2)	Rb(1-2)	4,857	1,334
Relação de bifurcação (2-3)	Rb(2-3)	4,565	4,294
Relação de comprimento médio (2-1)	Rlm(2-1)	2,633	2,051
Relação de comprimento médio (3-2)	Rlm(3-2)	1,477	2,420
Densidade de drenagem	Dd	3,095	2,258
Densidade hidrográfica	Dh	8,209	4,571
Coefficiente de manutenção (m ² /m)	CM	323,096	442,764
Textura topográfica	Tt	5,844	4,113

O parâmetro número de canais permite observar, em uma avaliação primária e simplista, que a principal alteração sofrida pela sub-bacia hidrográfica é a diminuição do número de canais de drenagem, os quais passaram do número total de 643, em 1972, para 379, em 1995 (Figura 28). Isto corresponde a uma diminuição de 41,06% do número de canais de drenagem.

Figura 28 – Rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão. Notar a diminuição no número de canais entre os anos de 1972 (A) e 1995(B).

O índice N_i mostra que a diminuição do número de canais de drenagem foi acentuadamente maior junto aos canais de ordem 1 (51,4%) e ordem 2 (30,47%), sendo pouco significativa para os canais de ordem 3 (26,08%) e não havendo qualquer alteração no número de canais de ordem 4 e 5 (Figura29).

Os valores de comprimento total da rede, obtidos para 1972 e 1995, permitem verificar que as alterações ocorridas em termos de perda na extensão linear dos canais foi de 27,03%. Assim como no número de canais por ordem, as alterações mais acentuadas foram registradas nos canais de ordem 1 e 2, com diminuição da extensão linear em 32,44% e 34,14%, respectivamente, e pouco menos significativas nos canais de ordem 4 (25,34%). Com relação aos canais de ordem 5, verifica-se que, praticamente, não houve alteração (0,8%). De forma contrária, observa-se nos canais de ordem 3 um aumento da extensão linear de escoamento superficial de 14,5% (Figura 30). Pode-se entender que este aumento tenha contribuído para que as perdas ocorridas, em termos de extensão linear total dos canais de drenagem não tenham sido tão expressivas como a que foi registrada pela grande diminuição do número total de canais.

Figura 29 – Número de canais por ordem de ramificação.

Figura 30 –Comprimento linear dos canais de drenagem por ordem de ramificação.

As alterações nos parâmetros número total de canais de drenagem (N_t), número de canais por ordem (N_i), comprimento total da rede de drenagem (L_t) e comprimento dos canais por ordem (L_i) são as principais ocorridas na sub-bacia e condicionam as modificações observadas nas variáveis densidade hidrográfica (D_h), densidade de drenagem (D_d), textura topográfica (T_t), relação de bifurcação (R_b), coeficiente de manutenção (CM) e relação de comprimento médio (R_{lm}), uma vez que estas são determinadas a partir de relações que se utilizam dos parâmetros N_t , N_i , L_t e L_i .

O comprimento médio dos canais por ordem apresenta variações pouco significativas, em termos de diminuição de seus valores, junto aos canais de ordem 2 (5,37%) e 4 (24,97%), quase não se verifica modificações nos canais de ordem 5 (0,8%). Junto aos canais de ordem 1 e 3, são observadas alterações positivas, aumento de seus valores, em 21,47% e 55,05% respectivamente.

Os valores obtidos para o índice densidade de drenagem revelam que a sub-bacia hidrográfica passou, de acordo com os intervalos de variação estabelecidos por VILLELA & MATTOS (1975),

da condição de excepcionalmente bem drenada à condição de bem drenada. Isto indica que o grau de desenvolvimento da rede de drenagem sofreu uma alteração negativa, provocado pela diminuição da extensão linear de escoamento dos canais de drenagem, em especial dos canais de ordens 1 e 2. Esta diminuição não pode ser atribuída a fatores do meio físico como substrato rochoso e materiais inconsolidados, pois os mesmos não sofreram modificações significativas no período de tempo analisado, capazes de condicionar tais mudanças na rede de drenagem. Estas modificações são condicionadas por atividades antrópicas.

FRANÇA (1968) estabeleceu, para o parâmetro textura topográfica, faixas de variação de valores que determinam classes de texturas topográficas. As classes estabelecidas (Tabela 21) indicam o grau de dissecação da topografia devido ao número de rios da bacia.

Tabela 21 – Classes de textura topográfica (modificada de FRANÇA, 1968).

Classe de Textura Topográfica	Razão de Textura
Grosseira	Abaixo de 2,5
Média	Entre 2,5 e 6,2
Fina	Acima de 6,2

De acordo com os valores apresentados na tabela acima, a sub-bacia do ribeirão Piçarrão enquadra-se na classe de textura topográfica média, tanto no ano de 1972 como em 1995.

As diferenças nos valores de razão de bifurcação, estabelecidas para os canais de ordem 1 e 2, confirmam o quadro apresentado pelo índice Ni. Este índice mostra que as alterações mais significativas são observadas junto aos canais de ordem 1 e 2, com diminuição de 72,53%. O mesmo não ocorre com a razão de bifurcação entre os canais 2 e 3, a qual se mostrou praticamente inalterada (diminuição

de 5,94%), confirmando que as maiores modificações na estruturação da rede de drenagem ocorreram no nível hierárquico 1.

O coeficiente de manutenção apresenta uma relação inversa com a densidade de drenagem, portanto uma diminuição no valor deste parâmetro corresponde a um aumento no grau de desenvolvimento da rede de drenagem, implicando em um aumento da dissecação do relevo e uma diminuição da área disponível para entalhamento de novos canais. Para a sub-bacia em questão, foi observado o processo contrário, ou seja, o aumento no valor do coeficiente de manutenção, o qual não indica um aumento de área disponível para entalhamento de canais, mas sim uma diminuição de número de canais da sub-bacia, devido, principalmente, à impermeabilização do terreno, pela implantação de áreas urbanas.

O parâmetro razão de comprimento médio, obtido para a relação entre os canais de ordens 2 e 1, apresenta diminuição de seus valores de 22,1%. Apesar da alteração no valor absoluto do comprimento total destes canais ter sido pouco significativa, a sua porcentagem de diminuição confirma o quadro caracterizado pelos índices número de canais (N_i) e comprimento dos canais por ordem (L_i). A relação estabelecida entre os canais de ordens 3 e 2 apresenta, de maneira contrária, um aumento de seus valores (63,84%), o que pode ser atribuído ao aumento do comprimento total dos canais de ordem 3, fato que também foi registrado no valor de comprimento médio destes.

6.4 – AVALIAÇÃO TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS DE USO E OCUPAÇÃO DO MEIO FÍSICO

A análise dos parâmetros morfométricos relativos à composição da rede de drenagem revelou que o quadro das mudanças sofridas pela sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão é caracterizado por alterações negativas, condicionadas pela diminuição do número

de canais de drenagem de ordem 1 e 2 e pela diminuição do comprimento de suas extensões lineares. Tais alterações influenciaram o comportamento de outros índices morfométricos, como Dd, Dh, Rb, Cm, etc. Para se estabelecer como os fatores externos ao funcionamento da bacia (atividades e processos ligados ao desenvolvimento de uma área urbana) podem ter afetado o comportamento da rede de drenagem, efetuou-se uma análise temporal, onde foram levantadas as condições da sub-bacia (características da rede de drenagem e tipo de atividade e/ou processo antrópico vigente), com o objetivo de se determinar quais processos podem ser responsabilizados como prováveis causadores das mudanças ocorridas. A análise temporal consistiu de uma análise comparativa baseada na fotointerpretação de fotografias aéreas de 1972 e 1995 e nas informações apresentadas no mapa de uso e ocupação da área. Esta análise permitiu estabelecer quatro principais atividades e/ou processos ligados ao desenvolvimento de uma área urbana ocorridos na sub-bacia, a saber:

1. Expansão da área de centro urbano caracterizada pelo aumento da taxa de ocupação por edificações e significativas mudanças no tipo de ocupação. O centro urbano passou da condição de possuir prioritariamente construções residenciais esparsas com ruas desprovidas de asfalto para uma área com grande concentração de imóveis residenciais e comerciais e ruas dotadas de asfalto;
2. Desenvolvimento de novos núcleos habitacionais na região noroeste e sudoeste da sub-bacia, caracterizados por áreas com taxa de ocupação contendo edificações medianamente a pouco adensadas, com construções tipicamente residenciais e ruas pavimentadas;
3. Implantação de obras de grande e médio porte, como rodovias, ferrovias e aterros sanitários;

4. Retirada da cobertura vegetal envolvendo tanto a eliminação completa da cobertura original como a sua substituição da por pastagem e eucaliptos.

A Figura 31 apresenta algumas dessas atividades antrópicas mencionadas. É mostrado um quadro comparativo dos anos de 1972 e 1995, elaborado a partir da fotointerpretação das fotografias aéreas que permite observar as alterações ocorridas nas atividades antrópicas (atividades e processos ligados ao desenvolvimento de áreas urbanas) vigentes na sub-bacia nas duas épocas.

Figura 31 – Algumas das principais atividades antrópicas registradas na sub-bacia hidrográfica. A) 1972 e B) 1995.

Para a análise temporal comparativa das modificações das atividades antrópicas e da estruturação da rede de drenagem efetuada na sub-bacia foi dada preferência aos dados obtidos no processo de fotointerpretação, em relação aos obtidos da imagem de satélite. Tal fato justifica-se devido à melhor resolução espacial fornecida pelas fotografias aéreas. Os dados fornecidos pela imagem de satélite foram utilizados sempre em conjunto com a análise das fotografias aéreas referentes a 1995. Tal procedimento garantiu um melhor aproveitamento das informações espectrais (fornecidas pela imagem) e espaciais (fornecidas pelas fotografias).

6.5 – ANÁLISE DE BACIAS DE ORDEM 3

Com o objetivo de facilitar o entendimento da ligação entre as atividades antrópicas desenvolvidas na sub-bacia hidrográfica e as alterações ocorridas na rede de drenagem, foi feita uma segmentação da sub-bacia em microbacias (bacias de ordem 3). A seguir procedeu-se uma avaliação individual das alterações ocorridas em cada microbacia no período analisado que buscou registrar o tipo de atividade antrópica principal desenvolvida e como esta influenciou nas modificações da rede de drenagem.

A escolha da análise por microbacias de ordem 3 baseou-se no fato destas apresentarem, em relação às bacias de ordem 2 de ramificação e aos canais de ordem 1, uma melhor estruturação e um maior grau de estabilidade. Estas características permitem a obtenção de dados mais representativos para fins comparativos, e também pelo fato destas microbacias serem muito utilizadas em estudos que empregam análises morfométricas (STRAHLER, 1957; FRANÇA, 1968; CARVALHO et al., 1981; CAMPOS et al., 1994).

A análise realizada baseou-se principalmente nas mudanças ocorridas nos parâmetros número total de canais (Nt), número de canais por ordem (Ni), comprimento total dos canais (Lt) e

comprimento dos canais por ordem (Li), em função dos mesmos terem sido os que melhor caracterizaram o quadro das alterações sofridas pela sub-bacia hidrográfica.

A segmentação da sub-bacia do Ribeirão do Piçarrão em microbacias foi feita inicialmente para o ano de 1972, com a delimitação de 23 bacias de ordem 3. Posteriormente foi efetuada uma verificação, por meio de análise comparativa de fotografias aéreas, do que ocorreu com cada microbacia em 1995. A análise comparativa permitiu observar que das 23 bacias delimitadas em 1972, 10 estavam presentes também em 1995, 12 desapareceram ou passaram a bacias de ordem menor e 1 foi subdividida em duas novas microbacias. Foi observado também o surgimento de cinco novas bacias em 1995.

Visando facilitar a análise individual de cada microbacia, adotou-se a simbologia do tipo letra/número, onde a letra designa as bacias que são comuns aos anos de 1972 e 1995 e o número designa as bacias não comuns aos dois anos, isto é, presentes apenas em 1972. Segundo a classificação adotada, as bacias comuns são: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e K; e as bacias não comuns são: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 (Figura 32).

Figura 32 – Delimitação das microbacias de ordem 3. A) 1972 e B) 1995.

Na Tabela 22, é apresentado um quadro explicativo resumido das microbacias delimitadas em 1972 e das alterações registradas em 1995, com suas prováveis causas. A descrição mais detalhada das alterações ocorridas é apresentada a seguir.

Tabela 22 – Quadro resumido das alterações registradas nas microbacias. A) Bacias de ordem 3 comuns e B) Bacias de ordem 3 não comuns.

A)

Bacia (1972)	Alteração registrada (1995)	Causa Provável
B3 _A	Aumento da extensão areal, do número e do comprimento de canais.	Aumento da taxa de ocupação, impermeabilização do solo e canalização de drenagens.
B3 _B	Diminuição do número e do comprimento total dos canais de drenagem.	Construção de um conjunto habitacional e expansão do centro urbano.
B3 _C	Diminuição do número e do comprimento dos canais de drenagem.	Instalação do campus da PUCC II, diminuição da área vegetada e surgimento de áreas de solo exposto.
B3 _D	Diminuição do número e do comprimento total dos canais de drenagem, com aumento do número e do comprimento dos canais de ordem 2.	Retirada de cobertura vegetal e surgimento de área de solo exposto.
B3 _E	Aumento da extensão areal, do número e do comprimento dos canais de drenagem.	Instalação de um aterro sanitário e abertura da Rodovia dos Bandeirantes.
B3 _F	Subdivisão em duas novas microbacias de ordem 3.	Abertura da rodovia dos Bandeirantes.
B3 _G	Aumento da extensão areal, do número e do comprimento dos canais de drenagem.	Abertura da Rodovia dos Bandeirantes e alteração da cobertura vegetal.
B3 _H	Aumento da extensão areal, do número e do comprimento dos canais de drenagem.	Novo direcionamento sofrido pela microbacia B3 _G .
B3 _I	Diminuição do número e do comprimento total dos canais de drenagem.	Construção de edificações (sítios e chácaras) e alteração da cobertura vegetal.
B3 _J	Diminuição do número de canais de ordem 1 e do comprimento total dos canais de drenagem.	Construção de um conjunto habitacional e alteração da cobertura vegetal.
B3 _K	Diminuição do número de canais de ordem 1 e do comprimento total dos canais de drenagem.	Construção de um conjunto habitacional, alteração da cobertura vegetal com surgimento de áreas com solo exposto.

Tabela 22– Quadro resumido das alterações registradas nas microbacias. A) Microbacias comuns e B) Microbacias não comuns (continuação).

B)

Bacia (1972)	Alteração registrada (1995)	Causa Provável
B3 ₁	É inexistente.	Aumento da taxa de ocupação e impermeabilização do solo.
B3 ₂	Passou a drenagem de ordem 1.	Canalização do curso principal.
B3 ₃	Passou a drenagem de ordem 1.	Instalação de aterro sanitário.
B3 ₄	Passou a drenagem de ordem 1.	Construção de um conjunto habitacional.
B3 ₅	Passou a bacia de ordem 2.	Instalação de área habitacional (sítios e chácaras).
B3 ₆	Passou a bacia de ordem 2.	Construção de um conjunto habitacional.
B3 ₇	Passou a bacia de ordem 2.	Alteração da cobertura vegetal.
B3 ₈	Passou a bacia de ordem 2.	Alteração da cobertura vegetal.
B3 ₉	Passou a bacia de ordem 2.	Construção de um conjunto habitacional e abertura de estrada de ferro.
B3 ₁₀	Passou a bacia de ordem 2.	Alteração da cobertura vegetal e expansão de um complexo avícola.
B3 ₁₁	Passou a drenagem de ordem 1.	Alteração da cobertura vegetal
B3 ₁₂	Passou a bacia de ordem 2.	Alteração da cobertura vegetal e construção de edificação (fazenda).

➤ Bacias de ordem 3 Comuns

- B3_A

Esta microbacia apresentou como alteração mais significativa o aumento da sua extensão areal, seguido do aumento do número e do comprimento total dos canais (Tabela 23).

Tabela 23 –Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_A.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	13,16	24,28	(+) 84,49
Número total de canais	18	29	(+) 61,11
Comprimento total dos canais (km)	13,89	23,74	(+) 70,91
Número de canais de ordem 1	15	23	(+) 53,33
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	8,02	11,77	(+) 46,75
Número de canais de ordem 2	2	5	(+) 150
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	4,02	2,77	(+) 31,09
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	1,87	9,19	(+) 391,44

O aumento da extensão areal da microbacia pode ser atribuído ao desaparecimento de duas bacias de ordem 3, localizadas na margem esquerda da cabeceira da sub-bacia hidrográfica. Tal fato levou a permanência do curso de ordem 3 da microbacia até a confluência com outra microbacia de terceira ordem. Como decorrência deste fato, ocorreu um aumento da extensão linear do curso de ordem 3 e fez com que a delimitação desta microbacia passasse a abranger uma área maior. O aumento do comprimento de extensão canais foi acarretado por dois fatores, o primeiro foi o aumento da extensão areal, anteriormente mencionado permitindo que novos cursos de drenagem passassem a integrar esta microbacia; e o segundo foi o surgimento de novos canais na cabeceira da microbacia (Figura33).

Figura 33 – Aumento em extensão da microbacia B3_A. A) 1972 e B) 1995. Notar o surgimento de novos canais de drenagem na cabeceira da microbacia.

A principal atividade antrópica registrada na área foi o aumento da taxa de urbanização (ocupação da área por edificações), com o aumento da impermeabilização do solo, o que levou ao desaparecimento de alguns canais de drenagem. A impermeabilização do terreno, por sua vez, provocou a diminuição da área naturalmente disponível a instalação de cursos de drenagem e promoveu o redirecionamento da rede de drenagem por meio do processo de canalização dos cursos de drenagens principais. Este processo levou também a restrição de tributários primários (canais de ordem 1 e 2), alterando assim a estruturação da rede de drenagem (Figura 34). Nos locais onde os cursos não foram canalizados (cabeceira da microbacias) houve o surgimento de canais primários. Tal fato pode ser entendido como uma tentativa de estabelecimento de equilíbrio da rede de drenagem alterada. Também foi observada, no âmbito das atividades antrópicas, a retirada de cobertura vegetal que passou a

ser substituída, em alguns locais, por vegetação rasteira. Em outros locais, houve a retirada total da cobertura vegetal levando à ocorrência de áreas com material inconsolidado exposto.

Figura 34 – Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3_A A)1972 e B)1995. A seta destaca mesma porção do canal principal antes de ser canalizado e após a canalização. Notar o desaparecimento de canais após a canalização.

- B3_B

As alterações registradas nesta microbacia são marcadas pela diminuição de seu número e de seu comprimento total de canais (Tabela 24). Estas modificações foram verificadas principalmente junto ao canais de ordem 1, podendo serem atribuídas ao surgimento de um conjunto habitacional e ao avanço da área de centro urbano, o que levou ao desaparecimento de alguns canais e à diminuição da extensão linear de outros canais de drenagem (Figura35). Houve também alteração da cobertura vegetal.

Tabela 24 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_B

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	1,78	1,78	-
Número total de canais	28	8	(-) 71,42
Comprimento total dos canais (km)	7,02	2,57	(-) 63,39
Número de canais de ordem 1	22	5	(-) 77,27
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	3,85	1,31	(-) 65,97
Número de canais de ordem 2	5	2	(-) 60
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	1,785	0,409	(-) 77,52
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	1,38	0,85	(-) 38,40

Figura 35 – Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3_B A)1972 e B)1995. Notar a diminuição do número de canais após o aumento da taxa urbana comercial e de ocupação por edificações (indicado pela seta).

- B3_C

Assim como na bacia B3_B, esta microbacia apresenta como principal alteração a diminuição de seu número e comprimento de canais, em especial junto aos canais de ordem 1 (Tabela 25). Tal modificação pode ser atribuída à instalação do campus da PUCC II, o que gerou o desaparecimento de canais e a ocorrência de áreas de material inconsolidado exposto, pela diminuição da área vegetada (Figura36).

Tabela 25 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_C.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	0,79	0,79	-
Número total de canais	27	9	(-) 66,66
Comprimento total dos canais (km)	5,38	2,24	(-) 58,36
Número de canais de ordem 1	21	6	(-) 71,42
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	2,85	1,10	(-) 61,4
Número de canais de ordem 2	5	2	(-) 60
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	1,92	0,69	(-) 64,06
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,60	0,44	(-) 26,66

Figura 36 - Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3_C A)1972 e B)1995. Notar a diminuição do número de canais após a instalação do Campus PUCC II.

- B3_D

A microbacia B3_D sofreu diminuição no número e comprimento total de canais drenagens, sendo registrado também um aumento no número e comprimento dos canais de ordem 2 (Tabela 26).

Tabela 26 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_D.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	0,87	0,87	-
Número total de canais	22	20	(-) 9,09
Comprimento total dos canais (km)	5,03	4,48	(-) 10,93
Número de canais de ordem 1	19	15	(-) 21,05
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	3,24	2,26	(-) 30,24
Número de canais de ordem 2	2	4	(+) 100
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	1,05	1,28	(+) 21,9
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,73	0,94	(+) 28,76

Nesta microbacia, a principal atividade antrópica registrada foi a diminuição da cobertura vegetal (vegetação rasteira), levando ao surgimento de áreas de solo exposto, o que gerou um redirecionamento da rede de drenagem marcado principalmente pelo surgimento de canais de ordem 2.

- B3_E

Esta microbacia apresentou alterações positivas marcadas pelo aumento de sua extensão areal e também do número e do comprimento de canais de drenagem (Tabela 27). Outra alteração sofrida pela microbacia foi a mudança na direção de alguns cursos de drenagem.

As alterações ocorridas na microbacia são atribuídas, principalmente, à instalação de um aterro sanitário (Complexo Delta A), o que provocou a um novo direcionamento do curso do canal de ordem 3, acarretando um aumento da sua extensão linear. O novo direcionamento e o aumento deste curso de drenagem trouxe como consequência uma nova delimitação da microbacia, a qual passou a abranger uma área maior e a incorporar novos segmentos de drenagem. Também foi registrado um novo direcionamento dos

canais de ordem 2 da cabeceira da microbacia acarretado pela abertura da Rodovia dos Bandeirantes (Figura 37).

Tabela 27 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_E.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	1,21	1,62	(+) 33,88
Número total de canais	35	37	(+) 5,71
Comprimento total dos canais (km)	7,56	9,41	(+) 24,47
Número de canais de ordem 1	28	29	(+) 3,57
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	4,70	4,55	(-) 3,19
Número de canais de ordem 2	6	7	(+) 16,66
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	2,38	3,21	(+) 34,87
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	1,47	1,64	(+) 11,56

Figura 37 - Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3_E A)1972 e B)1995. Notar o novo direcionamento sofrido pelos canais na cabeceira da bacia.

- B3_F

A principal alteração registrada nesta microbacia foi a sua subdivisão em duas novas bacias de ordem 3. A Tabela 28 apresenta um quadro dos parâmetros referentes à rede de drenagem da microbacia para os anos de 1972 e 1995.

Tabela 28 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_F.

Características da Bacia	1972	1995		% de Alteração
		B3 _{F1}	B3 _{F2}	
Área (km)	0,55	0,18	0,36	-
Número total de canais	32	13	17	(-) 6,25
Comprimento total dos canais (km)	5,22	1,78	2,98	(-) 8,62
Número de canais de ordem 1	24	10	13	(-)4,16
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	2,83	0,97	1,91	(+) 1,76
Número de canais de ordem 2	7	2	5	(-) 28,57
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	1,47	0,58	0,41	(-) 52
Número de canais de ordem 3	1	1	1	(+) 100
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,91	0,22	0,66	(-) 32,96

As alterações registradas na microbacia têm por principais fontes causadoras a abertura da Rodovia dos Bandeirantes e a modificação ocorrida na cobertura vegetal, marcada pelo aumento da área com mata capoeira. Tais alterações levaram a uma reordenação da rede de drenagem, com o surgimento de novos canais primários, responsáveis pelo aumento da ordem de ramificação da microbacia B3_{F2} (Figura38).

Figura 38 - Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3_F A)1972 e B)1995. Notar a subdivisão da bacia em F1 e F2.

- B3_G

A microbacia passou a apresentar em 1995 um aumento de sua área de drenagem, juntamente com um aumento do número e comprimento total de canais (Tabela 29). Tal alteração foi acarretada por um novo direcionamento sofrido pelo curso de drenagem principal da microbacia, em função da abertura da Rodovia dos Bandeirantes e das modificações (diminuição de área) na cobertura vegetal.

Tabela 29 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_G.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	0,29	0,30	(+) 0,33
Número total de canais	8	10	(+) 25
Comprimento total dos canais (km)	1,81	1,83	(+) 1,10
Número de canais de ordem 1	5	7	(+) 40
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	1,38	0,68	(-) 50,72
Número de canais de ordem 2	2	2	-
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	0,22	0,30	(+) 36,36
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,19	0,84	(+) 342,10

- B3_H

Esta microbacia assim como a anterior passou a apresentar um aumento da área, número e comprimento de canais (Tabela 30). Tais modificações foram devidas às alterações ocorridas na microbacia G que, com seu novo direcionamento no curso de drenagem principal, provocou um deslocamento no curso de alguns canais da bacia H. Outra modificação registrada foi a diminuição da área vegetada.

Tabela 30 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_H.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	0,29	0,30	(+) 29,41
Número total de canais	8	10	(+) 11,11
Comprimento total dos canais (km)	1,81	1,83	(+) 41,42
Número de canais de ordem 1	5	7	(+) 16,66
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	1,38	0,68	(+) 25,67
Número de canais de ordem 2	2	2	-
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	0,22	0,30	(+) 176,19
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,19	0,84	(+) 6,97

- B3_I

Nesta microbacia, foram registradas alterações com taxas negativas, refletidas na diminuição do número de canais de drenagem, e registrada mais acentuadamente junto aos canais de ordem 1 (Tabela 31). Como atividades antrópicas possíveis de acarretar estas modificações, foram registradas a instalação de um núcleo habitacional (sítios e chácaras), o que levou ao desaparecimento de alguns canais, e à alteração da cobertura vegetal, marcada pelo aumento da área de pastagem.

Tabela 31 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_I.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	1,72	1,72	(-) 44,44
Número total de canais (km)	27	15	(-) 22,67
Comprimento total dos canais (km)	7,85	6,07	(-) 45
Número de canais de ordem 1	20	11	(-) 25,9
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	3,59	2,66	(-) 50
Número de canais de ordem 2	6	3	-
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	2,64	2,42	(-) 8,33
Número de canais de ordem 3	1	1	-
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	1,54	0,98	(-) 36,36

- B3_J

A microbacia B3_J apresentou como principal modificação a diminuição do número de canais de ordem 1 e do comprimento total dos canais (Tabela 32). Estas modificações foram acarretadas pela instalação de um núcleo habitacional (área medianamente ocupada) e também pela diminuição de áreas vegetadas, as quais passaram a ser ocupadas basicamente por pastagens.

Tabela 32 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_J.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	2,56	2,56	-
Número total de canais	14	10	(-) 28,57
Comprimento total dos canais (km)	7,94	5,65	(-) 28,84
Número de canais de ordem 1	11	7	(-) 36,36
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	4,85	3,25	(-) 32,98
Número de canais de ordem 2	2	2	
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	2,34	1,99	(-) 14,95
Número de canais de ordem 3	1	1	
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,74	0,40	(-) 45,27

- B3_K

As alterações ocorridas na microbacia foram marcadas pela restrição no número e comprimento de seus canais de drenagem, em especial, junto aos canais de ordem 1 (Tabela 33). As atividades antrópicas mais relevantes registradas nesta microbacia estão relacionadas à instalação de um núcleo habitacional (área medianamente habitada) e à alteração da cobertura vegetal, com o conseqüente surgimento de áreas de solo exposto. Tais atividades foram responsáveis pela diminuição de canais tributários primários (ordem 1 e 2) desta microbacia.

Tabela 33 - Parâmetros da rede de drenagem da microbacia B3_K.

Características da Bacia	1972	1995	% de Alteração
Área (km)	0,87	0,87	-
Número total de canais	14	8	(-) 42,85
Comprimento total dos canais (km)	3,68	2,38	(-) 35,32
Número de canais de ordem 1	11	5	(-) 54,54
Comprimento dos canais de ordem 1 (km)	1,89	1,05	(-) 44,44
Número de canais de ordem 2	2	2	
Comprimento dos canais de ordem 2 (km)	0,89	0,46	(-) 48,31
Número de canais de ordem 3	1	1	
Comprimento dos canais de ordem 3 (km)	0,90	0,86	(-) 4,44

➤ Bacias de Ordem 3 Não Comuns

Os comentários e análises sobre as alterações ocorridas nas microbacias não comuns, não levarão em conta as características morfométricas relativas à composição da rede de drenagem, em função do fato que grande parte destas bacias passou à condição de microbacia de ordem 2 ou canal de ordem 1, não apresentando, assim, parâmetros passíveis de comparação.

- B3₁

Esta microbacia não foi registrada nas fotos aéreas de 1995. Seu desaparecimento é atribuído ao processo de aumento da taxa de ocupação por edificações, e por conseguinte a impermeabilização do solo que levou ao desaparecimento de cursos de drenagem que compunham esta microbacia.

- B3₂

A microbacia B3₂ foi reduzida a um único canal de ordem 1, devido à canalização de seu curso principal. Este processo ensejou a restrição da contribuição dos canais primários e da extensão linear

superficial do canal principal. Tais restrições geradas pela canalização do canal principal foram devidas principalmente ao aumento da taxa de ocupação na microbacia.

- B3₃ e B3₄

As microbacias B3₃ e B3₄ passaram a canais de ordem 1. As principais causas da ocorrência de tal fato foram, para B3₃, a instalação do Complexo de Aterro Sanitário Parque Santa Bárbara (atualmente desativado) e de um conjunto habitacional, levando a diminuição dos canais primários e a manutenção apenas do curso principal (Figura39); para B3₄ as causas foram a implementação de um conjunto habitacional juntamente com a retirada de aproximadamente 80% da cobertura vegetal, inibindo a permanência dos canais primários.

Figura 39 - Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3₃ A)1972 e B)1995. Notar a diminuição do número de canais após a instalação do Aterro Parque Santa Bárbara e de um conjunto habitacional.

- B3₅, B3₆, B3₇, B3₈, B3₉ e B3₁₀

Estas microbacias passaram a existir como microbacias de ordem 2, tendo como causas:

- bacia B3₅ - a instalação em sua área de sítios e chácaras, o que levou à abertura de estradas não pavimentadas e à alteração da cobertura vegetal com conseqüente diminuição dos tributários de ordem 1 e 2;
- bacia B3₆ foi registrada a implantação de um conjunto habitacional, que propiciou a diminuição dos canais de ordem 1 (Figura 40);
- bacia B3₇, tanto a alteração da cobertura vegetal, que foi substituída principalmente por pastagem , o que levou à diminuição dos canais de ordem 1 como a ocorrência de áreas de solo exposto;
- bacia B3₈, a retirada da cobertura vegetal para a instalação de áreas de cultivo de hortaliças;
- bacia B3₉, a implantação de um conjunto habitacional e abertura da estrada de ferro da FEPASA;
- bacia B3₁₀, a expansão da área ocupada por uma granja e a alteração da cobertura vegetal, que foi substituída por pastagem e eucaliptos.

Figura 40 - Detalhe em fotografia aérea da microbacia B3₆ A)1972 e B)1995. Notar a diminuição do número de canais após a ocupação da área pelo conjunto habitacional.

- B3₁₁ e B3₁₂

Estas microbacias passaram a canal de ordem 1 e bacia de ordem 2, respectivamente. Ambas apresentaram tais alterações principalmente pela modificação ocorrida na cobertura vegetal. Na bacia B3₁₁ esta modificação foi gerada pela abertura da Rodovia dos Bandeirantes e na bacia B3₁₂ pela instalação de uma fazenda.

6.6 - AVALIAÇÃO DO QUADRO AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PIÇARRÃO

O quadro ambiental vigente na sub-bacia hidrográfica foi estabelecido, principalmente, com base em dois atributos: 1) o tipo de atividade antrópica desenvolvida na área e 2) as alterações registradas na rede de drenagem por influência destas atividades. Somadas a estes atributos, foram consideradas, também, as seguintes características referentes ao meio físico: substrato rochoso, materiais inconsolidados e declividade do terreno.

Como resultado da análise destes atributos, obteve-se a segmentação da bacia em três faixas com graus de degradação

ambiental diferentes, variando entre pouco e muito degradada. O grau de degradação de cada faixa foi determinado em função do tipo e intensidade de alteração sofridos pela rede de drenagem. A delimitação das faixas de degradação foi realizada de acordo com o tipo de atividade antrópica predominante.

A adoção da rede de drenagem como principal indicador e quantificador da degradação baseou-se no fato da mesma representar um importante geoindicador, capaz de possibilitar a avaliação e a mensuração das as modificações ocorridas em uma bacia hidrográfica. Para o estabelecimento dos graus de degradação, foram organizados os tipos de alterações registradas na área em uma escala de degradação (Figura 41). A intensidade de ocorrência foi determinada em função do número de vezes que cada alteração ocorreu em cada faixa, sendo as alterações na rede de drenagem medidas com relação às microbacias de ordem 3.

A adoção de faixas de degradação, delimitadas em função das atividades antrópicas predominantes, foi preferida pelo fato destas influenciarem e/ou determinarem o tipo e o grau de alteração sofrido pela rede de drenagem. Esta condição propicia o desenvolvimento de áreas às quais, de acordo com as atividades vigentes, estão associados graus e tipos de degradação específicos. A Figura 42 apresenta a segmentação da bacia de acordo com as faixas de degradação estabelecidas.

Figura 41 – Escala de graus de alteração estabelecidos para área de estudo.

Figura 42 – Segmentação da sub-bacia hidrográfica em faixas de degradação.

As características das faixas de degradação delimitadas são apresentadas a seguir:

Faixa 1

Esta faixa apresenta-se constituída por arenitos do Subgrupo Itararé, com ocorrência secundária de ritmitos (Subgrupo Itararé) presentes de forma localizada na porção centro-oeste e nordeste da área, além de diabásios e basaltos (jurássicos) e biotitas gnaisses (Embasamento Cristalino) na porção extremo norte/nordeste da área. Com relação aos materiais inconsolidados, a maior ocorrência é representada pela unidade V, de textura predominante areno-argilosa a argilo-arenosa, com presença de argilominerais pouco ativos, e secundariamente pelas unidades II, de fácies arenosa; IV, formada por material residual de fácies siltosa; VI, caracterizada por materiais retrabalhados, pouco ativos, lateríticos; IX, caracterizada como produto de alteração de rochas gnássicas, apresentando granulometria grosseira com muitos fragmentos rochosos; e X, constituída por argilominerais e pouco quartzo. As faixas de declividade predominantes são <2% e 2-5%; secundariamente, observa-se faixas com declividade 5-10% e, de forma mais restrita, faixas com declividade acima de 10%.

O grau de alteração desta faixa foi atribuído como baixo em função da predominância do processo de desestruturação da configuração original da rede de drenagem, devido à diminuição dos atributos número e comprimento linear dos canais de ordens 1 e 2 (microbacia B, C e D), sem alterar a ordem de ramificação das microbacias. De forma secundária, foram observados redução da ordem de ramificação (microbacia 2) e desaparecimento de uma bacia (microbacia 1).

O desenvolvimento das atividades antrópicas registradas, a seguir descritas, possibilitou a definição nesta faixa de dois

comportamentos diferentes da rede de drenagem. O primeiro deles é caracterizado como resposta as atividades antrópicas, como o a consolidação do centro urbano, responsável pelo desenvolvimento de impactos muito negativos, e o segundo por atividades como a retirada da cobertura vegetal, responsável pela geração de impactos menos negativos.

O desenvolvimento do centro urbano influenciou diretamente o comportamento da rede de drenagem e as alterações sofridas pelas microbacias 1, 2 e A são reflexos dela. As atividades responsáveis pela redução do número e comprimento linear dos canais apresentam origens diferentes como alteração da cobertura vegetal e instalação da PUCC II. Foi observado, nesta faixa, que o desenvolvimento dessas duas atividades provocaram respostas semelhantes da rede de drenagem em termos de alteração.

Cabe ressaltar que o fato da Faixa 1 já se apresentar densamente ocupada em 1972 pode ser o responsável por ela não mostrar alterações muito significativas na rede de drenagem. Entende-se que, para o período analisado, esta faixa encontra-se desde há muito tempo alterada pelo processo de urbanização, não havendo condições, portanto, para que a rede de drenagem pudesse sofrer alterações significativas.

Faixa 2

A área de abrangência desta faixa corresponde quase que totalmente à área de ocorrência dos ritmitos do Subgrupo Itararé. De forma secundária, ocorrem arenitos (Subgrupo Itararé) na porção extremo sul e basaltos na porção extremo norte. Os materiais inconsolidados presentes nesta faixa são representados pelas unidade IV, proveniente dos ritmitos da Formação Itararé, com textura predominante silto-argilosa; unidade II, proveniente dos arenitos da Formação Itararé, apresentando arenitos finos a

grosseiros, feldspáticos e minerais micáceos; e unidade X, proveniente dos basaltos e diabásios, composta por argilominerais e pouco quartzo e com ocorrência de canga laterítica. As faixas de declividade presentes são marcadas por valores mais altos, predominando áreas com declividade de 5-10% e 10-20% e ocorrência localizada de áreas com valores <2% e 2-5%.

O grau de alteração desta faixa foi determinado pela predominância da diminuição do número e do comprimento linear dos canais, somada à ocorrência de deslocamentos de cursos de canais. Estes fatos conferiram uma desestruturação da configuração original da rede de drenagem das microbacias E, F, G e H. Estas modificações acarretaram alterações secundárias como o aumento da área de abrangência e a subdivisão de microbacias. Alterações por redução da ordem de ramificação foram registradas apenas nas microbacias 11 e 12.

As principais atividades antrópicas desenvolvidas nesta faixa foram a abertura da rodovia dos Bandeirantes e a alteração da cobertura vegetal, sendo a primeira a principal responsável pelas modificações ocorridas. Esta atividade influenciou diretamente as mudanças geradas nas bacias E, F e G e indiretamente as mudanças geradas nas bacias H e 11.

Faixa 3

Esta área caracteriza-se pela ocorrência, em quase sua totalidade (aproximadamente 80%), dos arenitos do Subgrupo Itararé. Na porção extremo nordeste da área e, de forma secundária, ocorrem os ritmitos do Subgrupo Itararé. Os materiais inconsolidados presentes são representados pelas unidades VII, constituída por silte, argila e areia fina, configurando uma textura silo-argilosa; III, caracterizada por arenitos de textura média a grossa com presença de feldspato e minerais micáceos; e VI, constituída principalmente por

argilominerais e pouco quartzo, provenientes dos arenitos do Subgrupo Itararé e pela unidade IV, de textura predominante silto-argilosa, oriunda dos ritmitos também do Subgrupo Itararé. As faixas de declividade predominantes na área são <2%, 5-10% e 10-20%, de forma secundária observa-se a faixa 2-5% e de forma muito restrita ocorrem valores de declividade acima de 20%.

O grau de alteração desta faixa foi atribuído prioritariamente à diminuição do número de canais com conseqüente redução do grau de ramificação das microbacias 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10. Apenas três microbacias (I, J e K) apresentaram alterações caracterizadas pela desestruturação de suas redes de drenagem, produzidas pela diminuição do número e do comprimento linear dos canais de ordem 1 e 2.

Observou-se, nesta faixa, que o tipo de atividade antrópica predominante se refere à instalação de conjuntos habitacionais (residenciais, sítios ou chácaras) e que ela influenciou diretamente o comportamento da rede de drenagem, a qual apresentou uma resposta bem homogênea (redução da ordem de ramificação). Tal fato é comprovado também pelas microbacias que sofreram alterações menos negativas (diminuição do número e comprimento de canais), uma vez que tais alterações foram influenciadas indiretamente pela implementação dos conjuntos habitacionais. Estes conjuntos foram construídos em locais próximos às sub-bacias ou ocupam parcialmente as áreas das mesmas.

7. CONCLUSÕES

Conforme já verificado por outros autores, neste trabalho pode-se constatar também que a bacia hidrográfica caracteriza-se como uma unidade física adequada para fins de caracterização ambiental.

De forma geral, a aplicação da proposta metodológica de COLLARES (no prelo) mostrou-se válida para verificação das alterações ambientais de superfície na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, Campinas-SP, instalada em área urbana.

A análise tem algumas restrições de aplicação em bacias menores, pois o número reduzido de atributos do terreno impede um análise estatística para definição de zonas de degradação como proposto por COLLARES (no prelo). Por se tratar de uma nova proposta, entende-se que uma adaptação que considere melhor a ponderação dos atributos das bacia de pequenas dimensões, poderá definir as zonas de alteração de forma adequada.

Entende-se que esta metodologia, por se embasar em análises que consideram prioritariamente componentes morfométricos da rede de drenagem, terá boa aplicabilidade em outras bacias.

A utilização dos *softwares* Envi® 3.0 e AutoCAD Map® permitiu que o número de atributos, normalmente considerados em trabalhos desta natureza, tenha sido avaliado de maneira rápida e consistente.

A caracterização ambiental de bacias hidrográficas, por meio de estudos comparativos em épocas diferentes, é uma condição necessária à verificação e à determinação de modificações ambientais ocorridas. Tal procedimento permite o entendimento do quadro evolutivo da área e de como os processos relacionados às atividades antrópicas influenciam no comportamento da unidade bacia hidrográfica.

A utilização da análise morfométrica da rede de drenagem, como critério de avaliação do comportamento da bacia hidrográfica, submetida ao processo de urbanização, configurou-se como um bom quantificador das modificações ambientais ocorridas. Isto se deve ao fato da rede de drenagem refletir, por meio do comprometimento de sua quantidade e/ou qualidade, as alterações às quais a bacia foi submetida.

Dentre as variáveis morfométricas utilizadas para caracterização das alterações ambientais, os parâmetros relativos à composição da rede de drenagem que melhor registraram estas mudanças foram: o número total de canais de drenagem (N_t), o número de canais de drenagem por ordem de ramificação (N_i), o comprimento total dos canais de drenagem (L_t), o comprimento dos canais de drenagem por ordem de ramificação (L_i). Estes parâmetros refletem bem as alterações ocorridas, as quais são caracterizadas por modificações negativas na configuração da estruturação da rede de drenagem. Tais parâmetros condicionam as modificações observadas nas variáveis densidade de drenagem (D_d), densidade hidrográfica (D_h), textura topográfica (T_t), relação de bifurcação (R_b), comprimento médio dos canais por ordem (L_{mi}) e relação de comprimento médio dos canais (R_{lm}).

A avaliação das alterações efetuada por meio da análise de microbacias de ordem três possibilitou uma boa caracterização do quadro ambiental de parte da área. Esta análise, juntamente com os dados de uso e ocupação do solo facilitou o entendimento da relação

entre as atividades antrópicas desenvolvidas e as alterações ocorridas na rede de drenagem. Este procedimento apresenta, como limitação para o caso particular desta pesquisa, o fato de não permitir um diagnóstico das alterações ocorridas em algumas áreas da bacia, com canais de drenagem de ordem superior a três.

A delimitação das três faixas de degradação com base no tipo e na intensidade das alterações sofridas pela rede de drenagem e também na forma de atividade antrópica predominante em cada faixa caracterizou-se como um meio adequado para determinação qualitativa do quadro ambiental da sub-bacia hidrográfica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.L. (1994) – Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental. *Seminário Gerais*. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. São Carlos. 102p.
- ALONSO HERRERO, E.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1990) - Enviromental-Geological Mapping and Evaluation in Cantabrian Mountains, Spain. In: *International Congress of the IAEG*, 6., Amsterdam, 1990. Anais. Amsterdam, BALKEMA/ROTTERDAM, V.1, p31-35.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1989) – Norma: degradação do solo. Terminologia (NC 10.703).
- BACHION, M. L. (1997) – Mapeamento geotécnico da áreas urbanas da regio sudoeste do Município de Campinas-SP, escala 1:25.000, 2v. *Dissertação (Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BITAR, O.Y. coord. (1995). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. IBGE/IPT Divisão de Geologia (*Série Meio Ambiente*). 247p.

- BITAR, O Y. & BRAGA, T.O (1995) – O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O Y., coord. (1995) - *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. IBGE/IPT, p. 165-180.
- BITAR, O Y. & ORTEGA, R. D. E. (1998) – Gestão ambiental. In: OLIVEIRA, A M. S. & BRITO, S. N. A, coords.(1998) – *Geologia de Engenharia*. São Paulo. ABGE. P. 499-508.
- CÂMARA, A. & SIMÕES, J. S. (1996) - Geoprocessamento para Projetos Ambientais. *I: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, INPE.
- CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (1998) - Geoprocessamento para Projetos Ambientais. INPE. 2ª Ed.
<http://www.inpe.br/dpi/cursos/gisbrasil/index.html>.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS – PLANO DIRETOR (1995) – Plano Diretor do Município de Campinas. Município de Campinas.
- CAMPOS, S.; DE BARROS, X.Z.; CARDOSO, L.G. (1994) – Parâmetros Quantitativos do Padrão de Drenagem na Caracterização e Diferenciação de Unidades de Solo da Bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). *Engenharia Agrícola*. V.14. p.55-67.
- CAMPBELL, D.J.V. (1993). Environmental management of landfill sites. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, v.7, p. 170-174.

- CENDRERO, A. (1975) - Environment Geology of the Santander by Area. Northern Spain. *Environmental Geology*, Springer Verlag, New York, Vol.1, pp. 97-114.
- CENDRERO, A. (1990) - Desarrollo y Tendencias de la Geologia Ambiental en Europa, AGID Report nº 3.
- CHRISTOFOLETTI,A (1969) - Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícias Geomorfológicas*. 9(18), p. 35-64.
- CHRISTOFOLETTI,A; FEDERICHI, H.A (1972) - A Terra Campineira (Análise do Quadro Natural).Campinas: Industrias Gráficas Mousinho, 100p.
- CHRISTOFOLETTI,A (1974) - Geomorfologia. 2ed. São Paulo. Ed. Blucher Ltda.
- CHRISTOFOLETTI,A (1987) - Análise topográfica de bacias de drenagem. *Geociências*. 5/6. P. 1-29.
- COGEOENVIRONMENT (Commission on Geological Sciences for Environmenta Planning) (1992) - Geoindicators: Tools for Assessing Rapid Environmental Changes. www.gcricio.org/geo
- COLLARES, E.G. (1996). Degradação ambiental: bases conceituais, análise e avaliação. *Seminário Gerais*. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. São Carlos. 104p.
- CORSON, W.H. (1993). Manual global de ecologia: o que você precisa saber a respeito da crise no meio ambiente; tradução de A G. CAMARU. São Paulo, Augustus. 413p.

CUNHA, M.A & CONSONI, A.J. (1995). Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. In: BITAR, O.Y., coord. *Curso de geologia aplicada ao ambiente*. São Paulo, ABGE/IPT. P. 217-227.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1981) – Estudos de águas subterrâneas: Região Administrativa 5 – Campinas. São Paulo, 2v.

DOYLE, D. (1991). Sustainable development : growth without losing ground. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.1, p.8-12.

DUINKER, P.N. & BEANDLES, G. E. (1989). The significance of Environmental Impacts: An Exploration of the Concepts. *Environmental Management*, New York, v.10, n.2, p. 166-170.

EMBRAPA (1998). Origem do povoamento de Campinas. <http://www.nma.embrapa.br/projetos/mata.cam.html>.

FONTES, A L. (1997). Caracterização Geoambiental da Bacia do Rio Japaratuba-SE. 283p. *Tese (Doutorado)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro.

FORNASARI FILHO, N. & BITAR, O.Y. (1995) – O meio físico em estudos de impacto ambiental – EIA. In: BITAR, O.Y. coord. (1995) - *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. IBGE/IPT. P. 151-162

FORNASARI FILHO, N. coord (1992) – Alterações do meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo. IPT. 162p.

FRANÇA, G.V. (1968) – Interpretação de Fotografias de bacia e de Redes de drenagem Aplicadas a Solos da Região de Piracicaba. *Tese (Doutorado)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 151p.

FRANK, B. (1995). Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes. Florianópolis, SC. *Tese (Doutorado)*. Universidade Federal de Santa Catarina.

GUERRA, S.M. (1998). Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Suape-Pe. *Tese (Doutorado)*. Universidade Estadual Paulista – Rio Claro.

GRECCHI, R. C. (1997) - Estudos Geoambientais. *Seminários Gerais*. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. São Carlos. 70 p.

GRECCHI, R. C. (1998) – Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba-SP, com auxílio de geoprocessamento. São Carlos, 132p. *Dissertação (Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HORTON, R.E. (1945) – Erosional Development of Steams and their Dranaige Basins: Hydrophysical Aproach to Quantitative Morphology. *Geol. Soc. America Bull.*, 56(3), p. 275-370.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE
(1974) Carta Topográfica da Folha Campinas (SF-23-Y-A-V-4).
Escala 1:50.000

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IG (1993)

Subsídio do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP). São Paulo.3v.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROESPATIAL SURVEY EARTH SCIENCE – (ITC). (1996). *Tools for assessing rapid environmental changes – The 1995 geoindicator checklist*. Netherlands, pub. N46.

LANNA, A. E. (1993). Gestão dos recursos hídricos. IN: TUCCI, C. E. M. org. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. ABRH. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. p.727-768.

LOPES, P.M.S. (1999) – Zoneamento Geoambiental como Subsidio para o Planejamento do Meio Físico com Auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas. *Seminários Gerais*. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. São Carlos. 89p.

MACARI, R. (1996) – MAPEAMENTO Geotécnico da Área Urbana e de Expansão de Campinas, Região Noroeste, Escala 1:25.000, Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2v.

MASCARENHAS, G.R. (1989). Aspectos ambientais na elaboração do plano de aproveitamento econômico – (PAE). In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO, São Paulo,1989. *Editado pela USP*, 1989. P. 177-187.

PIRES, J.R.S. & SANTOS, J.E. dos (1995). Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Ciência Hoje*, v.19, n.110, p.40-45.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R; BISTRICHI, C.A, ALMEODA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. (1981) – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo – 1:1.000.000. São Paulo. Div. Min. E Geol. Aplic. IPT, publicação n. 1183, série monografias. N.5, 2v. 94p.

PROCHNOW, M.C.R. (1990). Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo. Rio Claro, SP. *Tese (Doutorado)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP.

RIVAS, V.; FRANCÉS, E.; DIAZ de TERÁN, J.R.; CENDRERO, A. (1994). Concervation and restoration of Endangered Coastal areas: The case of estuaries innorthen spain. *Ocean Costal Managemant*. V.23. p. 129-147.

SALATI, E. (1996). Diagnóstico ambiental sintético de qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). *Tese (Doutorado)*. Escola de engenharia de São Carlos. EESC/USP.

SALOMÃO, F.X.T. & IWASA, O.Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. . In: BITAR, O.Y., coord. *Curso de geologia aplicada ao ambiente*. São Paulo, ABGE/IPT. P. 31-57.

SCHUMM, S. A (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlandsat Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*. V.67, p. 597-646.

SEAGER, J; JONES, F; RUTT, G. (1992). Assessment and control of farm pollution. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, v.6, p.48-54.

- SILVA, H.V. (1988). Proposta para avaliar o impacto ambiental em mineração – Primeira tentativa. *Revista Ambiente CETESB de Tecnologia*. v.2, n.2.p. 88-90.
- SILVEIRA, A.L.L. da. (1993). Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas. IN: TUCCI, C. E. M. org. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. ABRH. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. p.35-52.
- SIMÕES, S. J. C. (1997) - A dinâmica dos sistemas e a caracterização de geoindicadores. In: MARTOS, H. L. & MAIA, N. B. (coords) – Indicadores Ambientais. Sorocaba, DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS/PUC, p. 59-70.
- SOBREIRA, F. G. (1995) - Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra - *Tese de Doutorado*, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 347p.
- STRAHLER, A N. (1957) – Quantitative Analysis of Watershed Geomorfology. *Trans. Ame. Geophys.* New Haven, v38, p.913-20.
- TOMMASI, L.R. (1994). Estudo de impacto ambiental. São Paulo, *CETESB: terra-graph artes e informática*. 354p.
- TUNDISI, J.G. (1991). A systematic approach to river reservoir reseach and management. IN: INTERNATIONAL WORKSHOP ON REGIONAL APPROACHES TO RESERVOIR DEVELOPMENT AND MANAGEMENT IN THE LA PLATA RIVER BASIN: FOCUS ON ENVIROMENTAL AND SOCIAL ASPECTS.
- VILLELA, S.M. & MATTOS, A (1957) *Hidorlogia Aplicada*. São Paulo, McGraw Hill do Brasil. 245p.

VILLOTA, I. de; GOY, J. L.; ZAZO, C.; PARRERA, I. A PEDRAZA, J. (1996) - Analisis de Paisaje por Evaluacion de Cuencas Visuales y Unidades Ambientales: La Vall de Gallinera. Alicante. Espana. In: CONGRESO NACIONAL Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACION DEL TERRITORIO, 6, Granada, 1996..Anais. Granada. v. 1, p.115-135.

ZUQUETTE, L. V. (1993) Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico; fundamentos e guia para elaboração. São Carlos. 330p. *Tese (Livre-Docência)* – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2v.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; GANDOLFI, N. G; RODRIGUES, J. E. (1997). Mapeamento Geotécnico: Parte I - Atributos e Procedimentos Básicos para Elaboração de Mapas e Cartas. *Revista Geociências*.v.16, N.2. P491-524.

WALLING, D.E.& GREGORY. (1973). Drainage basin form and process: a geomorphological approach. London. Eduard Arnold. 456p.