Campus de São Carlos

ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO COMO BASE
PARA O ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DAS BACIAS DO
RIO PASSA CINCO E RIO DA CABEÇA: ESCALA 1:50.000

Vol. I

AUTOR: PAULO MAURÍCIO SILVA LOPES

ORIENTADOR: PROF. DR. OSNI JOSÉ PEJON

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

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

Estudo dos Atributos do Meio Físico como base para o
Zoneamento Geoambiental das bacias do Rio Passa
Cinco e Rio da Cabeça: Escala 1:50.000

Volume I

Geól^o Paulo Maurício Silva Lopes

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016535

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

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 11 / 08 00

Ass.:

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Curr.	3358
V.L.	
Tombo	T0184/00

st 1099568

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L864e Lopes, Paulo Maurício Silva
Estudo dos atributos do meio físico como base para
o Zoneamento Geoambiental das bacias do Rio Passa
Cinco e Rio da Cabeça : escala 1:50.000 / Paulo
Maurício Silva Lopes. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Geotecnia.
Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon.

1. Atributos do meio físico. 2. Cartografia
Geoambiental. 3. Sistemas de Informação Geográfica.
4. Rio Passa Cinco. 5. Rio da Cabeça. I. Título.

À meus pais, Pascoal e Elaine, pelo incentivo, apoio, amizade, amor e pelas primeiras orientações em minha vida e, a não menos, aos meus irmãos Renata e Denis, por outras lições de vida.

"Ao trilhar os caminhos do conhecimento o ser humano se depara com dificuldades as quais ele supõe não conseguir vencê-las, isso porque ele desconhece a real força que existe dentro de si".

Paulo M. S. Lopes

".....E nunca considere seu estudo como uma obrigação, mas sim como uma oportunidade invejável de aprender, sobre a influência libertadora da beleza no domínio do espírito, para seu prazer pessoal e para o proveito da comunidade à qual pertencerá o seu trabalho futuro."

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A DEUS sobre todas as coisas.

Ao professor Dr. Osni José Pejon, pela amizade, orientação, apoio técnico, dedicação, estímulo e principalmente pelas sugestões e críticas que tanto contribuíram para o enriquecimento desta pesquisa.

Ao professor Dr. Lázaro Valentin Zuquette, pela amizade e a constante e pertinente discussões e críticas ao trabalho.

Ao professor Dr. Marcos César Ferreira pelas importantes sugestões e críticas fundamentais à finalização deste trabalho.

Aos amigos Eduardo Goulart Collares e Ana Carina pelas discussões, sugestões e incentivos para a finalização deste trabalho.

Aos docentes do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

Aos Técnicos dos Laboratórios do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, no auxílio do tratamento das amostras e trabalhos de campo.

Aos amigos Oscar dos Santos Neto e Adilson do Lago Leite, pela amizade e apoio moral nas horas de dificuldades pessoais enfrentadas.

A Sheila Garcia, pela amizade, companheirismo e incessante incentivo nas diversas horas de dificuldades da elaboração do texto final deste trabalho.

Aos amigos Eduardo Goulart Collares e Ana Carina pelas discussões, sugestões e incentivos para a finalização deste trabalho.

A amiga Marta Luzia de Souza pelas constantes discussões e revisão de parte deste trabalho.

À Sandra Fernandes da Silva, pela imensa amizade, carinho, compreensão, apoio e incentivo em diversas etapas de minha vida e principalmente na finalização deste trabalho.

À Aline Maria Meiguins de Lima, pelas importantes discussões e auxílio no desenvolvimento de diversas etapas desta pesquisa.

Aos amigos engenheiros da turma de 1998, Jean Balech, André Borges, Mauro Menegotto, Ana Paula, Kênia Damasceno, Guilherme Davies, Antonio

Cancino Calle e Emerson Pedroso pela amizade e compreensão nas horas de dificuldades do aprendizado dos conhecimentos de engenharia.

Ao engenheiro Dr. Herivelto M. dos Santos pela amizade e pelo constante suporte técnico na área de informática.

Ao Departamento de Geotecnia da EESC/USP, por toda infra-estrutura oferecida para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os amigos e companheiros do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, em especial aos amigos do Laboratório de Mapeamento Geotécnico pelas discussões pertinentes, principalmente à Silvana Brandão Fontes, pelas discussões, sugestões e auxílio de etapas específicas para o desenvolvimento deste trabalho.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

VOLUME I

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	vi
Resumo	viii
<i>Abstract</i>	ix
CAPÍTULO 1 – Introdução	1
1.1 – Objetivos	2
CAPÍTULO 2 – Bacias Hidrográficas e Estudos Geoambientais	4
2.1 – Bacias Hidrográficas no Planejamento do Meio Físico	4
2.2 – Gestão Ambiental	12
2.3 – Estudos Geoambientais	12
2.4 – Metodologia de Zoneamento Geoambiental	16
2.4.1 – Grupo 1: Metodologias com base na geologia para obtenção de Zonas Geoambientais.	17
2.4.1.1 – Metodologia de CENDRERO (1975)	17
2.4.1.2 – Metodologia de CENDRERO <i>et. al.</i> (1983)	18
2.4.1.3 – Metodologia de CENDRERO & DÍAS DE TERAN (1987).	19
2.4.1.4 – Metodologia de FRANCÉS <i>et. al.</i> (1992)	22
2.4.1.5 – Proposta Metodológica de ZUQUETTE <i>et. al.</i> (1997)	24
2.4.1.6 – Metodologia de SOBREIRA (1995)	27
2.4.1.7 – Metodologia de ALONSO <i>et. al.</i> (1990)	28
2.4.1.8 – Metodologia de RIVAS <i>et. al.</i> (1994)	29
2.4.1.9 – Metodologia de Nava <i>et. al.</i> (1991)	31
2.5 – Grupo 2: Metodologias com o aspecto geológico considerados de forma superficial	31
2.5.1 – Metodologia de MEIRELES <i>et. al.</i> (1987)	31
2.5.2 – Metodologia de Villota (1996)	32
2.5.3 – Metodologia de Impacto Ambiental	34
2.5.3.1 – MacDONALD & BROWN (1995)	34

2.5.3.2 – RIVAS <i>et. al.</i> (1994)	35
2.5.4 – Metodologia de Valoração Territorial	38
2.5.4.1 – Metodologia de RECATALÁ & SANCHES (1996)	38
2.5.4.2 – Metodologia de ALONSO HERRERO & CENDRERO (1988)	38
2.6 – Zoneamento Geoambiental e Planejamento Urbano	40
2.6.1 – O Zoneamento para Planejamento Urbano e Regional: Uma Abordagem Ambiental	40
2.7 – Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	44
2.7.1 – O que é e para que serve?	44
2.7.2 – Estrutura de um Sistema de Informação Geográfica	46
2.7.3 – Operações Matemáticas nos Sistemas de Informações Geográficas	47
2.7.4 – Modelagem Digital de Terreno (MDT)	52
2.7.5 – Aplicações do uso de Sistemas de Informações Geográficas	56
2.7.6 – Sistemas de Informação Geográfica no Processo de Tomada de Decisão	59
2.7.7 – Limitações do Uso dos Sistemas de Informações Geográficas	62
CAPÍTULO 3 – Características Gerais da Área de Pesquisa	64
3.1 – Localização e Acesso	64
3.2 – Aspectos físico-climáticos	66
3.3 – Vegetação	68
3.4 – Aspectos Geológicos	68
3.5 – Pedologia	72
3.6 – Hidrologia e Hidrogeologia	73
3.6.1 – Águas Superficiais	73
3.6.2 – Águas Subterrâneas	74
CAPÍTULO 4 – Obtenção Tratamento e Análise das Informações	75
4.1 – Aspectos Metodológicos	75
4.2 – Obtenção das Informações	78

4.3 – O Sistema de Informação IDRISI	78
4.4 – Entrada de Dados	78
4.4.1 – Vetorização das Informações	79
4.5 – Processamento de Dados, Análise e Modelamento	80
4.6 – Documentos Cartográficos Elaborados	83
4.6.1 – Documentos Básicos	83
4.6.1.1 – Mapa de Documentação (Anexo I)	83
4.6.1.2 – Mapa de Bacias Hidrográficas (Anexo II)	83
4.6.1.3 – Mapa de Substrato Rochoso (Anexo III)	84
4.6.1.4 – Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV)	84
4.6.1.5 – Mapa de <i>Landform</i> (Anexo V)	88
4.6.2 – Documentos Elaborados Via SIG-IDRISI	97
4.6.2.1 – Carta de Declividade (Anexo VI)	97
4.6.2.2 – Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial (Anexo VII)	99
4.6.2.3 – Carta de Susceptibilidade à Erosão (Anexo VIII)	100
4.6.2.4 – Carta de Potencial à Infiltração (Anexo IX)	103
4.6.2.5 – Carta de Potencial Agrícola (Anexo X)	105
4.7 – Resultados Obtidos	109
4.8 – Elaboração da Carta de Comportamento do Meio Físico como base para o Zoneamento Geoambiental (Anexo XI)	112
CAPÍTULO 5 – Considerações Finais e Conclusões	114
CAPÍTULO 6 – Referências Bibliográficas	120

APÊNDICE

APÊNDICE I Determinação da Erodibilidade dos Materiais Inconsolidados

VOLUME II

ANEXOS

ANEXO I	Mapa de Documentação
ANEXO II	Mapa de Bacias Hidrográficas
ANEXO III	Mapa de Substrato Rochoso
ANEXO IV	Mapa de Materiais Inconsolidados
ANEXO V	Mapa de <i>Landforms</i>
ANEXO VI	Carta de Declividade
ANEXO VII	Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial
ANEXO VIII	Carta de Susceptibilidade à Erosão
ANEXO IX	Carta de Potencial à Infiltração
ANEXO X	Carta de Potencial Agrícola
ANEXO XI	Carta do Comportamento do Meio Físico como base para o Zoneamento Geoambiental
ANEXO XII	Legenda da Carta de Zoneamento Geoambiental

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1	Ciclo hidrológico reinante em uma bacia hidrográfica (SALATI, 1996).....	6
Figura 2.2	Esquema proposto para o gerenciamento de bacia hidrográfica (adaptado de LANNA, 1994).....	8
Figura 2.3	Temas considerados nos estudos Geoambientais (SOBREIRA, 1995).....	13
Figura 2.4	Inter-relação entre Cartografia Geotécnica e Estudos Geoambientais.....	15
Figura 2.5	Fluxograma da metodologia de CENDRERO <i>et. al.</i> (1983) (modificada).....	19
Figura 2.6	Principais linhas metodológicas para elaboração de mapas geoambientais (CENDRERO & DIAZ DE TERÁN, <i>apud</i> CENDRERO, 1990).....	20
Figura 2.7	Exemplo de um mapa geoambiental clássico de categoria sintética ou de unidade homogêneas (Modificado de BROWN <i>et. al.</i> 1971.....	21
Figura 2.8	Relação entre finalidade de planejamento, níveis e escalas dos mapas (LÜTTIG 1978, <i>apud</i> GRECCHI, 1997).....	22
Figura 2.9	Mapa de ações de manejo. 1) Água; 2) Preservação e restauração de sistemas naturais; 3) Reabilitação da paisagem de áreas da costa; 4) Parques urbanos; 5) Trilhas naturais; 6) Barreiras de árvores; 7) Estacionamento; 8) Marina. Além destes existem outros usos como: U: Urbano; S: Esportes; R: Estação de trem; Sch: Escola.....	30
Figura 2.10	Roteiro de investigação sobre o zoneamento do meio físico (MEIRELES, 1996).....	32
Figura 2.11	Redução das unidades do geral para o específico em termos de informações homogêneas (FRANK, 1995).....	33

Figura 2.12	Fluxograma da metodologia de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) de planos diretores modificado de (CENDRERO & DÍAZ de TERÁN, 1987 <i>apud</i> RIVAS <i>et. al.</i> , 1994).....	36
Figura 2.13	Suporte por decisão visual para manejo de dados espaço-temporais (KRAAK <i>et. al.</i> , 1995).....	42
Figura 2.14	Arquitetura dos sistemas de informação geográficas CÂMARA & MEDEIROS (1998).....	46
Figura 2.15	Superfície de uma malha regular (NAMIKAWA, 1995 <i>apud</i> CÂMARA & MEDEIROS, 1998).	47
Figura 2.16	Apresentação de um tipo de operação matemática (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).....	49
Figura 2.17	Operação de <i>Máximo Zonal</i> (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).....	51
Figura 2.18	Modelo Digital do Terreno representados em tons de cinza.....	53
Figura 2.19	Modelo Digital do Terreno representado como uma imagem sombreada (imagem raster).....	54
Figura 2.20	Representação de um Modelo Digital do Terreno em curva de nível.....	54
Figura 2.21	Modelo Digital de Terreno na representação de aspecto (a), curvatura (b), elevação (c) e declividade (d) (modificado de MITAS <i>et. al.</i> , 1996).....	56
Figura 2.22	Modelo Digital de Terreno na representação de erosão e deposição, sob duas formas diferentes de representação (modificado de MITAS <i>et. al.</i> , 1996).....	56
Figura 2.23	Topologia em planos de informações (TABACZENSKI, 1995).....	57

CAPITULO 3

Figura 3.1	Localização da área das bacias estudadas no Estado de São Paulo.....	65
Figura 3.2	Balanço hídrico para três localidades da quadrícula de São Carlos: a) São Carlos; b) Itaqueri da Serra e c) Rio Claro	

	(modificado de OLIVEIRA E PRADO, 1984).....	67
Figura 3.3	Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Paraná (IPT, 1981a).....	69
Figura 3.4	Carta Pedológica simplificada da área de estudo. (Modificada das Cartas Pedológicas do IAC de 1984 e 1989).....	73

CAPITULO 4

Figura 4.1	Seqüência metodológica empregada.....	77
Figura 4.2	Modulo de importação e exportação do Sistema IDRISI.....	80
Figura 4.3	Modulo de Avaliação Multicriterial do Sistema IDRISI.....	82
Figura 4.4	Matriz de Correlação e escala de comparação paritária do Módulo de Avaliação Multicriterial, utilizado na obtenção dos pesos individuais de cada atributo analisado.....	82
Figura 4.5	Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificado de COOKE & DOORNKAMP (1990, <i>apud</i> LOLLO, 1995).....	89
Figura 4.6 a	Sistema de Terreno A1.....	91
Figura 4.6 b	Sistema de Terreno A3.....	91
Figura 4.7	Sistema de Terreno B.....	92
Figura 4.8 a	Sistema de Terreno C.....	92
Figura 4.8 b	Unidade de Terreno C3.....	94
Figura 4.9	Sistema de Terreno D.....	95
Figura 4.10	Sistema de Terreno E.....	96
Figura 4.11	Unidades de <i>Landforms</i> sobrepostas à imagem <i>raster</i> sombreadas em tons de cinza (sem escala).....	96
Figura 4.12	Perspectiva Ortogonal para a área de estudo, à partir do modelado digital de terreno.....	99
Figura 4.13	Carta de Susceptibilidade à Erosão da área de estudo. Escala original 1:50.000.....	103
Figura 4.14	Carta de Potencial à Infiltração da área de estudo. Escala original 1:50.000.....	105
Figura 4.15	Carta de Potencial Agrícola para a área de estudo. Escala original 1:50.000.....	109

Lista de Tabelas

CAPITULO 2

Tabela 2.1	Comparação dos Métodos tradicionais de planejamento do meio físico (AGUIAR, 1994).....	10
Tabela 2.2	Fases da metodologia proposta por FRANCÉS <i>et. al.</i> (1992).....	23
Tabela 2.3	Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (Zuquette, 1997 modificado de 1993).....	25
Tabela 2.4	Operações Unárias de transformações (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).....	48
Tabela 2.5	Tipo de Operações <i>Booleanas</i> , resultado e exemplo (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).....	49
Tabela 2.6	Questões envolvidas em análises espaciais (RHIND, 1988) e CÂMARA & MEDEIROS, 1998).....	58

CAPITULO 4

Tabela 4.1	Documentos vetorizados e produzidos via SIG IDRISI para apresentação das informações.....	80
Tabela 4.2	Classificação dos tipos de relevo, segundo PONÇANO <i>et.al.</i> (1981).....	90
Tabela 4.3	Geometria das linhas do arquivo <i>Grid</i> (.GRD) para geração do Modelo Digital de Terreno.....	98
Tabela 4.4	Classes de declividade adotadas para a área de estudo.....	98
Tabela 4.5	Identificadores de um arquivo de faixas de influência.....	99
Tabela 4.6	Atributo e pesos adotados na reclassificação da Carta de Declividade, para Susceptibilidade à Erosão.....	102
Tabela 4.7	Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.....	102
Tabela 4.8	Atributo e pesos adotados na reclassificação da Cartas de Declividade, para Potencial à Infiltração.....	104
Tabela 4.9	Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.....	104

Tabela 4.10 Relação dos atributos e seus níveis, para definição das classes para elaboração da carta de potencial agrícola (Zuquette <i>et al.</i> , 1993).....	106
Tabela 4.11 Reclassificação dos tipos pedológicos.....	107
Tabela 4.12 Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.....	108
Tabela 4.13 Categorias de uso e ocupação do solo para a área estudada e a área ocupada por cada uma das categorias.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

UNESP	- Universidade Estadual Paulista
EP	- Escola Politécnica
USP	- Universidade de São Paulo
IG	- Instituto de Geociências
MCE	- <i>Multicriteria Evaluation Modulus</i> (Módulo de Avaliação Multicriterial)
WLC	- <i>Weighted Linear Combination</i> (Combinação Linear Ponderada)
K	- Coeficiente de permeabilidade
PC	- Ponto de Controle
S	- Índice de Absorção
q	- Área da base do corpo de prova
t	- tempo
E	- Índice de Erodibilidade
P	- Porcentagem de perda de peso por imersão
MDT	- Modelo Digital do Terreno
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
PDI	- Processamento Digital de Imagens
APA	- Área de Proteção Ambiental
DTO	- Diretrizes de Ordenamento Territorial
UTM	- Universal Transverse Mercator
MNT	- Modelo Numérico de Terreno
IBAMA	- Instituto Brasileiro do meio Ambiente
IBPC	- Instituto Brasileiro Patrimônio Cultural
SMA	- Secretaria do Meio Ambiente
CONDEPHAAT	- Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado
CTC	- Capacidade de Troca Catiônica
S	- Saturação em bases
pH	- potencial de hidrogênio
Δ pH	- Variação do Potencial de Hidrogênio
EIA	- Estudos de Impactos Ambientais
CEMPAS	- Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial
e_j	- porcentagem do tipo do elemento
a_j	- coeficiente de ponderação do tipo da atividade
R_{ij}	- Matriz de Correlação entre e_j e a_j

C _{ai}	- Valoração total de uma unidade ambiental
I _v	- Índice de estimação de ótimo hipotético de uma unidade ambiental
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
DAEE	- Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
IAC	- Instituto Agrônomo de Campinas
IUCN	- União Internacional para a Conservação da Natureza
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
UNICAMP	- Universidade de Campinas

RESUMO

O presente trabalho consistiu no estudo de uma série de atributos do meio físico, como geologia, pedologia, materiais inconsolidados, declividade e menor extensão do percurso da água superficial, entre outros, representados na escala 1:50.000 referentes às bacias hidrográficas dos rios Passa Cinco e Cabeça. Tais atributos foram avaliados, considerando as restrições e potencialidades do meio, buscando uma melhor elaboração das propostas e procedimentos adotados na manutenção da qualidade do meio físico. Para a realização deste estudo, foram utilizados trabalhos já desenvolvidos na área, assim como novos mapas e cartas elaborados durante este, seguindo-se os conceitos da cartografia geoambiental, voltados ao planejamento, proteção e recuperação territorial. Para agilizar os trabalhos de manipulação (armazenamento, recuperação, tratamento, cruzamento e apresentação), foi utilizado um Sistema de Informação Geográfica (SIG-IDRISI), principalmente para obtenção das cartas de Susceptibilidade à Erosão, Potencial à Infiltração e Potencial Agrícola.

O resultado final permitiu a obtenção da Carta de Comportamento do Meio Físico como Base para o Zoneamento Geoambiental, onde estão presentes as aptidões, restrições e conflitos de uso, considerando-se neste caso todos os atributos já comentados anteriormente

Palavras-chave: Atributos do meio físico, Cartografia Geoambiental, SIG-IDRISI, Rio Passa Cinco, Rio da Cabeça, Modelagem Digital de Terreno.

ABSTRACT

Many attributes of the Passa Cinco and Cabeça River hydrographic basins, related to geology, pedology, unconsolidated materials, slope and least water runoff distance, at a 1:50,000 scale, were evaluated. Such attributes based on adequate proposal and procedures were assessed in terms of constraints to determine the basin potentialities. Geoenvironmental cartographic concepts related to planning, protection and management, have been applied in the development of the charts and maps presented in this work, which, in turn, were based on the extensive research already done in this area. The GIS IDRISI was used to handle data (storing, retrieving, treatment, overlaying and presentation), mainly to elaborate the charts of Erosion Susceptibility, Water Infiltration Potential and Agricultural Potential. As final result, this work presents an analysis of the environmental attributes to orientate the geoenvironmental zoning, considering all the aspects mentioned above.

Key Words: Attributes of the Environment, Geoenvironmental Cartography, GIS-IDRISI, Passa Cinco River, Cabeça River, Digital Terrain Modeling.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A necessidade de solucionar os problemas relacionados ao meio ambiente, vem requerendo uma abordagem mais harmoniosa entre as atividades humanas básicas e o próprio meio. O sucesso neste campo depende da consideração adequada da dinâmica do meio, o qual é freqüentemente modificado por atividades antrópicas, podendo retardar, ou mais freqüentemente, potencializar os processos naturais.

Com a crescente necessidade de informações a respeito do meio ambiente, principalmente no que diz respeito a compreensão da relação entre o meio físico, biológico e antrópico, um estudo geoambiental contribui sobremaneira como fonte de dados, além de auxiliar na resolução, previsão e prevenção de problemas deste gênero.

Os trabalhos envolvendo cartografia ambiental tem se mostrado essenciais, como reveladores do panorama ambiental de uma região, tanto do ponto de vista ambiental propriamente dito, quanto antrópico, segundo as fontes bibliográficas que abordam esta temática.

É desta forma que o levantamento e avaliação de atributos do meio físico como geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia e uso e ocupação do solo vem se destacando como fonte essencial para estudos de natureza (geo) ambiental.

GRECCHI (1998), admite que a cartografia geoambiental deve fornecer documentos voltados ao planejamento, proteção e recuperação territorial e, dependendo do objetivo do trabalho, serem executados em escalas diversas.

Nesta pesquisa foram utilizadas técnicas que permitiram um rápido desenvolvimento dos trabalhos, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG-IDRISI), principalmente no que se refere ao tempo de obtenção dos resultados e conclusões dos estudos.

A área contemplada para este estudo, justifica-se por estar inserida, em parte, dentro de *Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas* do Estado de São Paulo, requerendo desta forma uma maior proteção dos recursos naturais existentes. Tais áreas podem sofrer consequências sérias, tendo em vista que esta destaca-se por apresentar um forte crescimento sócio-econômico, principalmente no que se refere à indústria de citrus e sucroalcoeira e subordinadamente a agropecuária.

Estas atividades, caso não haja um planejamento ordenado do meio físico, para sua instalação, pode implicar diretamente em um aumento da demanda de água e solicitações de outros sistemas do meio, o que provocaria instalação e/ou intensificação de processos naturais como assoreamento de canais de drenagem, erosão, enchentes e etc.

1.1 – Objetivos

Em linhas gerais o presente trabalho pretende avaliar uma série de variáveis (atributos), determinando as potencialidades e limitações do meio físico, com a finalidade principal de fornecer subsídios para um zoneamento geoambiental.

Como objetivos mais específicos, pode-se destacar:

- O Estudo de alguns atributos do meio físico, representativos para a análise de aspectos específicos, como os relacionados a susceptibilidade à erosão linear por fluxo concentrado, potencial agrícola e também os aspectos relacionados ao potencial de infiltração nas áreas das bacias hidrográficas estudadas, considerando-se suas potencialidades e restrições;
- Estudar e aplicar técnicas de levantamento, manipulação (análise) e representação de todas as informações, tanto as disponíveis quanto as geradas durante a realização deste

trabalho, principalmente utilizando as técnicas disponíveis dentro do Sistema de Informação Geográfica – IDRISI.

CAPÍTULO 2: BACIAS HIDROGRÁFICAS E ESTUDOS GEOAMBIENTAIS

2.1. Bacias Hidrográficas no Planejamento do Meio Físico

Como a água é um recurso mineral essencial a vida e ao desenvolvimento econômico, o atual estágio de degradação dos recursos hídricos, cada vez mais vem se tornando alvo de preocupação e de estudos. Desta forma, a abordagem do planejamento e gestão, tendo uma bacia hidrográfica como unidade de trabalho, tem sido intensificada, tornando-se peça fundamental na análise de estudos ambientais.

O planejamento ambiental apresenta entre seus objetivos, o desenvolvimento espacial equilibrado, de maneira a criar contatos efetivos entre as áreas rurais e urbanas. Desta forma PROCHNOW (1990), destaca que a adoção de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento, justifica-se não só por esta constituir uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque não há nenhuma região, por menor que seja, que não se integre a uma bacia, sendo assim, a expressão "Bacia Hidrográfica" cabe tanto a áreas grandes como áreas pequenas, bastando somente localizá-las no espaço a ajustando a esta o nome do curso d'água responsável pela drenagem superficial da área.

Para LAZLO (1986, *apud* SALATI, 1996), para planejar uma bacia hidrográfica é necessário, antes de mais nada, estruturar um conjunto de procedimentos que assegurem o uso adequado de seus recursos naturais. Tais procedimentos são:

Promover o desenvolvimento sustentado da bacia;

- Melhorar a qualidade de vida da população e
- garantir a conservação e preservação ambiental

Dentro deste processo de planejamento, é conveniente enfatizar a importância das avaliações de impacto ambientais como uma das mais importantes etapas do planejamento.

Segundo AGUIAR (1994) o conceito de planejamento ambiental vem sendo usado exageradamente, para diversos fins e por todo tipo de profissionais. WEDDLE (1973) subdivide o termo "Planejamento Ambiental" em cinco formas de títulos gerais, os quais são:

1. Planejamento da Paisagem (Landscape Planning): este tópico é referente à preservação e conservação da paisagem, onde estão embutidas conotações ecológicas, significando a execução e/ou aplicação de um enfoque de sistemas (dinâmicos) ao conjunto de elementos naturais introduzidos em uma área.
2. Conservação e Gestão de Recursos (Conservation and Resources Management): os objetivos embutidos nestes conceitos, vão muito além do proposto anteriormente, no que se refere a proteção e preservação, chegando ao conceito de utilização racional ótima do território.
3. Planejamento do Uso do Solo (Land Use Planning): este conceito apresenta uma forte ligação com urbanismo, aplicando-se a estudos de ordenação territorial de áreas urbanas e rurais.
4. Planejamento de Recursos (Resources Planning): neste conceito são considerados a interdependência dos recursos naturais e os a eles relacionados, no que diz respeito a sua exploração ou preservação e
5. Planejamento Ambiental (Environmental Planning): neste conceito estão embutidos os termos considerados nos primeiros e segundos títulos, é caracterizado como o processo onde são fixados os usos ótimos ao território, em relação a atividade humana presente no mesmo.

Para FARIAS *et. al.*(1984) o planejamento ambiental admite que o meio ambiente corresponde a um sistema físico e biológico que devem ser considerados de acordo com suas definições, para a utilização no que diz respeito ao planejamento do meio físico. Esta consideração já fora levantada por HOLLING (1978), onde o autor admite que o planejamento ambiental é capaz de gerar uma série de distribuições de uso do solo, com interações dos elementos do meio natural como fatores fundamentais de localização.

A água, além de ser um fator relevante à manutenção das atividades ditas primárias, também funciona como um sensor das alterações do ecossistemas, sendo este uma função do ciclo hidrológico reinante na bacia (SALATI, 1996) (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Ciclo hidrológico reinante em uma bacia hidrográfica (SALATI, 1996).

Segundo SAZANAMI (1991), o planejamento e desenvolvimento de uma bacia dentro de um âmbito geral tem a funcionalidade de um instrumento estratégico, proporcionando o desenvolvimento e a integração das atividades, e podendo ser entendida como um processo de mudança estrutural nestas regiões.

No que se refere ao processo de planejamento de bacias hidrográficas, esta deve ser considerada como um sistema aberto, estando inserida também dentro de um equilíbrio dinâmico, em função dos ciclos e flutuações de processos não lineares (WALLING, 1973 *apud* SALATI, 1996). Desta forma as bacias devem ser consideradas de grande importância na etapa de planejamento e avaliação de impactos, funcionando como um processo de previsão, tanto para criar como para garantir o desenvolvimento das atividades do homem (VLACHOS, 1982, *apud* SALATI, 1996).

Segundo TUNDISI (1991), no sentido de apresentar um planejamento adequado ao desenvolvimento ambiental de uma bacia hidrográfica, deve-se considerar esta como uma unidade fundamental no planejamento em função da água ser um recurso essencial à vida e indispensável a todas atividades econômicas.

O conceito proposto por BENEVIDES & COIMBRA (1992), assumindo que os recursos hídricos de uma bacia são bens econômicos finitos e vulneráveis, fornece a base para o desenvolvimento ambiental sustentável (conhecimento das potencialidades e limites de tais recursos), sendo assim fundamental para a conservação dos ecossistemas e promoção do bem estar social.

O processo de planejamento, segundo FRANK (1995), deve realizar a compatibilização entre as diversas escalas abordadas nos estudos de uma bacia hidrográfica (microbacia municipal, microregião e bacia hidrográfica), com a finalidade de se constituir um método genérico, possível de aplicação na resolução de diferentes problemas (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Esquema proposto para o gerenciamento de bacia hidrográfica (adaptado de LANNA, 1994).

PIRES E SANTOS (1995) recomendam a utilização de uma abordagem integrada, envolvendo a bacia hidrográfica e o conceito de ecossistema. A abordagem de planejamento e gerenciamento utilizam a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, em função, principalmente, de suas características biogeofísicas, apresentando sistemas ecológicos e hidrológicos coesos. Qualquer uso do solo interfere diretamente no ciclo hidrológico, não importando o grau de utilização ou de dependência direta da água. O autor acima citado apresenta, de maneira simplificada, os principais usos do solo e suas possíveis interferências no ciclo hidrológico.

Resumidamente, segundo MATHER (1989), o planejamento dependerá basicamente das características de cunho geográfico ou da região a ordenar, sendo importante então, compreender a problemática

envolvida, devendo atender a localização da atividade (uso do solo no território, consequentemente promovendo uma melhora na condição de vida da população).

AGUIAR (1994) apresenta um quadro comparativo (Tabela 2.1) entre os métodos clássicos de planejamento do meio físico, proposto por vários autores (LEWIS, 1964; STEINTZ & ROGERS, 1968; MCHARG, 1969; HILLS, 1970; LYNCH, 1972 e JOHNS, 1973), se incorporando ao planejamento como elemento chave na tomada de decisões.

Tabela 2.1 – Comparação dos Métodos tradicionais de planejamento do meio físico (AGUIAR, 1994).

MÉTODO	PROCESSOS	ETAPAS	FATORES
LEWIS	Análise dos Recursos maiores e adicionais	Delimitação da área	Espaço físico
		Usos previstos	Tipos de ocupação planejadas
		Seleção de área-chave	Representatividade da área total
		Investigação dos Recursos maiores	Água superficial, terras alagadiças e topografia
		Investigação de recursos adicionais	Recursos naturais não imprescindíveis
		Valoração	Sistema de pontuação
		Totalização	Identificação de área prioritárias
		Determinação da demanda	Definição de prioridades
		Limitações	Usos específicos
STEINTZ	Modelos matemáticos e técnicas automatizadas para análise do meio físico	Inventário	Meio físico
		Atividades potenciais	Necessidades existentes
		Determinação da capacidade e vulnerabilidade	Elementos significativos do meio
		Elaboração de mapas e 1ª proposta	Atração ou capacidade intrínseca da área
		Projeto	Aumento da capacidade e redução do impacto
MACHARG	Avaliação dos recursos biológicos	Inventário - Meio físico - Econômico	Clima, geologia, fisiografia, hidrologia, solo, flora, fauna e uso atual
		Interpretação de dados e confecção de mapas	Agricultura, recreação, silvicultura, e uso urbano
		Valoração	Zoneamento da área
		Elaboração de mapas de adequação ou capacidade e matriz de incompatibilidade	Usos múltiplos possíveis

Tabela 2.1 – Comparação dos Métodos tradicionais de planejamento do meio físico (AGUIAR, 1994). (continuação)

MÉTODO	PROCESSOS	ETAPAS	FATORES
HILLS	Classificação do solo e avaliação do potencial das unidades	Divisão de áreas	Clima e formas externas do solo
		Listagem de usos e requisitos físicos	Agricultura, silvicultura, reservas naturais e recreação
		Uso potencial (capacidade adequação e viabilidade)	Tipos fisiográficos
		Recomendação de uso principal	Alta classificação de viabilidade
		Elaboração de mapas	Usos múltiplos principais e secundários
LYNCH	Interação de organismos e entorno	Reconhecimento	Dados físicos e culturais; e correlações
		Elaboração de mapas	Básicos e de superposição
		Interpretação de mapas	Planejamento de uso
		Proposta	Aproximação sucessiva
JOHNS	Análise da capacidade intrínseca do território	Inventário descritivo	Recursos naturais, culturais, sociais ou econômicos
		Armazenamento	Banco de dados
		Análise da capacidade, adequação e viabilidade	Potencial inerente ao solo
		Análise de impactos	Redução para níveis aceitáveis
		Plano de atuação	Validade da proposta

2.2 Gestão Ambiental

O termo "Gestão Ambiental", segundo CHADWICK (1971) e LEE (1975), é colocado como a etapa seguinte ao planejamento, incluindo aí as atividades modificadoras do meio. O processo de gestão está compartimentado em cinco etapas diferentes, as quais são:

1. Identificação e descrição do sistema;
2. Definição dos objetivos com base nos problemas atuais e futuros, além de suas inter-relações;
3. Geração de soluções que satisfaçam os objetivos sem violar as restrições dos sistemas;
4. Seleção de soluções adequadas e
5. Execução e controle.

Tal processo pode ser compreendido como uma seqüência de atividades (condução, direção e controle), conduzidas por órgãos gestores (federais, estaduais e municipais), através de instrumentos que incluem medidas econômicas, regulamentos e normalizações, além investimentos, financiamentos, requisitos judiciais e inter-institucionais.

Na tentativa de avaliar valores-limite de interferência e alterações, as atividades de gestão resultam em recuperação e manutenção dos ecossistemas dentro os seus limites, de maneira a maximizar a recuperação pelo homem dos recursos naturais, assegurando desta forma uma produtividade prolongada.

Segundo AGUIAR (1994), o termo "Gestão Ambiental" está relacionado à incorporação da dimensão ambiental ao planejamento e ao processo de tomada de decisão, criando uma ligação com o plano de ação de desenvolvimento do planejamento.

2.3. Estudos Geoambientais

Segundo CENDRERO (1990) existem dois grandes conjuntos, no que diz respeito a Geologia Ambiental, sendo que o primeiro engloba trabalhos de caráter mais geral como, análise e diagnóstico territorial, desde escalas

muito pequenas até escalas locais. Dentro deste contexto se enquadram os trabalhos chamados de "Mapas Geoambientais" ou "Geocientíficos de Potencial do Meio Natural". O segundo grande conjunto aborda problemas relativos ao meio, mais específico, como sismos, vulcanismos recentes, deslizamento, inundações, resultando em trabalhos direcionados à avaliação, predição e prevenção de riscos geológicos.

Para FABBRI e CENDRERO (1995), dentro das ciências da Terra voltadas para o estudo e análise ambiental, a geologia ambiental pode ser compreendida como o estudo da interação entre as atividades antrópicas e o meio geológico, englobando a assessoria geocientífica do planejamento e manejo do meio.

Dentro da Geologia Ambiental, segundo GRECCHI (1997), pode ser destacado então, um ramo que tem como objetivo o planejamento e a ordenação territorial, denominado de *Zoneamento Geoambiental*, resultado da caracterização de uma série de aspectos como: geologia, geomorfologia, hidrologia, recursos naturais, científico, paisagísticos e culturais. Além destes, SOBREIRA (1995) destaca outros temas que também podem ser encarados como de natureza Geoambiental, como: *Planejamento e Ordenamento Territorial*; *Análise dos Perigos e Riscos Naturais* e *Estudos de Impacto Ambiental* (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Temas considerados nos estudos geoambientais (SOBREIRA, 1995).

Em CENDRERO (1990) são citadas as etapas genéricas para o desenvolvimento de estudos desta natureza. Tais procedimentos são descritos por outros autores e podem ser resumidos da seguinte forma:

1. *Planificação* (análise, diagnóstico e recomendações);
2. *Ordenamento* (normas estabelecidas com base na etapa anterior) e
3. *Manejo e Gestão* (implantação, acompanhamento e controle das atividades de uso do território).

Segundo GRECCHI (1997) os estudos geoambientais tem como objetivo o planejamento territorial (seja este em qualquer escala), devendo-se sempre considerar o contexto político ao qual estão inseridos o modelo de desenvolvimento e política ambiental vigentes. Desta forma, estes estudos, além de auxiliar no planejamento, também podem indicar estratégias alternativas que levem ao desenvolvimento sustentado.

FRANCÉS *et. al.* (1990) cita a importância de se considerar elementos e processos de origem natural no planejamento, como um auxílio na distribuição das atividades antrópicas, além dos possíveis impactos negativos que podem ocorrer.

Para ORTOLANANO (1994) o uso do solo influencia na dinâmica dos recursos hídricos, tanto no ritmo quanto na magnitude dos eventos (em princípio naturais). Algumas características das bacias, como variações da proporção de infiltração e evapotranspiração e características hidráulicas da rede de drenagem, são afetadas pelo aumento de porções impermeabilizadas, modificações em redes de drenagem natural, sarjetas, drenos, canos de esgoto, etc. Tais interferências podem ser responsáveis pela escassez de recursos hídricos, obrigando a racionamentos ou gerando problemas de cheias (PIRES & SANTOS, 1995).

Para ZUQUETTE (1993) as publicações, durante a década de 80, a respeito do assunto parecem indicar uma sobreposição entre *Geologia Ambiental* e *Geotecnia Ambiental*, o que dificulta as etapas de atuação de cada ramo. Contudo, o autor cita que *Geologia Ambiental* tem um caráter mais regional e preventivo voltado ao diagnóstico, caracterização, avaliação, classificação, etc, enquanto que *Geotecnia Ambiental* é caracterizada por um caráter mais localizado (visa evitar, recuperar e controlar).

Para AYALA CARCEDO (1988 *apud* SOBREIRA, 1995), existe uma inter-relação entre *Cartografia Geotécnica* e os *Estudos Geoambientais*, tanto na busca de soluções não estruturais, como em soluções estruturais (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Inter-relação entre Cartografia Geotécnica e Estudos Geoambientais.

A utilização de mapas Geocientíficos de vários tipos (ALONSO *et. al.*, 1990), pode ser caracterizada como uma base de grande utilidade na combinação e cruzamento de informações geológico-geotécnicas com outros dados ambientais, o que torna possível uma avaliação integrada da capacidade do terreno frente às diferentes solicitações do meio físico.

Para BECKER & EGLER (1997), o diagnóstico ambiental deve apresentar como ponto de partida a interação entre sociedade e natureza, vista como uma resultante da interação dinâmica do sistema natural, com a formação sócio-econômica de uma determinada porção do espaço geográfico.

Segundo ITC (1996), tem-se utilizado bastante os "geoindicadores ambientais", baseado em tendências internacionais, para o monitoramento ambiental e ecológico, com o objetivo de relatar o estado do meio ambiente e possibilitar avaliações de sustentabilidade ambiental. Estes *geoindicadores* estão voltados a medir magnitudes, frequência, tendência,

proporções de mudanças geológicas que vem ocorrendo na superfície da terra (ou próximo a ela), descrevendo, desta forma, processos e parâmetros ambientais, visando compreender como as ações antrópicas vem procedendo frente as mudanças destes processos e conseqüências.

Desta forma, o Zoneamento Geoambiental pode ser encarado como sendo o instrumento para o desenvolvimento sustentável, à medida que é incorporada a dimensão ambiental e a produtividade, levando em conta o desenvolvimento humano.

Hoje, isto só é possível com o desenvolvimento de técnicas de coleta, tratamento e análise de informações, onde destacam-se os Sistemas de Informação Geográficas (SIG's), os quais permitem inter-relações espaciais entre informações temáticas georreferenciadas (BECKER & EGLER, 1997).

Segundo GRECCHI (1997) para muitos autores o Zoneamento Geoambiental com o objetivo de planejamento e ordenamento territorial pode ser classificado como um ramo da Geologia Ambiental, resultando na caracterização do meio (geologia, geomorfologia, hidrologia, recursos naturais, científicos paisagísticos e culturais).

2.4. Metodologia de Zoneamento Geoambiental

Segundo CENDRERO (1990), as metodologias empregadas em trabalhos deste gênero são bastante variadas, essas diferenças ocorrem em função das características geológicas, climáticas, nível de ocupação humana e as atividade predominantes sobre cada região.

FARRIA (1989, *apud* SOBREIRA, 1995), apresenta uma descrição sucinta das principais metodologias relacionadas ao ordenamento territorial, sendo estas classificadas em dois grandes grupos:

1. Aquelas que consideram os aspectos geológicos não aprofundados e
2. Aquelas que consideram as características geológicas como base na caracterização de domínios para obtenção das aptidões do terreno.

DÍAS DE TERÁN (1988) agrupa as metodologias relacionadas a este tema em três categorias, as quais são: Sistemáticas (com representação de unidades integradas), analíticas (representam os aspectos do território de forma separada) e mistas (usam os dois procedimentos).

Em SOBREIRA (1995) são apresentadas muitas outras metodologias que abordam o zoneamento geoambiental, como: CSIRO (1952-68 *apud* DIAZ DE TERÁN 1988); TRICART (1966. *apud* FARRAIA. 1989); MCHARG (1969); MAX FALQUE (1972, *apud* SEA, 1980); BROWN *et. al.* (1971); LUTTIG (1971, 1972, *apud* DIAS DE TERÁN 1988); TURNER & COFFMAN (1975, *apud* FARRAIA, 1989); GOMEZ OREA (1978, 1979, *apud* DIAZ DE TERÁN, 1988), etc.

2.4.1. Grupo 1: Metodologias com base na geologia para obtenção de Zonas Geoambientais

2.4.1.1. 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. A metodologia utilizada toma como base a metodologia e os conceitos proposto pelo Departamento de Geologia Econômica da Universidade do Texas (*Bureau of Economic Geology of the University of Texas – Austin*), apresentando apenas algumas modificações.

Segundo este autor, informações quantitativas adicionais, em especial sobre propriedades físicas e taxas de processos ativos, são necessário para uma definição mais precisa das unidades. Os parâmetros considerados na obtenção e classificação das unidades incluem processos ativos, *landforms*, propriedades físicas do substrato rochosos e depósitos superficiais, associações biológicas e feições antrópicas. Podem ainda ser utilizados dados a respeito de solos, produtividade agrícola e outros parâmetros que permitam um entendimento completo do meio natural e antrópico. Estas informações, adicionadas a dados sócio-econômicos, permitirão um melhor e mais eficiente planejamento do meio.

A capacidade destas unidades são definidas 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 usar o meio sem provocar danos.

2.4.1.2. Metodologia de CENDRERO et. al. (1983)

Esta metodologia está baseada no uso do mapeamento geocientífico como ferramenta na avaliação e planejamento do ambiente natural. A idéia básica de um sistema de mapas geocientíficos, corresponde à preparação de mapas temáticos descritivos, mapas derivados ou de qualidades significantes e mapas de conflitos de uso recomendado do solo.

A metodologia proposta por estes autores consiste de três estágios e uma fase preliminar (Figura 2.5). Estes mapas são aplicados diretamente a problemas de riscos naturais, sendo estes um importante fator ambiental (CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1985, COSTA, 1981 e SPANGLE, 1979).

Figura 2.5 - Fluxograma da metodologia de CENDRERO et. al. (1983) (modificada).

2.4.1.3. Metodologia de CENDRERO & DÍAS DE TERAN (1987)

Para estes autores, a elaboração de mapas tem se baseado em dois grandes grupos, os quais são: *Analíticos* e *Sintéticos*, com base nas principais linhas metodológicas (Figura 2.6)

Figura 2.6 - Principais linhas metodológicas para elaboração de mapas geoambientais (CENDRERO & DIAZ DE TERÁN, *apud* CENDRERO, 1990).

A Figura 2.7 ilustra um tipo de mapa obtido conforme a metodologia proposta por estes autores.

Figura 2.7 - Exemplo de um mapa geoambiental clássico de categoria sintética ou de unidade homogêneas (Modificado de BROWN *et. al.* 1971).

Segundo CENDRERO & DÍAS DE TERAN (1987), a elaboração do documento cartográfico, no sentido de Zoneamento Ambiental ou Geoambiental com a finalidade ao planejamento, pode ser em diversas escalas (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Relação entre finalidade de planejamento, níveis e escalas dos mapas (LÜTTIG 1978, *apud* GRECCHI, 1997).

2.4.1.4. Metodologia de FRANCÉS *et. al.* (1992)

A metodologia proposta por estes autores apresenta a aplicação da cartografia geoambiental como ferramenta no diagnóstico de unidades territoriais, nas fases de planejamento e gestão do uso da terra.

Segundo estes autores, devem ser observadas as escalas dos mapas elaborados, sendo que, em estudos de cunho regional, a escala mais adequada é de 1:50.000 ou menores, enquanto que em nível de gestão de espaços naturais e ocupação urbana ou atividades mais específicas, as escalas devem ser de detalhe ($> 1:50.000$).

A seguir são apresentados os exemplos para cada tipo de estudo:

1. Diretrizes de Ordenamento Territorial – D.T.O. (escala regional);
2. Plano de Gestão e Uso dos Espaços Naturais. (implantação de parques naturais) e
3. Plano de Ordenamento Urbano do Município (escala de detalhe).

A Tabela 2.2 a seguir apresenta as fases proposta por esta metodologia, neste tipo de estudo.

Tabela 2.2 – Fases da metodologia proposta por FRANCÉS *et. al.* (1992).

D.T.O DA CANTRÁBRIA	PARQUE NAC. DE OYAMBRE	PARQUE NACIONAL DE JAIZKIBEL	PLANO DE ORDENAÇÃO URBANA- SUANCES
Compilação/infor mações e identificação de elementos significativos	elaboração de cartografia temática 1:10.000	compilação da informação prévia existente	Elaboração de cartografia analítica 1:10.000
Cartografia analítica: elaboração de mapas temáticos	cartografia sintética delimitação das unidades morfodinâmicas	identificação dos elementos significativos para o estabelecimento da atividade	cartografia e descrição das unidades morfodinâmicas
Cartografia sintética de unidades de diagnóstico (E - 1:50.000)	obtenção do mapa de qualidade para conservação	cartografia de unidades de diagnóstico (1:25.000)	identificação em cada unidade do fator limitante para seu uso
Valoração de unidades de diagnóstico	obtenção do mapa de categorias de diagnóstico	obtenção do mapa de qualidade para conservação	elaboração de mapas de categorias de planejamento (1:5.000)
seleção das atividades	análise dos conflitos de uso e de impactos ambientais	recomendação de uso e zoneamento final	estabelecimento de norma urbanística
Avaliação da capacidade de suporte do território	normas e propostas de atuação		
Elaboração de diretrizes e normas legais	avaliação econômica das atuações propostas		

2.4.1.5. Proposta Metodológica de ZUQUETTE et. al. (1997)

Para este autor, uma carta de Zoneamento Geoambiental corresponde a uma cartografia geotécnica, no que se refere a avaliação do contexto global das potencialidades do meio físico. Sendo assim estas podem ser classificadas em função do tipo de documento como *carta de prognóstico de recursos e possibilidades*.

Para a obtenção da carta referida anteriormente, será necessária a análise de documentos cartográficos anteriores, tais como:

- Documentos Fundamentais Básicos – ex: mapa de substrato rochoso, mapa de qualidade das águas, mapa de *landforms*, mapa de bacias hidrográficas, mapa de documentação, etc;
- Cartas Fundamentais de Síntese – ex: mapa de condições geológico-geotécnicas, etc;
- Cartas Derivadas ou Interpretativas - ex: 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 e
- Cartas Analíticas Básicas – ex: carta de probabilidade de ocorrência de eventos naturais, carta de possibilidade de ocorrer eventos perigosos, etc.

Desta forma, é importante admitir um critério rigoroso na seleção dos atributos a serem considerados e suas respectivas classificações, as quais devem atender diretamente as solicitações do trabalho (ZUQUETTE, 1993 a, b). Isto será desenvolvido através 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 (Tabela 2.3), seja em função de sua pouca expressão ou pela impossibilidade de obtenção dos dados ou ainda pela sua confiabilidade.

O autor apresenta os atributos considerados essenciais (Tabela 2.3), obtidos durante a elaboração e análise dos documentos cartográficos propostos anteriormente. Além da apresentação dos atributos o autor cita os métodos e os procedimentos para a obtenção da Cata Geoambiental.

Tabela 2.3 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (Zuquette, 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
		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

Tabela 2.3 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (Zuquette, 1997 modificado de 1993) (continuação).

		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	
	Vegetação	distribuições/ tendências	
		Natural	
		tipos	
		distribuições/tendências	
		classificação quanto à taxa de massa verde	
		profundidade das raízes	
		capacidade de retenção de água na superfície	
		Antrópica	
		tipos/ ciclos	
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	

2.4.1.6. Metodologia de SOBREIRA (1995)

No estudo geoambiental realizado por SOBREIRA (1995) são considerados os aspectos geológicos de maneira mais detalhada, resultando na elaboração de uma cartografia de caráter sintético, com o objetivo de quantificar as propriedades e características dos terrenos e processos geodinâmicos existentes.

A proposta metodológica apresentada por este autor está subdividida da seguinte forma:

⇒ Primeira Etapa

- ✓ Carta Litológica: utilização de trabalhos preexistentes e exaustivo trabalho de campo.
- ✓ Caracterização Geomorfológica: análise de rede de drenagem, declives e demais aspectos litológicos, com conseqüente compartimentação em unidades morfológicas-territoriais (carta geomorfológica).

⇒ Segunda Etapa

Nesta etapa, são caracterizados e analisados os recursos naturais disponíveis na área. Para isto é necessário obter alguns dados como:

- ✓ Recursos de Ocupação do Espaço – elaboração de uma cartografia de aptidão à construção (para toda área) e uma carta geotécnica para a porção da área com maior nível de ocupação.
- ✓ Recursos Hídricos – restringe-se à águas subterrâneas, à partir de furos de captação. Apresentando uma caracterização hidrológica, além de análises químicas.
- ✓ Recursos Minerais – obtenção através de dados bibliográficos e obtenção de dados de exploração/extração.
- ✓ Recursos de interesse científico, cultural e paisagístico definidos como – "Locais que por causa de sua raridade ou singularidade, apresentam condições únicas de observação e apreciação, devendo ser classificados como patrimônio natural".

Nesta etapa já é possível a seleção dos principais locais que mereçam ações de conservação e não raramente recuperação.

⇒ Terceira Etapa

Neste ponto do trabalho é feita uma caracterização dos perigos e susceptibilidades aos efeitos das catástrofes naturais, tais como:

- ✓ Movimentos em Vertentes – quantificação da taxa de recuo das falésias litorâneas (através de fotografias aéreas de diferentes idades);
- ✓ Erosão Hídrica – caracterização da erosão potencial através da elaboração da carta de susceptibilidade à erosão (cruzamento das cartas de litologia, declividade, densidade de drenagem e uso atual do solo) e
- ✓ Sismos – dados do catálogo sísmico nacional e as cartas de perigo sísmico existente, com posterior análise de situações de risco.

No término destas três etapas, é elaborada uma carta geoambiental de carácter sintético, através da combinação da intensa pesquisa de áreas com estudos preexistentes. As unidades geoambientais obtidas nesta carta, são cruzadas com as atividades instaladas e as possíveis, na forma de uma matriz, podendo-se desta forma avaliar a capacidade de suporte individual de cada unidade, tanto em termos de adequabilidade quanto dos impactos provocados.

2.4.1.7. Metodologia de ALONSO et. al. (1990)

Estes autores elaboraram um mapeamento e conseqüente avaliação ambiental das unidades, nas regiões montanhosas da Cantábria (Espanha), para isto foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Divisão das unidades, considerando as feições fisiográficas, climáticas, morfológicas e litoestruturais. Em um primeiro momento, com base nos aspectos climáticos e fisiográficos, foram produzidos os chamados "*morphodynamic environment*" (MDE)

(CRISTIAN, 1997; CENDRERO & DÍAS DE TERÁN, 1982, *apud* ALONSO, 1990). Após isto estas unidades foram subdivididas com base nos dados litoestruturais e na geomorfologia, obtendo-se o que se chama de "*morphodynamic systems*" (MDS), e avaliadas considerando-se as atividades de uso da terra.

2. Definição de unidades mais detalhadas com base em: rochas, regolito, *landforms*, solos e vegetação. Tais unidades são então descritas em função de suas feições geológico-geotécnicas, eventos perigosos naturais e ecológicos, sendo usadas então como peça fundamental na obtenção de outras cartas de interesse como: a) cartas de eventos perigosos naturais; b) qualidade para preservação; c) solos e suas capacidades e d) vegetação potencial ou recomendações e limitação do uso da terra.

2.4.1.8. Metodologia de RIVAS et. al. (1994)

Existem vários exemplos de cartas geoambientais elaboradas através da metodologia proposta por estes autores, as quais são:

- ✓ Restauração de áreas degradadas;
- ✓ Diversas situações de risco;
- ✓ Previsão e prevenção de impactos ambientais;
- ✓ Diagnósticos e proteção de recursos hídricos e
- ✓ Delimitação de áreas de conservação

Alguns empregos da cartografia geoambiental proposta nesta metodologia, apresentam um caráter mais específico.

Os mapas obtidos com esta metodologia apresentam uma divisão de terreno em uma série de unidades homogêneas, compartimentadas com base em *landforms*, materiais superficiais, processos ativos e uso presente da terra, contudo, outros fatores como vegetação e grau de poluição também podem ser considerados.

O diagnóstico destas unidades foram realizados quanto a qualidade ambiental e o potencial de recuperação. No primeiro caso são

considerados alguns fatores como a proximidade do *clímax* de comunidades bióticas e alguns indicadores ambientais como a presença de alguns *taxons* ou ainda a existência de comunidades de plantas. No segundo caso são consideradas as possibilidades físicas de eliminação da presença da ação humana.

De acordo com a proposição desta metodologia, a obtenção do "Mapa de Potencial para Preservação e Restauração" foi feita pela atribuição de pesos aos indicadores ambientais e às unidades morfodinâmicas, obtendo-se assim um índice para cada unidade, agrupando-as em classes.

Após a obtenção da carta descrita acima, as unidades homogêneas são convertidas em unidades de manejo, levando-se em consideração seus atributos relacionados à conservação, apresentando assim sugestão para ações de manejo e restauração (Figura 2.9).

Figura 2.9 - Mapa de ações de manejo. 1) Água; 2) Preservação e restauração de sistemas naturais; 3) Reabilitação da paisagem de áreas da costa; 4) Parques urbanos; 5) Trilhas naturais; 6) Barreiras de árvores; 7) Estacionamento; 8) Marina. Além destes existem outros usos como: U: Urbano; S: Esportes; R: Estação de trem; Sch: Escola.

2.4.1.9. Metodologia de Nava et. al. (1991)

A metodologia apresentada pelos autores, tenta apresentar e/ou subsidiar soluções de problemas ambientais, tais como: escorregamentos, enchentes, entre outras. Neste contexto de transformação negativa generalizada da paisagem e conseqüente queda no padrão de qualidade de vida, os autores propõem:

1. Levantamento histórico de ocorrências geotécnicas;
2. Levantamento de dados geotécnicos;
3. Elaboração da carta de declividade;
4. Mapeamento Geotécnico;
5. Uso de perfis de sondagens já existentes;
6. Obtenção de dados pluviométricos e
7. Construção de um quadro de correlações dos dados levantados nas etapas anteriores, resultando em um diagnóstico ambiental.

Com base nestas atividades/procedimentos, a obtenção de informações do meio pode ser obtida em uma tabela proposta pelo autor.

2.5. Grupo 2: Metodologias com o aspecto geológico considerados de forma superficial

Neste grupo de metodologias apresentado a seguir, os atributos de cunho geológico são considerados apenas de modo superficial.

2.5.1. Metodologia de MEIRELES et. al. (1987)

Os autores, considerando que esta metodologia está restrita aos aspectos naturais, adotam um método de abordagem específica, tendo como essencial a base cartográfica. Para isso os autores utilizam o trabalho de SIMIELLI (1981), intitulado "Variação Espacial de Capacidade de Uso da Terra", onde a proposta metodológica segue as proposições de RIMBERT (1964, *apud* Meireles, 1987) e LIBAULT, (1971, *apud* Meireles, 1987), resultando em um roteiro de investigação subdividido em quatro níveis, os quais são:

compilatório, correlatório, semântico e normativo. A Figura 2.10 a seguir ilustra o roteiro metodológico proposto.

Figura 2.10 – Roteiro de investigação sobre o zoneamento do meio físico (MEIRELES, 1996).

2.5.2. Metodologia de Villota (1996)

O autor propõe uma metodologia, onde a análise do território toma como base o estudo da paisagem, entendida no sentido de um "recurso derivado de valoração estática de percepção do meio", justificando-se pelo seu grande valor paisagístico.

O mapa de unidades de paisagem obtido nesta metodologia, resulta um sistema de sobreposições reduzindo as unidades maiores em "unidades de paisagem" (Figura 2.11), apresentando uma homogeneidade entre seus atributos paisagísticos. Tais unidades homogêneas, resultam da

compartimentação morfológica (fisiografia e litologia), caracterizada qualitativamente por atributos geomorfológicos, vegetação e atividade antrópica.

Figura 2.11 - Redução das unidades do geral para o específico em termos de informações homogêneas (FRANK, 1995).

Como consequência deste procedimento pode-se obter então as "unidades ambientais" apresentadas por CENDRERO (1975).

A descrição destas unidades é feita através 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. Além destes procedimentos são utilizados atributos descritivos de qualidade visual e singularidade e aspectos de potencialidades, fragilidades e absorção de impactos ambientais.

As características da geologia, geomorfologia, são obtidas através de resposta visual que estes fatores podem influenciar na paisagem, vegetação e usos do solo entre outros.

A análise da paisagem envolve alguns procedimentos como:

- ✓ Forma Descritiva - consideração das características intrínsecas com base em dois enfoques: 1) *parâmetros de qualidade*

visual/percepção (gradiente ou grau de luminosidade, cor, textura e tamanho) e 2) *singularidade*: locais de valores absoluto e estático (raro, singular, único, pouco habitual). Tal conceito é considerado relativo e dinâmico, dependendo das condições de vizinhança.

- ✓ Potencialidade - é relativo à aptidão para determinadas funções ou ainda capacidade de uso ou fragilidade frente à possíveis impactos.

Desta forma os parâmetros que devem ser considerados nesta avaliação são:

- ✓ Litologia e solos;
- ✓ Vegetação (árvore/arbustos);
- ✓ Características Antrópicas (cultivos e construções) e
- ✓ Processos atuais e riscos associados.

Em suma, esta metodologia de avaliação da paisagem é baseada em observações diretas, com subjetividade aceita, exigindo um profundo conhecimento da área de estudo, utilizando também apoios cartográficos, resultando em uma valoração sintética (subjetiva) da diferentes unidades, caracterizando-as em escalas semi-quantitativas de fácil compreensão.

2.5.3. Metodologia de Impacto Ambiental

2.5.3.1. MacDONALD & BROWN (1995)

Para os autores, em estudos de impactos ambientais, devem ser considerados alguns princípios, como: a) necessidade de focar impactos cumulativos; b) necessidade de estimular a responsabilidade da comunidade para o manejo ambiental e c) necessidade de unir política , planejamento e avaliação. Tais princípios não são abordados nos planejamentos ambientais em EIA's (Estudos de Impactos Ambientais) tradicionais, tornando-os uma grande ferramenta de manejo ambiental.

2.5.3.2. RIVAS et. al. (1994)

Para estes autores os Estudos de Impacto Ambiental (EIA), são ferramentas bastantes úteis no planejamento do uso do solo, na efetivação da prevenção de impactos indesejáveis e na redução de custos de restauração. A Figura 2.12 apresenta os procedimentos adotados pela metodologia proposta. Os autores consideram que o impacto em determinada unidade ambiental pode ser obtido pelo método de ponderação de cada elemento considerado na avaliação do impacto, podendo ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Ia = \sum_{i=1}^m Wia \times V_{ia} , \text{ onde:}$$

Ia - impacto da atividade a sobre aquele ponto;

Wia - peso do elemento i para o impacto global da atividade a (contribuição do impacto sobre aquele elemento para o impacto total);

Via - valor do tipo (unidade) do elemento i presente no ponto, num rank de impactos a serem gerados pela atividade A (numa escala de 5 termos),

m - número de elementos (mapas temáticos) considerados.

Além disto, tais pesos são expressos em porcentagem, permitindo sua conversão em classes através de métodos estatísticos e de interpolação. De posse disso podem ser confeccionados mapas de impacto para as atividades desenvolvidas, o que pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Ip = \frac{\sum I_{aj}}{n} ; \text{ onde:}$$

Ip - impacto do projeto p;

I_{aj} - impacto sobre a unidade j da atividade a (proposta no projeto p)

n - número de unidades

Figura 2.12 - Fluxograma da metodologia de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) de planos diretores modificado de (CENDRERO & DÍAZ de TERÁN, 1987 *apud* RIVAS *et. al.*, 1994).

No final destas caracterizações, a aptidão de cada unidade é obtida pela combinação de sua capacidade com os impactos a serem produzidos pelas atividades consideradas (CENDRERO & DÍAS DE TERAN, 1987 *apud* RIVAS *et. al.*, 1994).

A descrição destas unidades ambientais foram feitas através da consideração de alguns indicadores, como:

- ✓ Indicadores Quantitativos ou Semi-quantitativos.
 - ❖ Área ocupada por diferentes tipos de unidades (em especial áreas dignas de preservação);
 - ❖ Volume e valor de recursos minerais sujeitos a comercialização (areia, cascalho, água) em cada unidade;

- ❖ Produtividade agrícola dos solos em cada unidade;
- ❖ Risco natural;
- ❖ Qualidade das águas;
- ❖ Taxa de erosão, número de espécies ameaçada na unidade;
- ❖ Densidade biológica na unidade;
- ❖ Densidade de ocupação humana;
- ❖ Valor da terra

✓ Indicadores Qualitativos

- ❖ Capacidade do solo;
- ❖ Valor das diferentes unidades para conservação;
- ❖ Vulnerabilidade das águas superficiais ou subterrâneas;
- ❖ Qualidade/fragilidade da paisagem;
- ❖ Capacidade para desenvolvimento
- ❖ Produtividade potencial das unidades

✓ Possíveis indicadores de impactos

- ❖ Áreas de solos com diferentes produtividades afetadas pela construção ou alguma transformação;
- ❖ Número de locais afetados (ou área das unidades) com diferentes graus de valor para conservação;
- ❖ Volume de recursos não exploráveis com valor econômico;
- ❖ Áreas que experimentam aumento de erodibilidade;
- ❖ Área de alta vulnerabilidade das águas que foram afetadas;
- ❖ Aumento esperado de *runoff*;
- ❖ Magnitude e extensão dos impactos visuais,
- ❖ *Harzards*/risco naturais induzidos;
- ❖ Redução esperada no número de espécies ameaçadas.

2.5.4. Metodologia de Valoração Territorial

Segundo GRECCHI (1998, 1997) várias metodologias são citadas na literatura, na tentativa de obter métodos de valoração territorial, tanto através de parâmetros intrínsecos quanto extrínsecos do meio físico.

A seguir serão apresentadas as metodologias que abordam estas características.

2.5.4.1. Metodologia de RECATALÁ & SANCHES (1996)

Segundo GRECCHI (1998) esta metodologia pode ser considerada indireta, tentando ser o mínimo subjetiva possível. Como esta metodologia tem o objetivo de avaliação de impacto ambiental e planificação territorial, ela tenta promover a valoração do impacto em áreas a serem protegidas, aplicando-se as seguintes propriedades:

- 1) qualidade visual intrínseca;
- 2) fragilidade visual intrínseca e
- 3) qualidade e fragilidade visual extrínseca.

2.5.4.2. Metodologia de ALONSO HERRERO & CENDRERO (1988)

Segundo estes autores, a valoração territorial de unidades em função de diferentes tipos de utilização, deve ser feita através da confecção de vários mapas temáticos, obtidos através de parâmetros bióticos e abióticos utilizando o processo de valoração e adequação do uso (semelhante ao proposto por ALONSO HERRERO *et. al.*, 1993)

Os parâmetros considerados na valoração do terreno, são: altura, inclinação das vertentes, exposição, litologia, depósitos superficiais e vegetação, com seus respectivos atributos. A valoração do meio é feita através da elaboração de matrizes, utilizando os atributos anteriormente considerados relevantes e as atividades selecionadas a serem desenvolvidas. Esta forma de valoração trata-se de um modelo do tipo convergente (CENDRERO, 1990; CENDRERO & DIAZ DE TERAN & GONZALES

LASTRE, 1980 *apud* HERRERO & CENDRERO, 1988), obtendo-se desta forma a capacidade de suporte do território para determinada atividade.

Na matriz utilizada na valoração, nas colunas são dispostas os atributos que dependem do meio natural (e_j) e nas linhas as atividades selecionadas (a_j), resultando desta forma em uma matriz R_{ij} , onde cada célula corresponde ao resultado da multiplicação da porcentagem de cada tipo e_j pelo a_j esta operação pode ser vista com a seguinte equação:

$$R_{ij} = e_j \times a_{ij}$$

onde: e_j - porcentagem do tipo do elemento

a_{ij} - coeficiente de ponderação do tipo da atividade

A valoração total de uma unidade tem o valor C_{ai} , a escolha de determinada atividade é dada em função de:

$$C_{ai} = \sum_{j=1}^{22} e_j \times \sum_{j=1}^{22} R_{ij}$$

Assim estabelece-se uma dupla hierarquia para se determinar a vocação do uso. Em primeiro lugar, com base no índice I_v , obtido pela equação a seguir, a vocação de cada unidade para as atividades, é determinada estabelecendo-se uma hierarquia entre elas.

$$I_v = \frac{C_{ai}}{C_{aim}}, \text{ onde quanto maior o } I_v \text{ mais próximo a um ótimo hipotético}$$

estará a vocação para esta atividade.

Através da comparação dos valores obtidos de C_{ai} , obtém-se, para cada atividade, uma maior ou menor vocação de uso.

Por fim, a distribuição mais adequada dos usos pode ser definida com maior precisão se forem consideradas as unidades homogêneas, como os sistemas e unidades morfodinâmicas, largamente utilizados por outros autores.

2.6. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL E PLANEJAMENTO URBANO

2.6.1. *O Zoneamento para Planejamento Urbano e Regional: Uma Abordagem Ambiental.*

É sabido que um estudo de zoneamento deve abranger as características do meio físico e a dinâmica dos processos naturais e modificadores, envolvendo ainda o estudo integrado de uma grande gama de disciplinas de várias áreas do conhecimento, necessárias para definição de potencialidades e limitações do meio.

Em suma a proposta de zoneamento tenta diferenciar aspectos quantitativos e/ou qualitativos de forma a subsidiar as análises e proposições nas etapas de desenvolvimento do planejamento e gestão de unidades territoriais urbanas e/ou rurais, permitindo a definição de áreas de vocações ou restrições ao uso do solo para finalidades urbanas, industriais, agrícolas, mineração e preservação.

Para CLÁUDIO (1987), a participação pública e a consideração de custos e danos sociais nos processos de planejamento, não devem ser deixados de fora, tanto do processo de planejamento propriamente dito como na etapa de tomada de decisões. A procura de parâmetros indicadores e outros critérios e procedimentos envolve um grande processo de investigação que se inicia no conhecimento adequado do meio físico. Neste contexto, o zoneamento ou a proposta de zoneamento não deve ser considerada como uma técnica, mas uma necessidade de planejamento político, de gerenciamento, educação e gestão do meio físico, além da função social na tomada de decisões e resolução de problemas.

O crescimento econômico, em toda sua história, (ESPINOSA, 1993), é considerado como um dos principais motivos da degradação do ambiente. Tal crescimento econômico está fundamentado na utilização exaustiva de energia fóssil, no uso da água e do solo como receptores de dejetos e na super-exploração dos ecossistemas naturais. Por este motivo, entre outros, é que há a necessidade crescente dos planejadores definirem "zonas" ou

"parcelas" do solo destinados à diferentes atividades , evitando desta forma uma insustentabilidade a longo prazo.

A conservação ambiental de unidades territoriais, pode ser compreendida como uma questão racional da utilização da biosfera, de tal sorte que produza o maior benefício ao homem (IUCN, 1984).

A aplicação de documentos cartográficos ao planejamento territorial, tem se tornado uma ferramenta essencial para este tipo de atividade, mesmo que ainda necessite aperfeiçoamentos, principalmente no que diz respeito à adequação ao tipo de usuário final destes materiais cartográficos, os quais muitas vezes não estão habilitados ou treinados necessariamente para manipular e interpretar adequadamente as informações contidas nos mesmos.

Como pode-se observar, dentro deste contexto, muitos trabalhos (MAHARAJ, 1994; TSIAMBAOS *et. al.* 1997, HANSCH *et. al.* 1997; MULDER, 1994; HRASNA, 1997; KLEB, 1997; WANG, 1997; KONOMI, 1997; IVANOVIC, 1997; JÁNOVA & LISCÁK, 1994; DERMENTZOPOULOS & KATSARIDIS, 1997), têm apresentado vários tipos de propostas (mapas ambientais, planejamento ambiental, exploração de água subterrânea, proteção ambiental, etc.), para a definição de zoneamentos, ou apenas apresentado os aspectos metodológicos envolvidos neste processo de seleção de áreas, para a definição de suas utilidades e/ou restrições.

Segundo ZUQUETTE (1997), a carta de zoneamento constitui uma carta de orientação, tendo como finalidade principal subsidiar ao "planejador", considerando todas as formas possíveis de uso da terra. O mesmo autor afirma que a definição destas unidades deve ser feita a partir de atribuições de pesos para cada atributo do meio considerado nesta análise.

Para qualquer tipo de carta de zoneamento, esta sempre deverá conter também documentos descritivos, com informações sobre todas as unidades e as diretrizes para a ocupação das mesmas, considerando sempre suas limitação e potencialidades.

Segundo KRAAK *et. al.* (1995) a proposta de utilização de mapas e/ou cartas no processo de planejamento não é "reinventar a roda", mas

utilizar os módulos já disponíveis dos sistemas de informações geográficas existentes, de maneira a enfatizar o desenvolvimento das visualizações das capacidades de uso e restrições, qualidade (incluindo padronizações), documentações, além de supervisionar a integração e o modelamento das imperfeições (Figura 2.13).

Figura 2.13 – Suporte por decisão visual para manejo de dados espaço-temporais (KRAAK *et. al.*, 1995).

A questão central em cartografia é, como as pessoas tomam decisões com mapas e suas respectivas análises? O importante então é que se tenha acesso às informações necessárias para o desenvolvimento do planejamento do meio físico.

No Brasil, nota-se que o planejamento tem sido preferencialmente setorial com características muito significativas de coordenação e integração das informações, principalmente no que se refere às aspirações de proteção e conservação do meio natural. No entanto, os problemas na cartografia, não se restringem às possibilidades de aplicação efetiva, mas à importância comparável aos procedimentos e produtos.

Segundo HRASNA & KLUKANOVÁ (1997) os documentos cartográficos, entre outros documentos que subsidiam o planejamento devem conter alguns dados geológicos como:

- Condições de fundações – listar a ocorrência com solos de baixa capacidade de carga, expansão e contração dos solos, solos colapsíveis, solos sujeitos a recalques, liquefação etc;
- Meio rochoso – estrutura geológica, arranjo estrutural dos tipos de rochas e suas propriedades geotécnicas;
- Unidades de terreno adequadas para sítios de disposição de resíduos – municipal, tóxico, perigoso, radioativo, etc;
- Condições hidrogeológicas – principalmente no que se refere a fontes de água fresca, mineral e termal (qualidades e quantidades características, facilidade de empregos, grau de contaminação e proteção requerida);
- Fenômenos geodinâmicos – terremotos, falhas, inundações, escorregamentos, colapso, *karts*, erosão, intemperismo, sedimentação, etc;
- Depósitos minerais – tipo, qualidade, problemas de exploração e processamento e seus impactos ambientais;
- Unidades de terreno com influência negativa na saúde humana – radioatividade natural, emanção e emissão de gases, etc.
- Relevo – sua declividade e dissecação.

Para este autor, estes são "geofatores", os quais influenciam de uma forma positiva ou negativa na definição do *zoneamento* das unidades do solo e diretamente no planejamento das mesmas.

Os mapas de *zoneamento* que auxiliam no planejamento devem delimitar unidades territoriais, caracterizadas pelos geofatores descritos anteriormente e que apresentam um certo "grau de homogeneidade" no que se refere às condições geológicas, contendo também outras informações como, fertilidade dos solos, reservas naturais, proteção de florestas etc.

2.7. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

2.7.1. O que é e para que serve?

Segundo CÂMARA & MEDEIROS (1998) o termo *sistema de informações geográficas*, é aplicado para todos os sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Para se esclarecer ainda mais o que significa este termo, serão apresentados a seguir as seguintes definições de SIG:

- "Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados" (ARONOFF, 1989, *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998).
- "Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real" (BURROUGH, 1986).
- "Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas e problemas" (COWEN, 1988 *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998).
- "Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder as consultas sobre entidades espaciais" (SMITH, 1987 *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Através de tais definições é possível concluir que um SIG, apresenta uma finalidade multivariada, além de características multidisciplinares, sendo assim, pode-se citar duas principais características que constituem um SIG, 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 satélite, redes e modelos numéricos de 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 georreferenciados.

Em função de sua grande quantidade de aplicações, incluindo temas como agricultura, vegetação, cartografia, cadastro (urbano e rural), os sistemas de informações geográficas podem ser usados da seguinte maneira:

- Como ferramenta na elaboração de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos e
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais

Atualmente, de forma sumarizada, os SIG's, podem ser conceituados como sistemas de processamento de dados, que apoiando-se em processos gráficos, capturam dados espacialmente referenciados, administrando e processando estes dados para aplicações no campo das geodisciplinas.

Muitos autores (GTZ, 1994; ASSAD & SANO, 1993; BÄHR & VÖGHT, 1991 e DALE & McLAUGHEN, 1990), afirmam que o ambiente computacional permite analisar dados de forma integrada, com o objetivo de obtenção de soluções rápidas e precisas para problemas relacionados ao comportamento espacial dos dados.

Desta forma, os Sistemas de Informações Geográficas revolucionaram o modo como as informações geográficas (fotografias aéreas, imagens de satélite, e estatística), são manipuladas, as quais são freqüentemente usadas em pesquisas e nos processos de planejamento, em função de terem se tornado importantes informações para o processo de tomada de decisões (DALE & McLAUGHEN, 1990)

Segundo INTERA TYDAC (1992) pelo fato de sua grande adaptabilidade, estes sistemas têm sido recomendados para uma gama muito grande de aplicações, incluindo neste contexto, análise ambiental, planejamento de uso da terra, planejamento de uso de recursos hídricos, economia, entre outras finalidades.

Por este motivo é que os sistemas de informações geográficas utilizados na avaliação do meio físico, vêm se tornando cada vez mais freqüentes, tanto em empresas privadas, quanto em órgãos administrativos e de pesquisas.

2.7.2. Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas

Segundo CÂMARA & MEDEIROS (1998), estes sistemas apresentam os seguintes componentes:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem e
- Armazenamento e recuperação de dados (na forma de um banco de dados georreferenciados)

Tais componentes apresentam um relacionamento organizado de forma hierárquica, apresentando três níveis, os quais são: 1) nível mais próximo: corresponde à interface homem-máquina, definido o modo de operação e controle do sistema; 2) nível intermediário: este nível é constituído por mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída) e 3) nível mais interno: constituído por um sistema de gerenciamento de banco de dados geográficos, oferecendo o armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

A Figura 2.14 a seguir apresenta o relacionamento entre os principais componentes e os subsistemas de um SIG.

Figura 2.14 - Arquitetura dos sistemas de informação geográficas CÂMARA & MEDEIROS (1998).

A apresentação espacial dos dados pode ser feita de várias formas, como a forma matricial e a vetorial.

Segundo TEIXEIRA *et. al.* (1992) "a partição do espaço em estrutura matricial é obtida de uma malha com linhas verticais e horizontais espaçadas de forma regular (Figura 2.15), formando células. Tais células também chamadas de pixel, ou quadrícula, geralmente possuem dimensões verticais e horizontais iguais, que define a resolução da malha. Isto equivale a dizer que ocorre um processo de generalização onde os vários elementos que podem constituir uma quadrícula deixam de ser individualizados.

Figura 2.15 - Superfície de uma malha regular (NAMIKAWA, 1995 *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Para EASTMAN (1998), na estrutura vetorial os limites ou o curso das feições são definidas por uma série de pontos, linhas e polígonos, os quais formam a representação gráfica das feições, onde cada ponto será georreferenciado a um sistema de coordenadas, como latitude/longitude ou a grade de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mecator*).

2.7.3. Operações Matemáticas nos Sistemas de Informações Geográficas

Existe uma infinidade de operações matemáticas (funções) inseridas dentro de um SIG, e este é um ponto que distingue estes sistemas de outros tipos de sistemas de informações. Tais funções realizam análises espaciais, utilizando atributos espaciais ou não das informações armazenadas na base de dados, na tentativa de serem realizados modelamento (simulações) sobre os fenômenos reais, seus aspectos ou parâmetros.

Dentre as operações existentes pode-se citar (CÂMARA & MEDEIROS, 1998):

- Operações Pontuais: estas operações geram como saída, valores os quais são função apenas dos valores de entrada em cada ponto correspondente. Podem operar sobre um campo (fatiar um modelo digital de terreno, ou classificar uma imagem), ou realizar interseções entre conjuntos espaciais (operações booleanas entre mapas temáticos). Estas operações podem ser de três tipos: 1) Operações unárias - também chamada de operações de transformação. Equivale a um mapeamento entre os campos de entrada e de saída. A Tabela 2.4 abaixo apresenta os tipos de operações unárias.

Tabela 2.4 - Operações Unárias de transformações (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Entrada	Saída	Nome da Operação
Temático	MNT (Modelo Numérico de terreno)	Ponderação
Temático	Temático	Reclassificação
Dados de Sen. Remoto	Temático	Fatiamento
MNT	Temático	Fatiamento de classes

- Operações Booleanas: são funções que utilizam operadores *or*, *not* ou *and* e permitem realizar cruzamentos em dois ou mais níveis de informação. A seguir será apresentada na Tabela 2.5, como ocorrem estas operações lógicas.

Tabela 2.5 - Tipo de Operações Booleanas, resultado e exemplo (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Operação	Resultado	Exemplo
A and B	Obtém todos os elementos contidos na interseção entre A e B
A not B	Retoma somente os elementos contidos exclusivamente em A
A or B	Obtém os elementos contidos tanto em A como em B
A Xor B	Obtém os elementos contidos em A e B, excluindo-se a interseção

- Operações matemáticas: CÂMARA & MEDEIROS (1998) apresentam um exemplo bastante prático deste tipo de operação (Figura 2.16).

Figura 2.16 - Apresentação de um tipo de operação matemática (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

No exemplo, f_1 (quadro superior esquerdo) é um mapa de solos ponderado e f_2 (quadro superior direito) é um mapa de declividade. Uma operação matemática, poderia ser utilizada como procedimento intermediário para se calcular o mapa de adequação de solo (quanto maior o valor, mais adequada).

- Operações de Vizinhança: Esta classe de operações, a partir da entrada de dados são computados dados de saída com base na dimensão e forma de uma vizinhança em torno de cada

localização do dado de entrada, como: 1) cálculos de valores *mínimo, máximo, médio, modal* para uma vizinhança em torno de um ponto; 2) filtros para processamento de dados de sensores remotos; 3) métodos de interpolação espacial para MNT (como médias por vizinho mais próximo); 4) mapas de declividade e exposição para MNT e 5) índices de diversidade para dados TEMÁTICOS (onde o valor de saída está associada ao número de vizinhos de um ponto de entrada de uma classe que pertencem a classes distintas).

- Operações Zonais: Tais operações são definidas sobre regiões específicas, onde as restrições são fornecidas por outro dado temático. Ex.: obtenha a declividade média para cada tipo de solo". No caso de operadores zonais, um campo temático é utilizado para definir uma região de interesse aonde é computada a função. Os operadores zonais incluem: 1) *média, máximo e mínimo e desvio padrão* dos valores sobre uma região especificada; 2) *índice de variedade dos valores*, onde cada valor no mapa de saída será computado a partir do número de valores diferentes do campo de entrada que pertencem a uma mesma região zonal. Como exemplo a operação MÁXIMO ZONAL, onde se toma um TEMÁTICO como restrição sobre um MNT, e se retorna o maior valor do MNT para cada tema (Figura 2.17). A importância teórica das operações zonais é permitir materializar em SIG os conceitos de unidade de paisagem (BERTRAND, 1981; TRICART, 1977; TRICART & KIEWIETDEJONGE, 1992 *apud* CÂMARA E MEDEIROS, 1998) e área-unidade (HARTSHORNE, 1978 *apud* CÂMARA E MEDEIROS, 1998) e além disso, permite a ligação entre dados do meio físico-biótico e dados sócio-econômicos, essencial para estudos de ordenação do território.

Figura 2.17 - Operação de Máximo Zonal (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

- Operação de Classificação contínua

→ Operações com lógica fuzzy: esta técnica de classificação contínua utiliza noções de conjunto nebulosos (fuzzy), substituindo os processos tradicionais de mapas. Esta característica é observada freqüentemente no manuseio de mapas temáticos para análise do meio ambiente (CÂMARA & MEDEIROS, 1998). Contudo DAVIDSON *et. al.* (1994) também lança mão destes tipos de operações para avaliação do uso da terra.

O exemplo dado por BURROUGH (1986), onde uma fronteira arbitrária entre dois tipos de solos está definida exatamente por uma linha, representa de forma equivocada, o que na realidade corresponde a uma variação gradual. Desta forma, quando se realizam superposições entre mapas temáticos, o erro inerente à divisão arbitrária dos mapas em áreas definidas é propagado.

O resultado com este tipo de operação (SUI, 1992) permite acrescentar detalhes de transição gradual, reduzindo assim a perda de informações relacionadas com os atributos de cada parcela analisada, possibilitando uma identificação mais analítica desta unidade.

Conforme o proposto por alguns autores (CÂMARA & MEDEIROS, 1998) a alternativa é sempre trabalhar com dados em representação contínua. Na prática isto equivale a

trabalhos com modelos numéricos de terreno para representar variáveis espaciais como solo, geomorfologia, vegetação etc.

Segundo DAVIDSON *et. al.* (1994) a adoção da "lógica fuzzy" fornece uma metodologia mais satisfatória do que a adoção de outras operações, como a *booleana*, na avaliação do uso do solo entre outras aplicações. Para BURROUGH (1986) isto é evidente pois o uso pontual da álgebra *booleana*, com uma lógica simples de verdadeiro ou falso, na combinação de um modelo exato, rígido é freqüentemente inapropriado para o caso de naturezas de variação contínua (solos, topografia, etc.).

Segundo HALL *et. al.* (1992) a classificação usando a "lógica fuzzy" na avaliação do uso da terra/solo é muito menos sensível à perturbações (ruídos) nos dados, do que com a aproximação feita através das operações *booleanas*. Segundo BURROUGH (1992) muito menos informações são rejeitadas em todos os estágios de análise, sendo muito melhor para a classificação de variações contínuas.

2.7.4. MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Para FELGUEIRAS (1998) o Modelo Digital de Terreno (ou MNT – Modelo Numérico de Terreno) "é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região".

Os fenômenos típicos que podem ser representados por um modelo deste tipo são dados de relevo, geologia, dados de batimetria, dados meteorológicos, geofísicos, geoquímicos entre outros.

Dentre as utilizações de um modelo numérico de terreno, BURROUGH (1986) cita:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográfico;
- Análise de corte/aterro para projetos de estradas e barragens;

- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio na análise da geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas e
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Segundo CAMARA & MEDEIROS (1998) as análises desenvolvidas sobre um modelo digital de terreno permitem: visualizar modelos em projeção geométrica planar, gerar imagens de nível de cinza (Figura 2.18), imagens sombreadas (Figura 2.19) e imagens temáticas; calcular volumes de aterro e corte, realizar análises de perfis sobre trajetórias predeterminadas e gerar mapas derivados como de declividade e exposição, mapas de drenagem e de curvas de nível (Figura 2.20) e mapas de visibilidade.

As análises podem ser quantitativas e/ou qualitativas, tornando-se peças importantes para fins de simulações (modelamentos) e tomada de decisão.

Figura 2.18 - Modelo Digital do Terreno representados em tons de cinza.

Figura 2.19 - Modelo Digital do Terreno representado como uma imagem sombreada (imagem *raster*).

Figura 2.20 - Representação de um Modelo Digital do Terreno em curva de nível.

Outras aplicações na utilização de um Modelo Digital de Terreno podem ser obtidas como e seus respectivos exemplos:

- Análise de declividade, aspecto, curvatura, elevação etc (MITAS *et. al.*, 1996) (Figura 2.21);
- Estimativa de *runoff* (escoamento superficial);
- Análise de erosão;
- Indicadores de degradação de Bacias Hidrográficas (FERREIRA & MORETI, 1998);
- Rede de Drenagem;
- Estudos hidrológicos (curvas hidrógrafas, etc) (FERREIRA & MORETI, 1998);
- Vazão fluvial (BEVEN & WOOD, 1983 *apud* FERREIRA E MORETI, 1998);
- Zoneamento de áreas sujeitas a escorregamento/movimento de massa (CARRARA *et. al.*, 1998).
- Susceptibilidade a escorregamentos (CARRARA *et. al.*, 1998).
- Avaliação de uso da terra/solo (CARRARA *et. al.*, 1998).
- Fluxo de água (COSTA-CABRAL & BURGESS, 1994; MITAS *et. al.*, 1996);
- Horizontes de solo (MITAS *et. al.*, 1996);
- Erosão/Deposição (MITAS *et. al.*, 1996) (Figura 2.22) etc.

Figura 2.21 - Modelo digital de terreno na representação de aspecto (a), curvatura (b), elevação (c) e declividade (d) (modificado de MITAS *et. al.*, 1996).

Figura 2.22 - Modelo Digital de Terreno na representação de erosão e deposição, sob duas formas diferentes de representação (modificado de MITAS *et. al.*, 1996).

2.7.5. Aplicações do uso de Sistemas de Informações Geográficas

Como já citado anteriormente, existe uma infinidade de usos específicos utilizando estes tipos de sistemas. TABACZENSKI (1995) apresenta uma listagem dos diversos usos de SIG no Brasil, entre outras aplicações, como: gerência de rede de distribuição de luz (exemplo: ELETROPAULO);

projeto e administração de rodovias; reconhecimento de áreas urbanas com imagens de satélite; diferenças espaciais de qualidade de vida; cartografia dos equipamentos sociais; gerenciamento costeiro; gerenciamento agro-industrial cítrico; controle florestal; planos diretores municipais; manejo de um sistema de saúde, entre muita outras utilidades.

As feições geográficas de uso e ocupação da biosfera podem ser observadas na forma de vários níveis ou camadas (*layers*) de informações relacionados e combinados entre si (Figura 2.23), através dos recursos da cartografia automatizada, manipulação de banco de dados e análise geográfica embutidas dentro de um SIG.

Figura 2.23 – Topologia em planos de informações (TABACZENSKI, 1995).

TABACZENSKI (1995) apresenta algumas das possibilidades de operações com os dados dentro de um sistema deste tipo, por exemplo:

- Medidas de distância entre dois pontos mais próximos (obtenção de rotas mais curtas);
- Medidas de área;
- Zona de influência em torno de pontos e polígonos;
- Tratamento de imagens orbitais;

- Transformação de coordenadas;
- Traçado de redes;
- Tratamento de dados altimétricos (declividade, interpolação, curva de nível, perfil de terreno, corte/aterro, modelos digitais de terreno etc...);
- Operações com polígonos (combinação e desagregação, superposição etc).

Segundo RHIND (1998, *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998), entre outros autores, as principais questões que podem ser atendidas com o uso de SIG estão apresentadas na Tabela 2.6, a seguir.

Tabela 2.6 - Questões envolvidas em análises espaciais (RHIND, 1988 *apud* CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Localização	Onde está?
Condição	O que está...?
Tendência	O que mudou...?
Rota	Para onde ir...?
Padrão	Qual o padrão...?
Modelação	O que acontece se...?

Da mesma forma CÂMARA & MEDEIROS (1998) apresentam alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG.

Diversas outras formas de utilização de SIG podem ser encontradas em SOUZA (1998); MARTINS *et. al.* (1998); IPPOLITI *et. al.* (1998); REIS *et. al.* (1998); OLIVEIRA *et. al.* (1998); FERREIRA (1998); CRUZ *et. al.* (1998); WATRIN *et. al.* (1998); AUGUSTO & VIADANA (1998); CERRI *et. al.* (1998); SANTOS (1993) etc.

2.7.6. Sistemas de Informação Geográfica no Processo de Tomada de Decisão

Segundo EASTMAN *et. al.* (1993), com o desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas, os "gerenciadores ambientais" tem seus sistemas de informações disponíveis, nos quais os dados estão mais acessíveis, mais facilmente combinados e com maior flexibilidade à modificações, em função da necessidade de tomada de decisões.

Contudo, a proliferação dos *softwares* em SIG e o surgimento do interesse público na aplicação destes sistemas para resolver os problemas reais, a tecnologia é comumente vista como complexa, inacessível e alienante a quem "decide".

Existem diversas razões para isto, primeiro porque o início do desenvolvimento e sucesso comercial destes sistemas, foi incentivado mais pela necessidade de inventários espaciais eficientes do que como suporte para tomada de decisões. Em função disto, segundo HONEA, *et. al.* (1991) e OPENSHAW (1991), poucos sistemas estavam providos de módulos de tomada de decisão e além disso a tecnologia de um sistema de informação geográfica é construída sobre uma gama muito grande de disciplinas científicas, como cartografia, sensoriamento remoto, ciências da computação, estatística e outras. Como consequência disso, para estar largamente envolvida em SIG é necessário um conhecimento prévio em "gerenciamento de dados digitais" e "ciência do mapeamento".

Como resultado, os sistemas de informações geográficas tem se tornado um campo que requer grande quantidade de níveis intermediários, entre o usuário final a "fonte de dados", como técnicos, gerenciadores de sistemas, analistas, consultores, interface com usuários, linguagem de questionamento e muitas outras.

Neste sentido, CAMPBELL (1991) admite que esta tecnologia pode ser considerada como um "pacote" no qual incluem não somente "*hardware*" e "*software*" mas também pessoas, habilidades pessoais, praticas em operação etc. Para isso, ninguém pode esperar o sucesso sem a

acomodação do sistema social, no qual as decisões são tomadas (CAMPBELL, 1991; EASON, 1988).

A literatura que aborda a "ciência de tomada de decisões" mostra que há uma falta de consenso nas definições de alguns termos e conceitos (ROSENTHAL, 1985). De acordo com EASTMAN (1993) é necessário conhecer algumas "definições operacionais" no contexto de tomada de decisões com SIG, são elas:

- ✓ Decisão: é uma escolha entre alternativas. As alternativas podem representar diferentes ações, hipóteses, localizações de terrenos entre outras escolhas. O comportamento racional humano envolve a avaliação de escolha de alternativas baseadas em alguns critérios.
- ✓ Critérios: é uma base para a decisão, podendo ser medida ou avaliada. É a evidência sobre a qual a decisão é tomada. Os critérios podem ser de dois tipo: fatores ou restrições (*constraints*).
 - Fatores: é um critério que realça ou mascara a susceptibilidade de uma alternativa para uma atividade sob consideração, entretanto este é medido em uma escala contínua.
 - Restrições (Constraints): serve para limitar as alternativas sob consideração. É caracterizado por um determinado valor limite ou classe, podendo ser relativo ao meio físico, biológico ou antrópico (ZUQUETTE, 1997).

As análises subjetivas de decisões sobre "eventos", por outro lado, compreendem várias aproximações, as quais compartilham propostas comuns de auxílio e tomada de decisões, expressando julgamentos e escolhas racionais consistentes (VOOGD, 1983).

As técnicas de tomadas de decisão adotadas incorporam algumas preferências como quantidades, esquema de ponderação de pesos, restrições (*constraints*), balizadores, utilidade e outros parâmetros. É importante ressaltar que as decisões são tomadas em uma variedade de níveis (políticos, otimizações e modelamento).

As técnicas de avaliação multicriterial e multiobjetiva estão bem desenvolvidas, dentro dos sistemas de informações geográficas, auxiliando

grandiosamente na resolução de problemas de tomada de decisão, quando esta envolve vários níveis de análise EASTMAN (1993).

A seguir serão apresentadas outras definições importantes que não devem ser deixadas de lado no que se refere ao processo de tomada de decisão. Tais definições são:

- ✓ Avaliação: processo atual de aplicação do papel da decisão. Estas podem ser: 1) *Avaliação Multicriterial* - escolha de um objetivo específico é freqüentemente onde vários critérios precisam ser avaliados. Um outro termo às vezes encontrado para este conceito é chamado de modelamento e 2) *Avaliação Multiobjetiva* - representa decisões que satisfaçam muitos objetivos. Estes objetivos podem ser de dois tipos na natureza, complementares ou conflitivos (CARVER, 1991).
- ✓ Incertezas: é claro que as informações são vitais para o processo de tomada de decisão, entretanto tem-se que reconhecer que raramente existem informações perfeitas. As incertezas podem estar relacionadas a duas fontes: 1) *na base de dados* - reside na avaliação do critério que são enumerados na precisão e 2) *Incerteza na Decisão* - está relacionado à parâmetros ou limites usados na decisão (às vezes é chamado de especificação de erro)
- ✓ Risco: pode ser entendido como a probabilidade de se tomar uma decisão errada. O risco aumenta com o resultado direto da incerteza.

Em adição a estas "definições operacionais" é necessário também se ter em mente um par muito importante de suposições operacionais, as quais são:

- ✓ A saída de uma decisão pode tornar-se um critério, se esta puder ser modelada previamente. Neste caso o processo de tomada de decisão se baseia no desenvolvimento do papel da decisão.

- ✓ A decisão definitiva é então balanceada entre a decisão aplicada, a entrada antecipada e o nível de risco.

2.7.7. Limitações do Uso dos Sistemas de Informações Geográficas

A grande quantidade de funções matemáticas embutidas nos sistemas de informações geográficas, muitas vezes, são usadas com pouco rigor. Ao se produzirem novos mapas por qualquer tipo de combinação ou manipulação dos dados, sem o controle minucioso dos procedimentos, muitas vezes pode-se obter resultados muitos dos quais não se conseguem explicar, dificultando, desta forma, a obtenção de conclusões objetivas.

Por este motivo, segundo CÂMARA & MEDEIROS (1998), é que muitos autores afirmam a incapacidade de expressar operações espaciais complexas, através destes procedimentos matemáticos, limitando muitos destes autores, a aplicação dos SIG's apenas como ferramentas de produção e manipulação de mapas.

Para uma utilização confiável destes tipos de sistemas é necessário o cumprimento de duas premissas: 1) domínio dos fundamentos teóricos de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas e 2) uma metodologia de trabalho muito bem definida (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

No que se refere ao estabelecimento dos procedimentos metodológicos, deve-se considerar a natureza essencialmente numérica das operações matemáticas dentro dos SIG's. Isto vem do fato que a simples execução de uma destas operações matemáticas com os mapas, não necessariamente irá representar de forma fiel a realidade do meio. Por este motivo é que ainda existem questões como: O que pode ser explicado ou modelado por técnicas de geoprocessamento?

Para isto é necessário entender as relações que explicam a organização do espaço, desta forma é imprescindível o conhecimento de alguns conceitos como forma, função, estrutura e processo. No que se refere a *forma*, esta é um aspecto visível do objeto, referindo-se ainda ao seu arranjo, constituindo assim um padrão espacial. A *função* constitui uma atividade, a ser desenvolvida pelo objeto. A *estrutura* pode ser

compreendida como a maneira pela qual os objetos se relacionam. O processo é uma estrutura em seu movimento de transformação.

Em suma, os SIG's, dispõem de mecanismos bastante eficientes para expressar de forma adequada a estrutura do espaço (geração de mapas de declividade, exposição de vertentes), contudo, a relação estrutura e processo poderá ser resolvida apenas quando da utilização de mecanismos computacionais (armazenamento da organização espacial) e por especialistas (compreensão da dinâmica do processo).

Por fim, pode-se observar que os sistemas de informações geográficas necessitam que seus usuários apresentem uma postura ativa e crítica, ao mesmo tempo em que se deve considerar a grande complexidade dos procedimentos matemáticos envolvidos, além da compreensão total dos aspectos metodológicos que abordam a dinâmica dos processos espaciais. Sendo assim, para o uso adequado destes sistemas é necessário o equilíbrio entre *forma e função* e *estrutura e processo*.

CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

3.1 – Localização e Acesso

A área de estudo encontra-se, em parte, inserida dentro de *Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas* do Estado de São Paulo (IPT, 1992), e engloba *Áreas de Proteção Ambiental – APA* (Corumbataí, Botucatu, Tejupá, Bacias dos rios Piracicaba e Juqueri-Mirim), uma *Estação Ecológica* (Ibicatu) e uma *Área Natural Tombada* (Horto Florestal e Museu Edmundo Navarro de Andrade). As APA's e a Estação Ecológica estão sob administração federal do IBAMA e estadual da Secretaria do Meio Ambiente (SMA), enquanto que a Área Natural Tombada está sob administração federal do IBPC (Instituto Brasileiro Patrimônio Cultural) e estadual do CONDEPHAAT (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado).

A área de trabalho está compreendida parcialmente nas folhas topográficas de Itirapina, Rio Claro e Piracicaba, na escala 1:50.000, entre os paralelos 22°13'53''S e 22°31'02''S e os meridianos 47°25'32''W e 47°46'45''W, perfazendo aproximadamente uma área de 520 km², correspondendo às bacias do Rio Passa Cinco e do Rio da Cabeça, ambos afluentes da margem direita do Rio Corumbataí.

O acesso a área pode ser feito através da Rodovia Washington Luis (SP 310), que liga as cidades de São Carlos à Rio Claro, tomando-se como acesso estradas vicinais logo após a descida da Serra dos Padres (Município de Analândia). Outro acesso pode ser feito à partir do município de Itirapina, de onde partem diversas estradas vicinais que cortam toda a área.

A localização da área pode ser observada na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Localização da área das bacias estudadas no Estado de São Paulo.

3.2 - Aspectos físico-climáticos

Fisiograficamente, a área compreende parte de duas províncias geomorfológicas do estado de São Paulo, a *Depressão Periférica* e as *Cuestas Basálticas* (arenito-basálticas) e está localizada, mais especificamente, na *Zona do Médio Tietê*, correspondendo a um relevo pouco acentuado sob forma de colinas e com altitudes variando entre 550 e 650 metros (IPT, 1981b), contudo, ocorrem na área altitudes superiores a 1000m, podendo a diferença entre as áreas serranas e baixas atingir 400m, influenciando sensivelmente no regime térmico. Os limites entre estas duas províncias são definidos por *escarpas festonadas*, contudo, em algumas regiões estes limites não são bem definidos, sendo caracterizados por relevos residuais suportados por maciços básicos, ou raramente por rochas sedimentares (IPT, 1981b).

A região de cuestas apresenta um relevo escarpado, nos limites com a Depressão Periférica, seguida de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, predominando os relevos de morros. O sistema de drenagem é bastante diversificado, recebendo rios da Depressão Periférica e do Planalto Atlântico, os quais promovem a esculturação das escarpas, em diferentes intensidade de entalhe (IPT, 1981b).

A Figura 3.2 a, b e c a seguir, apresenta os diagramas de balanço hídrico correspondente à quadrícula de São Carlos, (São Carlos, Itaqueri da Serra e Rio Claro), calculados para 125mm (THORNTWAITE & MATER, 1955 *apud* OLIVEIRA E PRADO, 1984).

Em função das características de temperatura e precipitação, pode-se identificar, segundo o sistema de Köppen, para as regiões serranas um clima temperado do tipo CWb, com inverno seco e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C. Para as áreas baixas, o clima pode ser caracterizado como um clima temperado do tipo CWa, com a temperatura do mês mais quente superior a 22°C. A média anual de precipitação para a região serrana está em torno de 1450mm e temperaturas anuais médias de 18.7°C, já para as regiões mais baixas a precipitação média anual não ultrapassa 1250mm e a temperatura média anual é de 20.5°C. O período chuvoso estende-se de outubro a março e o

seco de abril a setembro, sendo a passagem abrupta entre estes dois períodos.

Figura 3.2 – Balanço hídrico para três localidades da quadrícula de São Carlos: a) São Carlos; b) Itaqueri da Serra e c) Rio Claro (modificado de OLIVEIRA E PRADO, 1984).

3.3 - Vegetação

Segundo OLIVEIRA & PRADO (1984), a vegetação primitiva pode ser caracterizada, principalmente, por campos cerrados e cerradões. Esta vegetação é constituída por uma cobertura herbácea mais ou menos contínua e um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e folhas coriáceas (ADAMOLI *et. al.*, 1986).

A vegetação primária, em muitas partes da área foi substituída por áreas de pasto e subordinadamente pela cultura canavieira e de *citrus* e principalmente pelas áreas de reflorestamento de pinho das indústrias de papel e celulose. Contudo, algumas áreas de vegetação primária persistem, graças às condições naturais do meio físico (declividades elevadas) e por serem caracterizadas como áreas de conservação.

3.4 - Aspectos Geológicos

A área de estudo está centrada em sua totalidade, dentro do contexto de litologias da Bacia Sedimentar do Paraná. As litologias presentes são de idades Paleozóicas a Mesozóicas, representadas pelos grupos Bauru (Formação Itaquerí e Formação Marília), Tubarão (Formação Tatuí), Passa Dois (Formação Corumbataí e Formação Irati), São Bento (Formação Serra Geral, Formação Botucatu e Formação Pirambóia), além de coberturas cenozóicas. A Figura 3.3 apresenta a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná (IPT, 1981a).

A seguir serão descritas, sucintamente, as unidades geológicas ocorrentes na área de estudo, com base nas informações obtidas em IPT (1981a), PEJON (1992) e NISHYIAMA (1991).

GRUPO			LITOLOGIA		
MESOZOICO JURÁSSICO A CRETÁCEO	BAURU	Marília	Km	Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com finas estratificações cruzadas de médio porte. Subordinadamente ocorrem lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos. Presença comum de nódulos carbonáticos.	<div> <div>KTi</div> <div>Formação Itaquari: Predominantemente arenitos com cimento argiloso com lentes alongadas de folhelhos e conglomerados p. limfíticos.</div> <div>KTii</div> <div>Sedimentos correlatos à Fm. Itaquari: Arenitos conglomeráticos limonitizados, siltitos e conglomerados oligomíticos.</div> </div>
		Adamantina	Ka	Arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte.	
		Santo Anastácio	Ksa	Arenitos muito finos a médios, mal selecionados, subordinadamente de caráter arcossão, geralmente maciços, apresentando localmente cimento e nódulos carbonáticos.	
		Caiaú	Kc	Arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados, com coloração arroxeada típica, apresentando abundantes estratificações cruzadas de grande a médio porte. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos.	
	SÃO BENTO	Serra Geral	JKsg	Rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos, com coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapezoidais, finos a médios apresentando estratificação cruzada tangencial. Ocorrem esparsos níveis vitríficos não individualizados.	<div>Pc</div> <div>Formação Corumbataí: Depósitos possivelmente marinhos de planícies de rifar, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos, silicitos e camadas de arenitos finos.</div>
		Botucatu	JKb	Arenitos edificados avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte. Ocorrem restritamente depósitos fluviais de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.	
		Pirambóia	JKp	Depósitos fluviais incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação cruzada ou plano-paralela, com níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-argilosa.	
	PASSA DOIS	Rio do Rasto	Prr	Depósitos de planícies costeiras compreendendo arenitos muito finos a médios, esverdeados a avermelhados e subordinadamente argilitos e siltitos avermelhados.	
		Teresina	Pt	Depósitos possivelmente marinhos prodeltaicos compreendendo folhelhos e argilitos cinza escuros a esverdeados ou avermelhados finamente laminados, em alternância com siltitos e arenitos muito finos, presença de restritos lentes de calcários oolíticos e sílex.	
		Serra Alta	Psa	Depósitos essencialmente marinhos incluindo siltitos, folhelhos e argilitos cinza escuros a pretos, com laminação plano-paralela.	
		Irati	Pi	Siltitos, argilitos e folhelhos silticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários creme silicificados e restritos níveis conglomeráticos.	
	TUBARÃO	Palermo	Pp	Depósitos marinhos com predominância de siltitos cinza esverdeados e subordinadamente arenitos finos a médios e conglomerados; frequentes concreções, nódulos e leitos silicíticos.	<div>Pti</div> <div>Formação Tatui: Depósitos marinhos com estratificação plano-paralela, predominando siltitos, arenitos finos em parte concrecionados por calcário e sílex, de coloração vermelha arroxeada na parte inferior e esverdeada na base.</div>
		Rio Bonito	Prb	Depósitos essencialmente marinhos com predominância de siltitos e folhelhos com níveis carbonático-argilosos e subordinadamente arenitos muito finos.	
		Itararé	CPi	CPi: Depósitos glaciais continentais, glacio-marinhos, fluviais deltaicos lacustres e marinhos compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, arcossãos, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmíticos e raras camadas de carvão.	
		Aquidauana	CPa	CPa: Depósitos continentais predominantemente arenitos médios a grossos, feldspáticos de coloração vermelho-arroxeada e subordinadamente arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos.	
DEVONIANO CARBONIFERO SUPERIOR A PERMIANO MÉDIO	PARANÁ	Ponta Grossa	Dpg	Dpg: Não aflorante	
		Furnos	Df	Df: Depósitos marinhos predominantemente arenitos de granulação grossa, feldspáticos, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte e subordinadamente arenitos finos, arenitos conglomeráticos e conglomerados oligomíticos básicos.	

Figura 3.3 – Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Paraná (IPT, 1981a).

Grupo Tubarão

Subgrupo Itararé – esta unidade compreende arenitos imaturos de granulação variada, siltitos, folhelhos, ocorrendo por vezes intercalações de carvão (raro), além de diamictitos, conglomerados e tilitos.

Segundo IPT (1981b), este subgrupo caracteriza-se por apresentar depósitos glaciais continentais, glacio-marinhos, lacustres, deltáicos fluviais e marinhos. Alguns autores (PEJON, 1992), ainda subdividem este grupo em função de associações litológicas.

Formação Tatuí – esta formação caracteriza-se por apresentar siltitos arenosos e arenitos finos, apresentando também como características, feições de concrecionamento. A cor predominante desta unidade destaca-se como de coloração amarelada, amarela esverdeada (porção superior) e marrom arroxeada (porção inferior). A ambiência desta unidade caracteriza-se como depósitos marinhos, evidenciando estratificações plano-paralelas.

Grupo Passa Dois

Formação Irati – esta formação caracteriza-se por estar subdividida em dois membros, o primeiro, Membro Assistência, é constituído de folhelhos pirobetuminosos e calcáreos, e o segundo, membro Taquaral (inferior), é composto por intercalações de siltitos cinza claro e escuro.

Formação Corumbataí – esta formação é constituída de argilitos, siltitos e folhelhos cinza escuros, avermelhados, arroxeados, apresentando como característica peculiar, intercalações de bancos carbonáticos, sillexitos e camadas de arenitos maduros finos. A ambiência desta formação caracteriza-se por ambientes marinhos de planície de maré.

Grupo São Bento

Formação Pirambóia – caracteriza-se por apresentar arenitos finos a médios, de coloração esbranquiçada a avermelhada, podendo apresentar porções siltico-argilosas. As estruturas predominantes são estratificações

cruzadas de pequeno a médio porte. Uma característica desta unidade é a presença de níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas. A ambiência desta unidade é considerada de origem fluvial e de planície de inundação

Formação Botucatu – caracteriza-se por apresentar arenitos de granulação fina a média com grãos bem arredondados e superfície fosca, bem selecionados e baixa porcentagem de finos. Segundo NISHYIAMA (1991), pode ser observado localmente arenitos conglomeráticos na base do pacote. As estruturas sedimentares mais comuns são estratificações cruzadas planares de grande porte e tangenciais à base. A ambiência desta formação caracteriza-se por um ambiente desértico com seus vários subambientes. Uma outra característica desta unidade é o alto grau de silicificação em algumas porções da área, que segundo PARAGUASSU (1972) é resultado da precipitação da sílica à partir da água subterrânea.

Formação Itaqueri – esta formação ainda é assunto de grande discussão, em função puramente de questões de denominação (NISHYIAMA, 1991), contudo a sua ocorrência é confirmada na região da Serra de Itaqueri e é caracterizada por arenitos grosseiros conglomeráticos, com fácies pouco calcíferas e localmente com cimento silicoso, variando lateralmente para arenitos calco-conglomeráticos. Segundo COTTAS & BARCELOS (1981, *apud* NISHYIAMA, 1991), estes sedimentos podem ser considerados de idade Cenozóica supra basálticas. Apresenta colorações rósea, vermelha e amarelada. Podem ser observados ainda seixos de quartzo centimétricos a decimétricos dispersos em uma matriz arenosa e siltosa.

Formação Serra Geral – caracteriza-se como derrames basálticos de composição toleítica, de coloração cinza a preta, textura afanítica, podendo ocorrer intercalações de arenitos intertrape. Estão incluídos aqui os derrames de lava, soleiras e diques de diabásio.

Estruturalmente, segundo SOARES (1974), pode ser identificado regionalmente sistemas lineares de falhas, falhas isoladas, sistemas *horst-grabens*, domos e flexuras estruturais. Como exemplo destas estruturas pode-se destacar o Sistema *Horst-Graben* Pau D'Alho e o Sistema Linear Rio das Pedras-Piracicaba-Ipeúna.

Para NISHYIAMA (1991), ocorrem falhas isoladas que apesar de muito freqüentes possuem pequena expressão na estrutura regional, podendo representar, ou não, diques de diabásio associados.

3.5 – Pedologia

As informações contidas neste tópico, foram compiladas e resumidas do Levantamento Pedológico Semidetalhado da Quadrícula de São Carlos e da Folha de Piracicaba, executado pela Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo de Campinas. O objetivo da apresentação destas informações é a pormenorização de ocorrências dos diferentes tipos de solos e sua distribuição na área de pesquisa em questão.

Na área foram identificadas 29 agrupamentos de solos, segundo a classificação do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. As unidades de solo podem ser organizadas em grupos pedológico (nos quais ocorrem associações), contudo serão apresentados a seguir os principais agrupamentos pedológicos (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Carta Pedológica simplificada da área de estudo (Modificada das Cartas Pedológicas do IAC de 1984 e 1989).

Principais agrupamentos pedológicos:

- Aq – Areia Quartzosa.
- Hi – Solos hidromórficos.
- Le – latossolos Vermelho-escuros, álicos, textura argilosa ou muito argilosa.
- Li – Solos Litólicos (agrupado por substrato de várias formações).
- Lr – Latossolos roxos, eutróficos a distróficos, textura argilosa ou muito argilosa.
- Lv – latossolos vermelhos-amarelos, álicos, textura média.
- Or – Solos Orgânicos.
- Pv – Podzólicos vermelho-amarelos, geralmente distróficos, abruptos, textura arenosa a média.
- Te – Terra Rocha, podem ocorrer associados a solos litólicos como os da Formação Serra Geral.

3.6 - Hidrologia e Hidrogeologia

3.6.1 - Águas Superficiais

A rede de drenagem da área de trabalho corresponde a duas subbacias da Bacia do Rio Corumbataí, ocupando a porção correspondente à depressão Periférica.

As subbacias, tanto a do Rio Passa Cinco quanto a Bacia do Rio da Cabeça apresentam características distintas quanto à densidade de

drenagem, em algumas porções da área de pesquisa. A subbacia do Rio Passa Cinco apresenta características de média a alta densidade, caracterizada por um padrão subdendrítico. A subbacia do Rio da Cabeça caracteriza-se por apresentar uma alta densidade de drenagem, com exceção em pequenas porções, onde são observados densidades médias e caracterizada por um padrão dendrítico a subdendrítico.

Em ambas subbacias é evidente em algumas situações o controle estrutural de algumas drenagens, evidenciados pelo caráter retilíneo e/ou paralelo das mesmas, além de outras feições como a forma em cotovelo.

3.6.2 - Águas Subterrâneas

Quanto ao sistema aquífero que caracteriza a região estudada, destacam-se o Sistema Botucatu, representado pelas formações Pirambóia e Botucatu e o Sistema Diabásio, representa pelas rochas básicas da Formação Serra Geral (DAEE, 1974 e 1981).

O Sistema Aquífero Botucatu corresponde quase que a totalidade da área e caracteriza-se como um aquífero livre podendo apresentar localmente características de confinado ou semi-confinado.

O Sistema Aquífero Diabásio ocorre localmente na porção sudoeste e nordeste e sempre associados a sistemas de fraturamento.

De acordo NISHYIAMA (1991), no que se refere às características hidráulicas, o Sistema Botucatu apresenta as seguintes características:

Propriedades hidráulicas	Municípios		
	ITIRAPINA		ANALÂNDIA
	Min.	Max.	
Q/S ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)	3.8	4.7	0.2
T (m^2/dia)	70	112	8
K (m/dia)	0.5	0.9	0.4

Os valores de capacidade específica e de transmissividade para o Sistema Botucatu não são representativos para todo o pacote e sim uma média. As zonas aquíferas do Grupo Passa Dois apresentam valores de capacidade específica e transmissividade variando de 0.05 a 1.25 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e inferiores a 10 m^2/dia respectivamente (DAEE, 1981).

CAPÍTULO 4: OBTENÇÃO, TRATAMENTO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES

4.1 – Aspectos Metodológicos

Com base na análise das metodologias que abordam estudos de cunho ambiental e/ou geoambiental (LOPES, 1998 e GRECCHI, 1998), a definição e identificação de unidades homogêneas ou com heterogeneidades aceitáveis, englobam atributos associados a materiais superficiais, substrato rochoso, *Landforms*, processos geodinâmicos (naturais e/ou induzidos) e uso e ocupação do solo, entre muitos outros. Considerando tais atributos, foram realizadas avaliações e diagnósticos, tornando relevante as restrições e aptidões do meio físico, buscando a melhor elaboração das propostas e procedimentos adotados na manutenção da qualidade do meio físico.

Os procedimentos utilizados no presente trabalho, são os apontados na proposta metodológica de ZUQUETTE (1993) e ZUQUETTE *et.al.* (1997), além dos fundamentos da cartografia geoambiental, segundo SOBREIRA (1995) e CENDRERO (1982, 1987 e 1988).

Com a finalidade de agilizar os procedimentos metodológicos, foram utilizados os recursos presentes nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), principalmente no que concerne a obtenção e exploração do potencial de cruzamento das informações. Foram ainda utilizados trabalhos de fotointerpretação, checagem de campo e coleta de amostras para um tipo de ensaio específico sobre os materiais superficiais (materiais inconsolidados) da área de estudo.

Muitas informações sobre a área de estudo já se encontram disponíveis, como no Projeto Piracena realizado desde 1992, o qual teve

como objetivo principal, a elaboração de um diagnóstico ambiental e hidrológico para toda a Bacia do Rio Piracicaba, tornando acessíveis seus dados em formato web (*www - Internet*), além dos trabalhos de mapeamento geotécnico já realizados como os produzidos por NISHIYAMA (1991) e LOLLO (1995).

Ao mesmo tempo em que o levantamento dos dados era realizado, foi elaborado o Mapa de *Landforms*, através de trabalhos de fotointerpretação e posterior checagem em campo das informações obtidas. A elaboração do Mapa de *Landform* objetivou definir unidades homogêneas para facilitar uma avaliação integrada da área, tendo como reflexo de fundo as características geológicas, pedológicas e dos processos geodinâmicos associados.

Outros documentos levantados, avaliados e elaborados foram: Mapa de Substrato Rochoso (obtidos de NISHIYAMA, (1991) e PEJON (1992)), Mapa de Bacias Hidrográficas (interpretação por fotografias aéreas), Mapa Pedológico (IAC, 1984 e 1989), Mapa de Materiais Inconsolidados (NISHIYAMA, 1991 e PEJON, 1992) e checagem de campo) e Mapa de Documentação, sendo que neste último constam pontos de coleta e controle realizados durante as atividades de campo deste trabalho e os produzidos por NISHIYAMA (1991).

Foram produzidos também alguns documentos cartográficos intermediários com a finalidade de serem avaliadas as situações de favorabilidade ou de restrições, como as cartas de susceptibilidade à erosão, potencial à infiltração, potencial agrícola e Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial.

A confecção do Mapa de *Landform* serviu como base para a elaboração da Carta de Comportamento do Meio Físico como Base para o Zoneamento Geoambiental, na qual estão inseridas e/ou confrontadas as informações de cada um dos documentos elaborados, sendo que cada unidade foi avaliada sob diversos aspectos, caracterizando-as com uma maior ou menor favorabilidade ou restrição frente à diversas solicitações. Maiores comentários a respeito desta carta serão discutidos no tópico referente a sua elaboração.

A Figura 4.1 a seguir apresenta a seqüência metodológica adotada para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 4.1 – Seqüência metodológica empregada.

4.2 - Obtenção das Informações

Várias fontes de informações e diversas instituições foram consultadas (IG-USP, IAC, UNICAMP, UNESP – RIO CLARO, EP – USP, INPE, IPT etc), com a finalidade de seleção dos documentos básicos necessários para início do trabalho. Após a fase de pesquisa e seleção, foram realizadas análises sobre

cada documento obtido, para que se procedesse à fase de entrada de dados dentro dos outros sistemas de tratamento das informações como o Sistema de Informações Geográficas IDRISI.

Muitas são as metodologias que abordam o zoneamento ambiental ou geoambiental e da mesma forma, muitas destas consideram os atributos de forma diferente uma das outras. Esta grande diferença pode ser observada principalmente no que se refere ao objetivo do estudo, localização da área e finalidade do uso da cartografia geoambiental e principalmente à área de conhecimento que envolve o trabalho.

4.3 - O Sistema de Informação Geográfica IDRISI

O Sistema IDRISI (Clark University Graduate School of Geography) é um sistema econômico, projetado para fornecer um fácil acesso para a tecnologia de análise geográfica.

Este sistema consiste basicamente de uma estrutura simples de dados, permitindo ao usuário efetuar suas próprias aplicações, tendo como informações básicas mapas, fotografias aéreas e imagens digitais, devidamente tratadas. É constituído por 3 módulos, os quais são:

- *Módulos Centrais*: fornecem os utilitários para entrada, armazenamento, administração, manipulação e análise das características das imagens;
- *Módulos Satélites*: fornecem extensões geralmente associadas com um módulo analítico fundamental, como o tratamento digital de imagens ou do SIG e
- *Módulos Periféricos*: estão associados com as necessidades particulares de projetos específicos de investigação, sendo inteiramente de natureza analítica.

4.4 - Entrada de Dados

Esta fase da pesquisa pode ser considerada como uma das mais importantes e delicadas de todo o trabalho, principalmente no que se refere à entrada das informações gráficas dentro do Sistema de Informação Geográfica IDRISI.

Posteriormente ao entendimento do uso do sistema e preparação dos documentos básicos, foi definida a conversão dos mapas tradicionais para o formato digital. O processo de digitalização como é chamado, pode ser executado através de dois procedimentos, os quais são: uso de mesa digitalizadora e digitalização em tela. Para ambos os processos é necessária uma dispendiosa demanda de tempo, tanto durante como depois do processo de vetorização, para a finalização dos documentos no formato digital.

As entidades gráficas representadas por elementos discretos, formam a representação "vector" (linhas, pontos, contornos de polígonos, etc), se necessário estas informações podem ser representadas na forma "raster", constituindo uma representação contínua do meio, como comentado no item 2.7.4 do Capítulo 2.

4.4.1 - Vetorização das Informações

Para serem efetuadas as análises e apresentação dos mapas e cartas da área de estudo, foi necessário antes, entrar com tais informações dentro de sistemas de edição gráfica, no caso o *software* AutoCad®, tanto para vetorização (digitalização) quanto para edição e impressão dos documentos cartográficos.

Os documentos utilizados como base inicial de todos os mapas e cartas básicos, foram as folhas topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000, de Itirapina (SF-23-M-I-3), Rio Claro (SF-23-M-I-4) e Piracicaba (SF-23-M-I-2), sobre as quais foram lançadas todas as informações produzidas durante o desenvolvimento do trabalho.

Para entrada das informações vetoriais dentro dos Sistemas de Informações Geográficas IDRISI, é necessário que o polígono correspondente a cada unidade mapeada esteja fechado, para posteriormente ser exportado em formato DXF (necessariamente na versão AutoCad® R12).

Após exportado o arquivo vetorial (DXF), o mesmo deverá ser importado para o SIG-IDRISI, utilizando-se a opção *import* do menu *File* (Figura 4.2) e posteriormente ser convertido para o formato *raster*, para que

desta forma seja possível a execução das operações de análise e cruzamento das informações.

A conversão para o formato *raster* é feita utilizando-se a opção *raster/vector conversion* do menu *Reformat*, onde é necessário a entrada do arquivo vector contendo as informações necessárias para as análises.

Figura 4.2 – Módulo de importação e exportação do Sistema IDRISI.

A Tabela 4.1 a seguir apresenta os documentos cartográficos que foram vetorizados dentro software AutoCad® e os produzidos dentro do SIG-IDRISI.

Tabela 4.1 – Documentos vetorizados e produzidos via SIG-IDRISI para apresentação das informações.

Vetorização (digitalização)	
Documento Cartográfico Digitalizado (AutoCad®)	Mapas e Cartas Produzidos (SIG-IDRISI)
Carta Topográfica	Carta de Declividade
Carta Pedológica	Carta de Susceptibilidade à Erosão
Mapa de Substrato Rochoso	Carta de Potencial à Infiltração
Mapa de Materiais Inconsolidados	Capa de Potencial Agrícola
Mapa de Bacias Hidrográficas	Carta do Comportamento do meio físico como base para o Zoneamento Geoambiental
Mapa de Landforms	

4.5 - Processamento de Dados, Análise e Modelamento

Após a digitalização dos mapas e cartas, procedeu-se a reclassificação e ponderação relativa de cada unidade contida nos documentos cartográficos básicos, frente às solicitações de cada processo natural que está sendo analisado.

É necessário salientar que a reclassificação por ponderação das unidades é um processo subjetivo de atribuição de pesos, refletindo assim um determinado nível de conhecimento dos processos e condições envolvidos. Por este motivo esta atribuição de pesos deveria ser realizada por um grupo interdisciplinar de profissionais que atuem na área.

Esta reclassificação por ponderação, dentro do SIG-IDRISI, é feita através da análise dos atributos e condições do meio físico, atribuindo-se pesos que variam de menos a mais importantes em relação ao processo estudado. Esta ponderação é feita através da criação de um arquivo de valores, onde estão presentes os identificadores de cada unidade e seu correspondente valor de importância. Esta análise é realizada através da opção do Menu *Data Entry/Edit*.

Depois da atribuição dos pesos é necessário se realizar uma normalização das unidades, efetuando-se uma padronização dos valores de cada imagem. Para isto foi utilizado a opção do comando *STRETCH* do módulo *Analysis/DataBase Query*, fazendo com que cada imagem seja representativa dentro de um intervalo padrão, que varia de 0 a 255. Desta forma, cada informação contida nas imagens poderá ser confrontada igualmente.

O cruzamento das informações (cartas e mapas), dentro do SIG-IDRISI, é feito através do processo de modelamento, utilizando a técnica de Avaliação Multicriterial (**MCE** – *Multi Criteria Evaluation*), disponível no módulo *Analysis/Decision Support/MCE* e fazendo-se uso do Método de Combinação Linear Ponderada (**WLC** – *Weighted Linear Combination*) (Figura 4.3).

Este método de combinação utiliza os atributos através de uma ordenação hierárquica, em uma matriz de correlação paritária, comparando-se a importância relativa de cada atributo frente ao processo em análise. A escala de comparação dentro do sistema IDRISI, corresponde a uma escala contínua que vai da menos a mais importante (Figura 4.4).

Figura 4.3 – Módulo de Avaliação Multicriterial do Sistema IDRISI.

Figura 4.4 – Matriz de Correlação e escala de comparação paritária do Módulo de Avaliação Multicriterial, utilizado na obtenção dos pesos individuais de cada atributo analisado.

Após a elaboração da matriz de correlação, obtém-se os pesos individuais das cartas envolvidas na análise, para isto é necessário fazer uso do comando *Weight* (Módulo *Analysis/Decision Support/Weight*), do Sistema IDRISI.

Além dos valores dos pesos, obtém-se também a taxa de consistência de ponderação, devendo esta, segundo SAATY (apud FERREIRA, 1996), ser sempre inferior a 0.10, o que indica a probabilidade na qual os valores dos pesos obtidos não tenham sido escolhidos aleatoriamente.

Após a obtenção dos pesos, através do procedimento descrito anteriormente, estes são utilizados no módulo MCE (*Multi Criteria Evaluation*), para a obtenção de uma imagem, onde estarão contidas todas as

informações a respeito dos atributos avaliados em cada situação específica. Esta imagem deve então ser reclassificada de acordo com a definição do atributo que se queira representar.

4.6 - Documentos Cartográficos Elaborados

Os documentos elaborados tomaram como base fundamental a proposta metodológica de ZUQUETTE (1993), a qual fundamenta-se na produção e análise de um conjunto de documentos gráficos que visam representar o meio físico, e que, quando associados a outros documentos, relativos ao comportamento do meio, permitam o zoneamento de uma área em função das solicitações e restrições impostas.

Foram ainda utilizadas outras ferramentas como a Técnica de Avaliação de Terreno, seguindo a sistemática proposta por LOLLO (1995) e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Todos os documentos foram executados na escala 1:50.000, seguindo as finalidades propostas para a área de estudo e em função também das informações já disponíveis.

4.6.1 - Documentos Básicos

4.6.1.1 - Mapa de Documentação (Anexo I)

Neste mapa constam a rede de drenagem digitalizada das cartas topográficas que abrangem a área de pesquisa (Itirapina – SF-23-M-I-3, Rio Claro – SF-23-M-I-4 e Piracicaba – SF-23-M-III-2), contendo desta forma menos detalhe que o Mapa de Bacias Hidrográficas. Ainda estão inseridos neste documento os pontos de controle e coleta realizados durante os trabalhos de campo e os realizados por NISHYIAMA (1991), além de outras informações como vias de acesso, ferrovias e cidades.

4.6.1.2 - Mapa de Bacias Hidrográficas (Anexo II)

A obtenção deste mapa foi feita à partir da digitalização (vetorização) da rede de drenagem, traçada com auxílio de fotografias aéreas em escala 1:60.000.

Como a área de estudo abrange uma extensa região, de aproximadamente 520 km², esta foi compartimentada em duas subbacias, as quais recebem o nome de suas principais drenagens, sendo elas: Bacia do Rio Passa Cinco e Bacia do Rio da Cabeça.

4.6.1.3 - Mapa de Substrato Rochoso (Anexo III)

Pelo fato de não ser objetivo deste trabalho e a existência de mapeamentos geológicos compatíveis com a realização deste, não foi elaborado um novo mapa geológico para a área, tendo sido obtido à partir de dados já existentes (PEJON, 1992; NISHYIAMA, 1991), além dos trabalhos de campo e de fotointerpretação, com a finalidade de levantar as informações referentes à litoestratigrafia que constitui a área de estudo.

A descrição das unidades que compõem este documento já foram apresentadas no tópico 3.2.3 do CAPÍTULO 3.

4.6.1.4 - Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV)

Para a geotecnia existe uma grande necessidade do conhecimento e uma abordagem integrada dos materiais do substrato rochoso com os de superfície e seus processos, sendo eles naturais ou não. Por este motivo é que os materiais inconsolidados, representados na forma de um documento cartográfico, constituem um documento analítico de grande importância para o conhecimento adequado da dinâmica do meio.

Os materiais inconsolidados apresentam-se classificados em residuais, quando estes estão desenvolvidos sobre a rocha à qual lhe deu origem, e retrabalhados, destacando-se por qualquer material inconsolidado que tenha sofrido qualquer tipo de transporte.

Como auxílio na definição e caracterização das unidades deste mapa, foram realizados trabalhos de fotointerpretação, com supervisão de campo para observação, descrição e amostragem dos materiais superficiais da área. As informações obtidas em ensaios específicos sobre estes materiais permitiram avaliar as unidades mapeadas em função de algumas características específicas. Outros ensaios de laboratório (ensaios

de caracterização e índices físicos) realizados por NISHYIAMA (1991) também auxiliaram na definição das unidades.

A etapa de fotointerpretação permitiu identificar unidades com graus de heterogeneidades baixos, no que diz respeito à textura dos tons de cinza das fotografias aéreas. Desta forma foi possível identificar um total de 16 unidades entre materiais inconsolidados residuais e transportados.

Os trabalhos de campo, tanto para observação, descrição e amostragem, permitiram uma análise do comportamento destes materiais dentro do ponto de vista de alteração, textura e por vezes espessura e/ou profundidade. Foram visitados um total de 99 pontos, incluindo os pontos de amostragem e descrição realizados por NISHYIAMA (1991), dentre os quais foram selecionados 25 pontos para amostragem (ANEXO I).

Sobre estes materiais foram realizados ensaios específicos como o Ensaio de Erodibilidade de Materiais Inconsolidados, como apresentados por PEJON (1992), segundo NOGAMI & VILLIBOR (1979). A técnica deste ensaio e seus resultados podem ser observados no APÊNDICE I.

A seguir serão descritas as unidades identificadas na área de estudo.

Materiais Inconsolidados Residuais:

- Residuais do Sub-Grupo Itararé (Ritar) - Esta unidade é constituída por materiais arenosos e argilosos, apresentando pequena espessura, geralmente inferiores a 2m.
- Residuais da Formação Tatui (Rta) - Esta unidade é semelhante a unidade Ritar, apresentando materiais inconsolidados de pequena espessura, podendo em alguns casos expor a rocha sã. Estes materiais apresentam uma elevada porcentagem de materiais finos e quantidades subordinadas de areia fina, associada a fragmentos de siltitos de tamanhos milimétricos a centimétricos.
- Residuais da Formação Irati (Rir) - Materiais inconsolidados com textura argilosa, apresentando nódulos de sílex em quantidades variáveis. Corresponde a alteração de folhelhos, caracterizada por espessuras elevadas, podendo alcançar até dezenas de

metros, em declividades baixas, em declividades altas formam camadas delgadas de alteração.

- Residuais da Formação Corumbataí (Rco) - Esta unidade apresenta espessuras variáveis, desde poucos centímetros até 5m. As espessuras menores são observadas em declividades mais acentuadas e desenvolvidos em substrato siltoso ou silto-arenoso. Quando ocorrem resquícios de material rochoso estes materiais podem exibir um intenso empastilhamento.
- Residuais da Formação Pirambóia (Rpi) - Estes materiais são caracterizados por areias argilosas de coloração amarelada e alaranjada. O perfil desta unidade não ultrapassa 5m de espessura. Ocorre um caimento no teor de finos com a profundidade, denotando uma passagem mais ou menos brusca entre os níveis essencialmente arenosos.
- Residuais da Formação Botucatu (Rbo) - Materiais arenosos caracterizados por apresentar uma elevada porcentagem de areia, ausência de coesão e espessuras que podem superar 20m.
- Residuais da Formação Serra Geral e dos Magmatitos Básicos (Rsg e Rmb) - Esta unidade apresenta textura predominantemente argilosa e coloração vermelha a arroxeada, contudo pode-se observar que em algumas localidades apresentam-se bastante siltosos. Nos locais com presença de silte estes materiais destacam-se por uma coloração amarelada e estrutura rochosa sutilmente preservada.
- Residuais da Formação Itaqueri (Ritaq) - esta unidade é caracterizada por materiais arenosos, mal selecionados, apresentando uma textura média arenosa e argilosa. São observados seixos de quartzo de tamanhos variados, variando de centimétricos a decimétricos. Apresenta um elevado teor de fração silte.

Materiais Inconsolidados Retrabalhados:

- Retrabalhados Arenosos 1 (Sar1) - Estes materiais caracterizam-se por se apresentar como areias pouco argilosas, com espessuras relativamente grandes e uma homogeneidade textural ao longo do perfil e linha de seixo na base. Caracteriza-se com baixa resistência à erosão.
- Retrabalhados Arenosos 2 (Sar2) - Caracteriza-se por apresentar um constituinte essencialmente arenoso, contudo com uma heterogeneidade textural bastante destacada ao longo do perfil. Observa-se uma intensa atividade erosiva, em locais cuja a declividade esteja bastante acentuada.
- Retrabalhados Arenosos 3 (Sar3) - Estes materiais arenosos constituem depósitos coluvionais, com contribuição predominante da Formação Botucatu. Suas espessuras variam em função da declividade associada e da distância da área fonte. A textura desta unidade mantém uma semelhança muito grande com a formação a qual lhe deu origem. Apresenta uma tendência a processos erosivos acentuados.
- Retrabalhados Mistos (Smi) - Caracterizam-se por apresentarem porcentagem relativamente elevadas de materiais arenosos e misturados em parte por materiais argilosos adjacentes, proveniente dos magmatitos básicos. Frequentemente ocorrem associados às rochas básicas, contudo sua textura arenosa os diferenciam das mesmas. Exibem coloração vermelho-escura.
- Retrabalhados do Basalto (Siba) - Apresenta elevada porcentagem de material argiloso, misturados em parte com materiais arenosos. Frequentemente ocorrem associados às rochas básicas, apresentando também fragmentos de basalto alterados, variando de centimétricos a decimétricos. Exibem coloração vermelho-escura.
- Depósitos de Tálus (Ta) - Constituem-se de materiais grosseiros de dimensões variadas, principalmente fragmentos angulosos de arenito silicificado da Formação Botucatu e de Basaltos da

- Formação Serra Geral. Apresentam declividades elevadas e grande facilidade de instalação de processos erosivos.
- Retrabalhados orgânicos e aluvionares (Or-Al) - Unidade restrita às planícies aluvionares de algumas drenagens. São representados por camadas superficiais ricas em matéria orgânica, coloração cinza a preta. Sob estes sedimentos são observados sedimentos aluvionares e/ou coluvionares.
- Concreções Lateríticas (Cl) - Nódulos esféricos ferruginosos cimentados, milimétricos a centimétricos, variando de maciços a desagregáveis. Sobrepõem-se à Formação Itaqueri.

4.6.1.5 - Mapa de *Landform* (Anexo V)

A obtenção desta mapa partiu da aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, segundo a sistemática proposta por LOLLO (1995). Esta técnica objetiva o levantamento das condições naturais do terreno, compartimentando e caracterizando desta forma o meio físico em unidades homogêneas (ou com heterogeneidades aceitáveis), o que permite um zoneamento do terreno em termos de feições do relevo e do significado destas feições em função dos materiais relacionados (rochosos e inconsolidados).

Antes de se iniciar maiores comentários a respeito deste mapa, convém salientar que a compartimentação do terreno em termos de *lanforms*, são utilizadas três níveis hierárquicos, os quais são função direta do grau de detalhamento ou objetivo da análise efetuada e da escala adotada. Os níveis hierárquicos são:

- Sistema de Terreno (*Land System*) – podem ser caracterizados como associações de feições de relevo que apresentam condições de processos evolutivos semelhantes e associações com materiais rochosos.
- Unidade de Terreno (*Land Unit*) – este nível hierárquico pode ser representado por uma feição individual, a qual se distingue por determinado subconjunto de processos diferentes dos demais. Para a delimitação destas unidades são utilizadas características

morfológicas como a inclinação de vertentes, amplitude do relevo, forma topográfica e características de drenagem.

- Elemento de Terreno (Land Element) – este nível corresponde à menor subdivisão de um terreno, baseando-se na inclinação ou forma das vertentes, posição ou forma topográfica do elemento.

A Figura 4.5 a seguir representa os níveis hierárquicos de subdivisão do terreno.

Figura 4.5 – Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificado de COOKE & DOORNKAMP (1990, *apud* LOLLO, 1995).

A elaboração deste mapa constituiu no levantamento das informações do meio físico, através de trabalhos de fotointerpretação em escala 1:60.000, auxiliada por observações de campo e mapas topográficos em escala 1:50.000. Esta primeira etapa permitiu uma compartimentação preliminar da área, na qual foram reconhecidos e individualizados os sistemas de *landforms* existentes.

Em uma segunda etapa de campo e contínua interpretação das fotografias aéreas foi possível a identificação das unidades de terreno, o

que proporcionou um maior refinamento da compartimentação do mesmo. Para a classificação dos tipos de relevo, foi adotada a classificação proposta por PONÇANO *et. al.* (1981) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Classificação dos tipos de relevo, segundo PONÇANO *et.al.* (1981).

Amplitudes Locais	Declividades Predominantes	Tipos de Relevo
< 100 m	< 5 %	Rampas
	5 a 15 %	Colinas
	> 15 %	Morrotes
100 a 300 m	5 a 15 %	Morros com encostas suavizadas
	> 15 %	Morros
> 300 m	> 15 %	Montanhas

A seguir serão apresentados os sistemas de terreno identificados com suas respectivas unidades.

Sistema A

O Sistema de Terreno A apresenta uma distribuição areal de cerca de 74.4 km² na área estudada. Consiste em uma associação de escarpas abruptas e colinas onduladas pequenas à médias. As escarpas apresentam-se com vales estreitos e uma freqüência de canais elevada. As colinas, caracterizam-se por um relevo ondulado com pequenos vales abertos e uma freqüência de canais média.

A seguir são descritas as unidades correspondente a este sistema.

- Unidade A1 – corresponde às escarpas abruptas altamente dissecadas, caracterizadas também por uma alta freqüência de canais. Esta unidade encontra-se sustentada pelos arenitos silicificados da Formação Botucatu e pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Apresenta materiais inconsolidados residuais rasos. Ocupa 55 km².
- Unidade A2 – corresponde a pequenos vales fechados, caracterizados por encostas côncavas, freqüência de canais média e presença de depósitos aluvionares. Substrato rochoso formado pelas rochas das formações Botucatu e Serra geral e

materiais inconsolidados residuais pouco espessos e transportados arenosos. Ocupa 1.1 km².

- Unidade A3 – corresponde a pequenas colinas onduladas apresentando encostas convexas caracterizadas com uma freqüência baixa de canais. Apresenta substrato rochoso formado por rochas das formações Botucatu, Pirambóia e Serra Geral, além de materiais inconsolidados residuais destas formações e transportados arenosos. Ocupa 18.3 km².

As Figuras 4.6 a e b abaixo representam as unidades A1 e A3 do Sistema de Terreno A.

(a)

(b)

Figura 4.6 – Sistema de Terreno A. a) Unidade de terreno A1; b) Unidade de Terreno A3.

Sistema B

Em função da escala de trabalho adotada, este sistema apresentou-se com pouca heterogeneidade em relação às feições presentes, tornando sua individualização em unidades não necessária.

O Sistema de Terreno B apresenta uma distribuição em área de aproximadamente de 47.5 km² e pode ser caracterizado por colinas suavemente onduladas, amplas a médias, além de vales pequenos, abertos e pouco profundos, apresentando uma frequência de canais baixa e encostas côncavas. Caracteriza-se por apresentar um substrato rochoso composto pela Formação Botucatu, além de materiais inconsolidados residuais desta formação e retrabalhados arenosos.

Na Figura 4.7 abaixo observa-se uma vista geral do Sistema de Terreno B.

Figura 4.7 – Sistema de Terreno B.

Sistema C

Este sistema apresenta uma distribuição areal de aproximadamente 58.6 km², caracterizando-se por apresentar um relevo ondulado representado por colinas pequenas a médias, com topos angulosos, contudo evoluindo para topos mais arredondado nas colinas maiores, apresentando vales profundos, ora fechados ora abertos e uma frequência de canais predominantemente muito alta.

A seguir são descritas as unidades correspondente a este sistema.

- Unidade C1 – corresponde a vales pequenos pouco profundos e abertos, apresentando encostas convexas e uma frequência de

canais muito alta. Podem ser observados evidência de substrato e a presença de ravinamentos. Substrato rochoso composto pela Formação Serra Geral e também por materiais inconsolidados residuais do substrato e retrabalhados mistos pouco espessos. Ocupa 8.6 km².

- Unidade C2 – caracteriza-se por colinas médias, alongadas, onduladas de topos angulosos, encostas convexas e elevada freqüência de canais. Caracteriza-se pelo substrato rochoso composto pelas formações Itaqueri e Serra Geral, e por materiais inconsolidados retrabalhados arenosos espessos. Ocupa 2.0 km².
- Unidade C3 – corresponde a pequenas colinas onduladas e encostas convexas e apresentando uma freqüência de canais alta. Apresenta substrato rochoso caracterizado pela Formação Itaqueri e materiais inconsolidados residuais pouco profundos. Ocupa 47.0 km².
- Unidade C4 – corresponde a colinas médias a amplas, suavemente onduladas a aplainadas, encostas convexas e freqüência baixa de canais. Substrato rochoso composto pela Formação Itaqueri e materiais inconsolidados residuais pouco espessos. Ocupa 1.0 km².

A Figura 4.8 a e b abaixo representam o Sistema de Terreno C e a Unidade C3 do mesmo sistema, respectivamente.

(a)

(b)

Figura 4.8 – a) Sistema de Terreno C; b) Unidade de Terreno C3.

Sistema D

Este sistema apresenta grande expressão geográfica na área de estudo, distribuindo-se aproximadamente por uma área de 316 km². Caracteriza-se por um relevo dissecado constituído por colinas onduladas pequenas a médias, apresentando vales pequenos e fechados e uma freqüência alta de canais.

A seguir são descritas as unidades correspondente a este sistema.

- Unidade D1 – caracteriza-se por pequenas colinas onduladas, apresentando topos aplainados, encostas convexas e freqüência baixa de canais. Substrato rochoso caracterizado pelas formações Botucatu, Pirambóia, Itaqueri e Tatuí e por materiais inconsolidados residuais pouco espessos destas formações. Ocupa 36 km².
- Unidade D2 – apresenta vales fechados e pequenos, apresentando encostas convexas e uma freqüência muito alta de canais. Predomina nesta unidade como substrato as formações

Botucatu, Pirambóia e Corumbataí, podendo ocorrer em áreas restritas as formações Tatuí Itararé e magmatitos básicos localizados. Apresenta materiais inconsolidados residuais poucos espessos além de retrabalhados arenosos. Ocupa 253 km².

- Unidade D3 – caracteriza-se por vales médios e abertos, com encostas côncavas e freqüência baixa de canais. Substrato rochoso caracterizado pelas formações Tatuí e Itararé e materiais inconsolidados retrabalhados arenosos relativamente espessos. Ocupa 27 km².

A Figura 4.9 abaixo representa as unidades D1 e D3 do Sistema de Terreno D.

Figura 4.9 – Sistema de Terreno D.

Sistema E

Assim como o Sistema B este sistema também não apresentou nenhuma individualização.

Destaca-se por ocupar uma área de aproximadamente 23.5 km² e pode ser caracterizado também por apresentar uma associação de colinas médias amplas com topos aplainados, com encostas convexas. Vales pequenos e abertos, apresentando também uma freqüência baixa de canais.

Destaca-se por apresentar um substrato rochoso composto pelas formações Corumbataí, Irati e Tatuí, além de materiais inconsolidados residuais e retrabalhados arenosos bastante espessos.

A Figura 4.10 abaixo representa o Sistema de Terreno E.

Figura 4.10 – Sistema de Terreno E.

A Figura 4.11 representa uma imagem *raster* sombreada em tons de cinza, obtida da interpolação das curvas de nível convertidas em um arquivo contendo os valores das coordenadas UTM (x e y) e valor de cota (z) de cada curva. O destaque em vermelho corresponde à representação dos *landforms* identificados na área.

Figura 4.11 – Unidades de *Landforms* sobrepostas à imagem *raster*, sombreada em tons de cinza (sem escala).

Este tipo de representação fornece um excelente refinamento das informações topográficas, permitindo também uma boa correspondência com os *landforms* obtidos por fotointerpretação. A correlação entre estes dois tipos de representação permite retificar e/ou ratificar se a divisão realizada durante a interpretação dos *landforms* está coerente ou não.

Para obtenção deste tipo de informação foi utilizado o método de Mínima Curvatura (*Minimum Curvature*), contudo podem ser utilizados também muitos outros métodos como Krigagem (*Kriging*), Triangulação com interpolação linear (*Triangulation with Linear Interpolation*), Vizinhança Natural (*Natural Neighbor*), Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbor*) etc, no entanto cada método pode gerar informações que não correspondam com a realidade física do terreno, devendo-se então utilizar todos os métodos de interpolação disponível e à partir de cada resultado, analisar o que mais se aproxima da realidade do terreno, evitando-se, por exemplo, padrões de topos achatado, encostas escalonadas entre outros aspectos.

Para isto são utilizados um número muito grande de informações, o que torna a obtenção deste tipo de representação bastante demorada, em função do tempo de processamento requerido para interpolação de todas as informações.

4.6.2 - Documentos Elaborados Via SIG-IDRISI

4.6.2.1 - Carta de Declividade (Anexo VI)

Esta carta foi realizada à partir da digitalização das curvas de nível das cartas topográficas em escala 1:50.000. A partir do arquivo *vector* (.DXF) contendo as curvas de nível, este foi convertido para um arquivo no formato ASCII (.TXT), no qual constam as informações das coordenadas UTM (X e Y) e valor de cota (Z). De posse deste arquivo de dados (ASCII), procedeu-se à interpolação destes pontos utilizando-se o *Software SURFER*® 7.0, através de vários métodos, sendo que o que mais se aproximou da realidade foi o Método de Mínima Curvatura, com o qual foi criada uma malha de 1035 linhas por 1736 colunas, dando origem a um arquivo com extensão .GDR (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Geometria das linhas do arquivo *Grid* (.GRD) para geração do Modelo Digital de Terreno.

Direção	Mínimo	Máximo	Espaçamento
X	190778	242842	30
Y	7506310	7537340	30
Z	467.58	1066.59	-

Através do módulo de importação do SIG-IDRISI (*File/Import-Export/Software Specific Formats/SRFIDRIS*) o arquivo .GRD é convertido em um arquivo deste sistema (.IMG). De posse deste arquivo é feita uma análise através do módulo *Analysis* (*Analysis/Context Operator/Surface/Slope*), gerando uma carta de declividade generalizada, sendo esta posteriormente reclassificada em porcentagem ou em graus, em função das finalidades do estudo.

A definição das classes de declividade foi realizada com base em aspectos de variação topográficas da área, permitindo assim a obtenção de 6 classes de declividade (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Classes de declividade adotadas para a área de estudo.

Classes de Declividades	Porcentagem (%)	Graus (°)	Área (km ²)
1	< 2	< 0.9	48
2	2 – 5	0.9 - 2.25	85
3	5 – 15	2.25 - 6.75	213.5
4	15 – 30	6.75 - 13.5	122
5	30 – 45	13.5 - 20.25	36
6	> 45	> 20.25	15.5

A partir da interpolação das curvas de nível também foi possível obter o Modelo Digital de Terreno (MDT), bem como uma perspectiva ortogonal da área estudada (Figura 4.12).

Figura 4.12 – Perspectiva Ortogonal para a área de estudo, obtido à partir do modelado digital de terreno (sem escala).

4.6.2.2 - Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial – CEMPAS (Anexo VII)

Esta carta foi obtida à partir de uma imagem de referência, correspondendo à drenagem detalhada da área, à partir de fotointerpretação das fotografias aéreas na escala 1:60.000.

Através do comando *Buffer* do *menu Analysis/Distance Operator Attribute* o valor do *Buffer* ou faixa de influência desejada, a qual será gerada à partir da imagem de referência inicial. A imagem obtida apresenta 3 identificadores, os quais podem ser observados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Identificadores de um arquivo de faixas de influência.

Identificador	Significado
0	Valor da área externa à faixa de influência
1	Valor da imagem de referência
2	Valor da faixa de influência

Neste momento deve-se criar um arquivo de valores, através do comando *Edit* do *Menu Data Entry*, onde irão constar os valores em metros das faixas de influência geradas anteriormente.

De posse deste arquivo de valores é necessário atribuí-lo ao arquivo que contém as faixas de influência, para isto deve-se utilizar o comando *Assign* do *menu Data Entry*.

Este procedimento deve ser executado para a geração de todas as faixas de influência desejadas (100 a 1000 metros). A partir de cada arquivo utiliza-se o comando *Image Calculator* do *Menu Analysis/Data Base Query* para obtenção da Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial final (CEMPAS), através da somatória dos arquivos individuais contendo faixas de 100 em 100 metros até o máximo de 1000 metros.

4.6.2.3 - Carta de Susceptibilidade à Erosão (Anexo VIII)

Para obtenção desta carta foram utilizadas as informações disponíveis nas cartas de Substrato Rochoso, Declividade, Pedologia, CEMPAS (equivalente à densidade de drenagem) e Materiais Inconsolidados. Cada carta foi avaliada individualmente, visando uma consideração mais específica do atributo responsável pela sua potencialidade, frente ao processo erosivo. A avaliação desta carta considera os processos erosivos, quanto à susceptibilidade natural por escoamento concentrado, analisando-se diversos parâmetros ao mesmo tempo.

A ponderação das unidades do Mapa de Substrato Rochoso, levaram em consideração os seguintes atributos: litologia, grau de intemperismo, resistência mecânica, além de outras informações baseadas em documentos já existentes. Para as unidades do Mapa de Materiais Inconsolidados, foram analisados a textura e a espessura destes materiais. No caso das unidades da Carta Pedológica, foram analisadas a textura, atividade da fração fina e perfil pedológico (divisão de horizontes). Na ponderação das unidades da Carta de Declividade, admitiu-se que quanto maior a inclinação do terreno, maior seria a influência deste atributo na instalação de processos erosivos.

No caso da carta correspondente à densidade de drenagem, foi utilizado a CEMPAS ou faixas de distância/influência, na qual é utilizada o espectro de distâncias entre rios (em metros), estruturado na forma de faixas eqüidistantes dos canais fluviais. A este tipo de operação em análise espacial dá-se o nome de *Função de Vizinhança Extensiva* (Ferreira, 1999), o que para este tipo de análise tiveram resultados bastante significativos.

Uma outra fonte de informações que ajudou de forma bastante expressiva na definição da susceptibilidade à erosão, foram os resultados do ensaio de erodibilidade, realizados em amostras de materiais inconsolidados, coletados de uma forma que representassem a totalidade da área.

Após a reclassificação de cada mapa e/ou carta, aos quais foram atribuídos valores que variam de menos a mais potencialmente susceptíveis, foi possível a obtenção das cartas que se caracterizam como: Cartas de Influência do Substrato Rochoso na Predisposição à Erosão; Cartas de Influência dos Materiais Inconsolidados na Predisposição à Erosão; Cartas de Influência de Unidades Pedológicas na Predisposição à Erosão; Cartas de Influência da Declividade na Predisposição à Erosão e Cartas de Influência da Extensão do Menor Percurso da Água Superficial na Predisposição à Erosão.

Para a obtenção da Carta de Susceptibilidade à Erosão todas as cartas caracterizadas como cartas de influência na predisposição à erosão, foram combinadas através do Módulo de Avaliação Multicriterial (MCE) do Sistema IDRISI. A atribuição prévia dos pesos a cada fator é realizada através de uma ordenação paritária hierárquica, comparando-se a importância relativa em cada atributo analisado, esta comparação é feita com base em uma escala contínua de comparação paritária .

A Tabela 4.6 a seguir, apresenta um exemplo de reclassificação das unidades da Carta de Declividade com seus respectivos pesos e o grau de influência adotado no caso de susceptibilidade à erosão.

Tabela 4.6 – Atributo e pesos adotados na reclassificação da Carta de Declividade, para Susceptibilidade à Erosão.

Reclassificação para Susceptibilidade à Erosão			
Classes de Declividade (%)	Pesos Atribuídos	Grau de Influência/importância	
< 2	1	Muito baixo	0
2 – 5	1	Baixo	1
5 – 15	2	Moderado	2
15 – 30	2	Alto	3
30 – 45	3		
> 45	3		

A Tabela 4.7 a seguir apresenta a matriz de ponderação relativa entre os atributos e seus respectivos pesos obtidos para o cruzamento destas informações e a taxa de consistência.

Tabela 4.7 – Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.

	Materiais Inconsolidados	Substrato Rochoso	Pedologia	Declividade	CEMPAS
Materiais Inconsolidados	1				
Substrato Rochoso	1/5	1			
Pedologia	1	5	1		
Declividade	1/3	5	1	1	
CEMPAS	1/3	3	1/3	1/5	1
Fator			Peso		
Materiais Inconsolidados			0.3529		
Substrato Rochoso			0.0472		
Pedologia			0.2589		
Declividade			0.2492		
CEMPAS			0.0919		
Taxa de Consistência: 0.07					

Na análise de cada parâmetro foram considerados aspectos teóricos e o conhecimento prévio da área, na tentativa de minimizar a subjetividade da análise e obtenção da carta final de susceptibilidade à erosão.

A Figura 4.13 abaixo representa a Carta de Susceptibilidade à Erosão, gerada de acordo com os procedimentos descritos anteriormente.

Figura 4.13 – Carta de Susceptibilidade à Erosão da área de estudo.

4.6.2.4 - Carta de Potencial à Infiltração (Anexo IX)

A análise deste documento cartográfico, no que se refere à obtenção dos atributos relacionados ao potencial de infiltração, não tem como finalidade delimitar zonas mais ou menos favoráveis ou desfavoráveis a determinado tipo de efluente ou contaminante (defensivos agrícolas, domésticos ou industriais), mas somente definir características do próprio meio frente às solicitações impostas.

Desta forma, áreas caracterizadas por solos (ou materiais inconsolidados) permeáveis, de pequena espessura e baixas declividades, constituem zonas favoráveis ou com um alto potencial de infiltração e como consequência disto tornam-se vulnerável a contaminação das águas subsuperficiais (aqüíferos livres).

Para a elaboração desta carta foram utilizados os seguintes atributos: materiais inconsolidados, substrato rochoso, declividade e CEMPAS.

As unidades das cartas básicas foram ponderadas e reclassificadas da mesma forma que na Carta de Susceptibilidade à Erosão, contendo apenas algumas ressalvas, como: Para o Mapa de Materiais Inconsolidados, foi utilizado também o valor da permeabilidade (k), obtido em trabalhos anteriores realizados sobre estas unidades (NISHIYAMA, 1989).

No caso da Carta de Declividade, quanto menor a declividade maior o potencial à infiltração. Para a CEMPAS, quanto maior a distância, menor a densidade de drenagem e por consequência disto maior o potencial de infiltração.

A Tabela 4.8 a seguir, apresenta um exemplo de reclassificação das unidades da Carta de Declividade com seus respectivos pesos e grau de influência adotado no caso de potencial à infiltração.

Tabela 4.8 – Atributo e pesos adotados na reclassificação da Cartas de Declividade, para Potencial à Infiltração.

Reclassificação para Potencial à Infiltração			
Classes de Declividade (%)	Pesos Atribuídos	Grau de Influência/Importância	
< 2	3	Baixo	1
2 – 5	3	Moderado	2
5 – 15	2	Alto	3
15 – 30	2		
30 – 45	1		
> 45	1		

A Tabela 4.9 a seguir apresenta a matriz de ponderação relativa entre os atributos e seus respectivos pesos obtidos para o cruzamento destas informações e a taxa de consistência obtida.

Tabela 4.9 – Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.

	Declividade	Materiais Inconsolidados	CEMPAS	Substrato Rochoso
Declividade	1			
Materiais Inconsolidados	1	1		
CEMPAS	1/3	1/3	1	
Substrato Rochoso	1/5	1/5	1	1
Fator		Peso		
Declividade		0.3961		
Materiais Inconsolidados		0.3961		
CEMPAS		0.1170		
Substrato Rochoso		0.0908		
Taxa de Consistência: 0.01				

A Figura 4.14 abaixo representa a Carta de Potencial à Infiltração, gerada segundo os procedimentos descritos anteriormente.

Figura 4.14 – Carta de Potencial à Infiltração da área de estudo.

4.6.2.5 - Carta de Potencial Agrícola (Anexo X)

Para ASSUMPÇÃO *et. al.* (1990) a avaliação da aptidão agrícola tem como objetivo, aumentar ou prolongar a vida útil e/ou a capacidade produtiva de uma área, evitando-se assim graves danos ao solo como a sua exaustão, além de outros malefícios.

Várias são as metodologias que abordam a avaliação da aptidão agrícola, contudo de maneira geral tais metodologias abordam os níveis de manejo, os fatores limitantes ou restritivos, sempre acompanhados do grau de limitação de cada um destes fatores, para a obtenção das unidades ou classes de aptidão do solo. Todas estas avaliações são resultantes da análise e integração de uma grande variedade de informações a respeito do solo como declividade, erodibilidade, profundidade efetiva, fertilidade, entre muitos outros (ASSUMPÇÃO *et. al.*, 1990).

A Carta de Aptidão Agrícola elaborada, foi executada à partir da análise dos atributos propostos por ZUQUETTE *et. al.* (1993) (Tabela 4.10), com a finalidade primordial de se obter uma avaliação do potencial (favorabilidade ou restrição) da área de estudo frente aos aspectos agrícolas.

Tabela 4.10 - Relação dos atributos e seus níveis, para definição das classes para elaboração da carta de potencial agrícola (ZUQUETTE *et al.*, 1993).

CLASSES \ ATRIBUTOS			FAVORÁVEL	MODERADA	SEVERA	RESTRITIVA
Substrato Rochoso	Profundidade (m)		> 1,5	>0,7	> 0,5	> 0,2
Material Inconsolidado	Textura		média, argilosa, argilo-arenosa	areia (<30%)	arenosa (< 90%)	Arenosa e ou argilas expansivas
	Estruturas		moderada ou sem			maciça, estrutura grosseira
	Consistência		friável		dura	muilo dura
	Níveis de umidade		boa retenção			baixa retenção
	C.T.C (meq/100g T.F.S.A)		> 20 meq/100g (superficial) > 10 meq/ 100g (subsuperficial)	10 meq/100g (superficial) 5 meq/100g (subsuperficial)	> 2 meq/100g (superficial e subsuperficial)	< 2 meq/100g (superficial e subsuperficial)
	Δ pH		Negativa			positiva
	PH		5,5 - 7,5			<4 - > 8
	Nutrientes		altos níveis			baixos níveis
	Pedregosidade		sem ocorrência (< 0,1%)	pequena ocorrência (0,1-1,0%)	média (> 2%)	alta ocorrência (> 3%)
	Salinidade	Ece* (ms/cm)	> 2	2 - 8	8 - 15	> 15
	Sódio trocável	Meq/100g	< 0.2	0,2 - 1	> 1	> 2
		Na/CTC (%)	> 2	2 - 10	> 10	> 15
	Capacidade de campo ou ponto de murchamento		alto	médio	baixo	baixo
	Porcentagem de matéria orgânica (%)		> 4 %	2 %	1%	< 0,1%
	Saturação em bases		> 60	20 - 60	< 20	< 10
Água	Drenabilidade		boa	média	má	má
	Profundidade		> 2	1-2	< 1	< 0,5
Relevo	Declividade (%)		< 8	8 -12	> 12	> 20
Riscos	Erosão		baixa	média	alta	alta ou muito alta
	Contaminação das águas subterrâneas		nula a baixa	baixa	média	alta
Condições para irrigação	Meio físico		adequado	médi / adequado	média/ média	inadequado em um dos fatores
	Água		adequado	adequada/ média		

Os dados de ensaios de cada unidade pedológica (IAC, 1984) foram analisados em comparação aos limites propostos por ZUQUETTE *et. al.* (1993), para assim, enquadrar cada unidade em uma respectiva classe de

aptidão. Desta forma, foi possível obter para cada classe de solo ou unidade pedológica uma respectiva classe de aptidão frente aos fatores considerados. Os fatores considerados na reclassificação das unidades pedológicas foram: profundidade, textura, CTC (capacidade de troca catiônica), ΔpH , pH, porcentagem de carbono (%C), drenabilidade, porcentagem de alumínio (%Al) e saturação em bases (S).

De posse das informações pedológicas com aspectos de aptidão agrícola, estas foram reclassificadas, obtendo-se assim classes favoráveis, moderadas, restritivas e severas para cada unidade (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 – Reclassificação dos tipos pedológicos.

FAVORÁVEL	MODERADA	RESTRITIVA	SEVERA
Te1	Li3-Te1-Lre	Li1-Pv1	Li3
Te2	Le1	Lv1	Li3-Li2
Lrd	Le2	Lv1-Lv2	Hi
Lre	Pv4	Lv2	Or
	Lv6-Pi	Lv3	
		Lv3-Lv2	
		Lv4	
		Lv4-Te2	
		Pv1-Li1	
		Pv1-Li1-Pv6	
		Pv2	
		Pv2-Li2	
		Pv6-Pv1	
		Aq	
		Aq-Lv1	
		Aq-Lv2	

A partir da reclassificação das unidades do mapa pedológico, em função das condições de favorabilidade ou restrições, estas foram ponderadas juntamente com outros atributos como Declividade e Susceptibilidade à Erosão, através do Módulo de Avaliação Multicriterial do SIG-IDRISI, obtendo-se desta forma Carta de Potencial Agrícola final.

Cada carta intermediária contendo as informações reclassificadas frente ao potencial agrícola, caracterizam-se como cartas de influência na

predisposição do potencial agrícola, por exemplo: Carta de Influência da Pedologia na predisposição ao Potencial Agrícola, Carta de Influência da Declividade na predisposição ao Potencial Agrícola e Carta de Influência da Susceptibilidade à Erosão na predisposição ao Potencial Agrícola.

A Tabela 4.12 a seguir apresenta a matriz de ponderação relativa entre os atributos e seus respectivos pesos obtidos para o cruzamento destas informações e a taxa de consistência obtida.

Tabela 4.12 – Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento das cartas individuais.

	Mapa pedológico reclassificado	Declividade	Susceptibilidade à Erosão
Mapa Pedológico reclassificado	1		
Susceptibilidade à Erosão	1/5	1	
Declividade	1/3	3	1
FATOR		PESO	
Mapa pedológico reclassificado		0.6370	
Susceptibilidade à Erosão		0.1047	
Declividade		0.2583	
Taxa de consistência : 0.03			

A Figura 4.15 abaixo apresenta a Carta de Potencial Agrícola gerada segundo os procedimentos anteriormente descritos.

Figura 4.15 – Carta de Potencial Agrícola para a área de estudo.

4.7 - Resultados Obtidos

Antes de se iniciar qualquer consideração à respeito das cartas elaboradas neste trabalho, vale salientar que os graus ou classes referentes a cada unidade mapeada, devem ser considerados como relativos para a referida área. Isto se deve ao fato de que a avaliação dos atributos envolvidos, são relativos às observações de campo e considerações particulares sobre cada atributo envolvido na definição de tais unidades.

Por este motivo, deve-se tomar cuidado quando forem feitas comparações entre diferentes áreas, Sistemas de Informações Geográficas, tipos de atributos e graus de ponderação e reclassificação dos mesmos, inclusive quando esta etapa for realizada por um ou vários profissionais.

No que diz respeito a Carta de Susceptibilidade à Erosão, pode-se considerar que:

- As classes, muito baixa e baixa susceptibilidade à erosão correspondem juntas a aproximadamente 67 km² (13%) da área, sendo que a classe de susceptibilidade muito baixa corresponde 46 km² (9%) e está representada por solos predominantemente litólicos, regiões com baixas declividades e pelas áreas de

afloramento dos arenitos silicificados da Formação Botucatu e pelas rochas da Formação Serra Geral e dos Magmatitos Básicos.

- A classe de susceptibilidade baixa corresponde a 21 km² (4%) e está representada predominantemente por áreas com declividades baixas e solos do tipo litólicos com textura argilosa a muito argilosa.
- A classe moderada representa aproximadamente 135 km² (26%) da área e está caracterizada por materiais inconsolidados de textura média e declividades entre 5 e 30% e solos do tipo latossólicos vermelho-amarelos e podzólicos com textura média.
- A classe de alta susceptibilidade representa 318 km² (61%) da área. Esta classe corresponde a materiais inconsolidados arenosos e espessos, coincidindo muitas vezes com solos podzólicos vermelho-amarelos de textura média e terrenos com declividades superiores a 30%.

Para a Carta de Potencial à Infiltração, as classes se distribuem da seguinte forma:

- Potencial baixo: corresponde a 12% (62 km²) da área;
- Potencial moderado: corresponde a 25.5% (133 km²) da área;
- Potencial alto: corresponde a 64.5% (325 km²) da área.

Esta distribuição em área, se deve ao fato de que a declividade predominante na área varia de baixa a moderada e a presença predominante de materiais arenosos em quase a totalidade da área.

A confirmação destas classes de susceptibilidade e potencial, vem das observações de campo e através dos resultados de ensaio de laboratório realizados por NISHIYAMA (1991) e pelos ensaios de erodibilidade (APÊNDICE I).

Uma comparação entre os resultados de cada carta obtida, permite inferir que a classe de susceptibilidade à erosão muito baixa corresponde à classe de potencial à infiltração baixa à moderada, a classe de susceptibilidade à erosão baixa corresponde à classe de potencial

à infiltração moderado e as classes de susceptibilidade à erosão moderada e alta correspondem à classe de potencial à infiltração de moderada a alta para quase toda a área. Estes resultados conferem com as observações de campo, principalmente às áreas de afloramento de rochas, pois apesar destas apresentarem uma susceptibilidade muito baixa, apresentam um potencial à infiltração que varia desde baixo até moderado.

Na delimitação ou definição tanto das áreas de susceptibilidade à erosão quanto ao potencial de infiltração, foram analisados também fatores restritivos como as regiões de afloramento de rochas, como os basaltos da Formação Serra Geral, magmatitos básicos e arenitos silicificados (Formação Botucatu), em função destes serem considerados como não susceptíveis à erosão, mas podendo ser considerados favoráveis à infiltração em função do grau de fraturamento.

No que diz respeito à carta de Potencial Agrícola, pode-se considerar que:

Vale ressaltar que as análises envolvendo os atributos que compõem esta carta, não levam em consideração nenhum tipo de cultura específica, somente tenta definir setores nos quais os atributos do meio sejam favoráveis ou restritivos ao uso.

As classes de potencial agrícola favorável e moderada, correspondem juntas a 47.5% da área, sendo que a classe favorável ocupa 2.5% (13 km²) e a moderada 45% (234 km²). Esta distribuição vem do fato que a ocorrência de solos favoráveis, como latossolos roxos, além de latossólicos e terra roxa estruturada serem bastante limitadas. Um outro fator limitante para esta classe é a susceptibilidade à erosão a qual se destaca como moderada a alta em toda a área, contudo esta classe não apresenta condições restritivas significativas para a região estudada.

A classe moderada está representada pela predominância de solos latossólicos vermelho-escuro e raramente por solos podzólicos vermelho-amarelos e latossólicos vermelho-amarelos e a principal restrição para esta

classe é a saturação em alumínio, conferindo um caráter álico e por vezes a textura característica dos solos podzólicos.

A classe severa caracteriza-se por ocupar cerca de 10.2% (53 km²) da área. Ocorre predominantemente solos podzólicos vermelho-amarelos, litólicos e hidromórficos e são freqüentemente pouco espessos. Esta área também engloba as áreas de inundação das principais drenagens e declividades moderadas a altas.

A classe restritiva ocupa aproximadamente 42.3% (220 km²) e destaca-se também por estar representada por solos podzólicos, latossólicos, areias quartzosas, além de suas associações. Como classes predominantes de declividade destacam-se as classe 5-15% e 15-30%.

4.8 - Elaboração da Carta de Comportamento do Meio Físico como Base para o Zoneamento Geoambiental

A obtenção deste documento, objetivo principal desta pesquisa, tem como finalidade apresentar de forma sintética as principais características físicas dos atributos envolvidos em sua elaboração, refletindo de certa forma um grau de homogeneidade ou heterogeneidade aceitável, frente a alguns aspectos como susceptibilidade à erosão, potencial agrícola, potencial à infiltração entre muitos outros fatores.

O Mapa de *Landforms* foi utilizado como a base para este documento, em função deste sintetizar as principais características fisiográficas da área. As unidades deste mapa foram reavaliadas quanto a seus aspectos gerais frente a cada atributo envolvido na definição das unidades.

Na tentativa de definir estas áreas "homogêneas" tentou-se individualizar, agrupar ou acrescentar unidades que apresentassem algum significado, tanto do ponto de vista do meio físico, quanto em termos ambientais. Algumas unidades mantiveram-se separadas, quando estas apresentavam características relativamente homogêneas em relação aos atributos citados anteriormente, contudo, outras unidades apesar de constituírem unidades de terreno distintas, puderam ser consideradas homogêneas em relação às principais fragilidades ou aptidões do meio.

Além dos critérios fisiográficos utilizados para a definição destas unidades, foram também utilizadas outras informações julgadas de grande importância para esta compartimentação, como as faixas marginais às drenagem principais (50m para as drenagens do porte dos rios Passa Cinco e Rio da Cabeça). A delimitação desta zona baseia-se no Código Florestal (Lei 4771/65 de 15/09/65, alterada pela Lei 7.511/86 de 07/07/86) e faixas de declividade superiores a 30%.

Tabela 4.13 – Distribuição das unidades de terreno, por classe, frente às solicitações avaliadas.

	FAVORÁVEL	⇔	MODERADA	⇔	RESTRITIVA	⇔	SEVERA
POTENCIAL AGRÍCOLA	C4	C1	B1, C3, D3 E1	A3, C2	A2, D1, D2		A1
SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO	A2, A3, C3, D1	C1, C4 D2	B1, C2	D3, E1			A1
POTENCIAL À INFILTRAÇÃO	A2, C3, D2, D3	C4	B1, D1, E1	A3, C2	A1, C1	A1	
% VEGETAÇÃO	D2 (reflorestamento), D3	C4	B2, C2, D1, E1	A1, B1, C3	A2, C1		
⇔ - condição intermediária							

Com esta análise foi possível a obtenção de 8 unidades geoambientais, dentre as quais uma delas se apresenta subdividida em unidades menores, contudo sempre apresentando as características homogêneas que as definem.

Esta carta proposta para a área, apresenta uma legenda em anexo (ANEXO XIII), onde podem ser obtidas as informações das unidades definidas neste documento, além de recomendações e restrições de uso.

Com a obtenção desta carta é necessário salientar a possibilidade desta servir de grande auxílio no diagnóstico das condições de favorabilidade e/ou restrições de uso do meio físico, no entanto cuidados devem ser tomados em função a escala de elaboração deste documento, não devendo substituir sobremaneira investigações locais, detalhadas e/ou específicas sobre qualquer característica a ser avaliada.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Na bibliografia consultada, foi possível observar a crescente necessidade de se conhecer os atributos do meio físico e as relações entre seus componentes e o meio modificador (meio antrópico), afim de solucionar os problemas decorrentes do uso indiscriminado ou não orientado do meio. Para o sucesso neste procedimento de "uso racional", os planejadores, ou qualquer um nesta condição, deverá no mínimo, conhecer a dinâmica do meio e também saber como utilizar as informações disponíveis na forma de mapas/cartas, banco de dados e documentos memoriais, entre outros.

Sabe-se que por menor que seja o desenvolvimento tecnológico e/ou econômico, de uma forma ou de outra, estas atividades irão provocar um certo tipo de impacto ou degradação do meio.

Neste sentido tem-se visto um grande esforço em se delinear procedimentos metodológicos para a elaboração de documentos que abordem o meio físico de forma que estes representem a real condição do meio e que possam ser utilizados nas diversas etapas dos processos de planejamento e tomada de decisões para as ações e ocupação do meio.

Todos os trabalhos que envolvem este tipo de temática, tem se mostrado essenciais como reveladores do panorama da qualidade ambiental, contudo muitos destes, por abordarem tópicos bastante específicos para uma determinada área do conhecimento e/ou utilizando atributos que transmitam informações "limitadas", não são utilizados durante os processos de planejamento, contudo não deixam de apresentar uma

relevante importância como fonte de dados ou subsídios para diversos tipos de estudos do meio físico.

Sendo assim, a contribuição das ciências da terra (geografia, pedologia, engenharia, ecologia, geologia, etc.) é de fundamental importância no desenvolvimento de estudos e no entendimento da dinâmica do meio físico, abrangendo áreas desde a avaliação de impactos ambientais até projetos de ações remediadoras.

Em função da grande gama de informações dos mais variados ramos do conhecimento, é necessário utilizar então, mecanismos que possam trabalhar com uma grande quantidade e variedade de atributos, para que estes possam ser avaliados em conjunto, permitindo-se também a atribuição de pesos nestes tipos de análises.

Com esta finalidade é que são utilizados os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), através do Processo Analítico Hierárquico (PAH), em estudos de avaliação do meio físico ou mesmo na elaboração de cartas e mapas destinados à representação espacial e/ou areal das informações do meio, assim como suas combinações e outros tipos de análises.

Dentro do Processo Analítico Hierárquico (PAH) foi possível incluir muitos parâmetros/atributos decisórios como: substrato rochoso, materiais inconsolidados, processos geodinâmicos (ex.: susceptibilidade à erosão), *landform*, meio biótico (fatores restritivos como florestas nativas, reflorestamento, áreas de preservação natural, etc.), meio antrópico (áreas ocupadas, aspectos legais, etc.). É necessário também assumir a precisão e viabilidade dos dados no formato vetorial e/ou *raster*, de forma que estes estejam representando a realidade do meio dentro dos sistemas de informações geográficas.

Este processo (PAH) considera todas as unidades/células do terreno em estudos de zoneamento, proporcionando de maneira prática e rápida resultados baseados em diversos fatores favoráveis ou restritivos, o que não pode ser garantido pelos métodos manuais, onde tais resultados caracterizam-se a rigor como precários e vagos de acurácia.

Os atributos utilizados na reclassificação e ponderação das unidades das cartas básicas (Substrato Rochoso, Materiais Inconsolidados,

Declividade, CEMPAS, Pedologia), adotados neste trabalho, levaram em consideração a definição de áreas ou unidades que apresentaram comportamentos semelhantes frente aos processos ou solicitações impostas ao meio físico.

Durante a fase de ponderação das unidades de cada documento avaliado no processo de reclassificação, em estudos deste tipo, deve-se tomar um cuidado extremo, para que não ocorra uma sub ou sobrevalorização de nenhum atributo sobre outro, evitando desta forma que o produto final não fique condicionado por um ou outro atributo. Por este motivo é necessário um conhecimento abrangente a respeito do "modelo" do processo natural e um conhecimento prévio da área para uma melhor análise das unidades versus pesos atribuídos.

Vale ressaltar que apesar de existir uma grande quantidade de metodologias ou procedimentos metodológicos, não existe uma "receita de bolo", como referência, ou seja, quais os atributos que devem ser levantados em estudos que envolvam uma abordagem ambiental ou geoambiental do meio físico, pois estes podem variar em função da finalidade do estudo e dos objetivos de quem os realiza.

Esta diversificação de procedimentos ou metodologias existe principalmente no que se refere a quais atributos devem ser levantados e avaliados, devendo-se considerar além disto, os vários tipos de cartas e mapas (básicas, intermediárias e específicas), necessários para se elaborar um zoneamento.

Em função de se estar estudando características do meio físico, o número de variáveis pode ser tão grande quanto complexo, principalmente quando este tema abrange outras áreas do conhecimento. Por este fato, é que hoje em dia, muitos trabalhos e/ou projetos desta categoria têm um caráter multidisciplinar, o que muitas vezes agilizam e/ou facilitam a tarefa de levantamento, caracterização, avaliação e ponderação dos atributos uma atividade menos árdua, contudo não menos difícil.

Outro ponto relevante é que uma equipe multidisciplinar torna o trabalho muito menos subjetivo, podendo caracterizar o meio físico de uma forma muito mais aproximada da realidade, evitando-se assim uma

manipulação equivocada (sub ou sobrevalorizada) dos atributos do meio e impedindo por consequência disto uma caracterização e representação errada ou equivocada da realidade do meio.

Segundo a definição de unidades de zoneamento (geoambiental ou não), as cartas de Susceptibilidade à Erosão e Potencial de Infiltração, juntamente com a avaliação de outros atributos contidos em documentos cartográficos como a Carta de Potencial Agrícola, Declividade, Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial (CEMPAS), limitações de uso e outros fatores legais que limitam o uso do meio, são fundamentais, senão essenciais, para a elaboração ou identificação de zonas ou setores com características ambientais ou geoambientais representativo das condições reais do meio físico.

A proposta de utilização da CEMPAS em substituição à Carta de Densidade de Drenagem, apresentou excelentes correlações para este tipo de estudo, envolvendo uma análise contínua das distâncias lineares entre as drenagens, permitindo a obtenção das cartas de Susceptibilidade à Erosão e Potencial à Infiltração com uma melhor precisão.

Para a definição das unidades observou-se que a compartimentação do terreno, realizada através da obtenção do Mapa de *Landform*, mostrou-se bastante eficiente, principalmente quanto às características geomorfológicas evidenciadas pelo substrato rochoso, materiais inconsolidados e toda dinâmica superficial. Tais características permitiram a realização de análises envolvendo estes atributos, resultando na verificação de situações de favorabilidade/potencialidades e restrições do meio.

O compartimentação do meio físico realizada para a área permitiu a definição de 8 unidades, as quais apresentam-se com características físicas peculiares, quanto às suas potencialidades frente às solicitações de uso.

A área apresenta uma predisposição à instalação de processos erosivos, contudo não são observados problemas de destaque a este respeito, apesar de ocorrerem pequenas feições erosivas localizadas.

Grande parte da área também se destaca por um potencial moderado a restritivo quanto ao potencial agrícola, apesar de estar

ocupada em grande parte por cultivo de cana-de-açúcar (obtido de dados de campo), as áreas de potencial severo destacam-se pelas áreas de afloramento de rocha e áreas com declividades elevadas (superiores a 45%).

No que se refere ao potencial de infiltração a área de trabalho caracteriza-se predominantemente por um potencial alto, sendo função direta dos materiais inconsolidados, substrato rochoso e declividades predominantes.

A diversificação de algumas potencialidades ou restrições das unidades identificadas, variando aos extremos, pode ser explicada pelas ponderações dos atributos envolvidos na elaboração de cada carta analisada.

Como já comentado no CAPÍTULO 4, as informações referentes a uso e ocupação do solo, obtidas das imagens de satélite, facilitam ou permitam obter uma melhor definição de áreas ou setores do meio, que apresentem um certo grau de homogeneidade (ou heterogeneidade aceitável), definindo ou identificando áreas aptas à determinada atividade e/ou atividades que estejam provocando danos ao meio.

As análises realizadas com as imagens de satélite, podem ser consideradas como necessárias senão essenciais para estudos desta natureza, pelo fato destas servirem como fonte permanente de informações a respeito do meio. Além disto análises temporais realizadas com imagens de diferentes datas de registro, permitem verificar o nível de ocupação e a velocidade com que esta está se desenvolvendo.

O documento final, assim como todos os documentos obtidos para a realização deste compartimentação, poderão servir como subsídio para estudos de alternativas de planejamento ou uso sustentado do meio, na tentativa de propor ações de ocupação do meio comum. É neste sentido que o zoneamento de uma área, caracterize-se na identificação dos atributos do meio frente as atividades modificadoras, ou seja, aproximando-se muito de estudos de impacto ambiental (EIA's).

Os estudos que abordam esta temática, devem considerar também que a questão ambiental ou geoambiental não pode ser admitida como

dependente somente dos atributos do meio físico, mas deve ser também encarada como uma questão multifacetada, onde estão envolvidos outros aspectos como questões sociais, culturais e econômicas. Neste sentido a garantia de um equilíbrio mínimo do meio, deve ser entendida como uma adequação do local ou área a qual esteja destinada a determinada atividade e/ou empreendimento.

Por fim, pode-se concluir que os aspectos metodológicos abordados nesta pesquisa, juntamente com as potencialidades dos sistemas de informações geográficas, foram alcançados os objetivos definidos para este trabalho, no que se refere à caracterização do meio físico, considerando todos os atributos analisados além de suas favorabilidades e restrições de uso. Além disto, todas as técnicas de levantamento, manipulação e representação das informações mostraram-se igualmente satisfatórias para este tipo de estudo.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; NETO, J.M. 1986. Caracterização da Região de Cerrados. In: Solos dos Cerrados – tecnologias e estratégias de manejo. 1ª Edição. Wenceslaw J. Goerd. São Paulo-SP. Nobel, Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados. 1986. Cap. 2. p. 33-74.

ALMEIDA, F. F. M. de 1964. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*. São Paulo, V.41, p.169-263.

ALONSO HERRERO, E. & CENDRERO, A. 1988. Valoracion Territorial de Unidades Valle para Diferentes Actividades, a partir de parámetros abióticos y bióticos, en la Montaña de Riaño (Leon). *Actas del Congreso de Biología Ambiental. II Congreso Mundial Vasco*. (I): 235-253.

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;

ALVES, D. S. 1990. Sistemas de Informação Geográfica. Geoprocessamento. Escola Politécnica da USP. p.66-78.

- ASSAD, E. D. & SANO, E. E. 1993. Sistemas de Informação Geográfica. Aplicações na Agricultura. Brasília. EMBRAPA.
- ASSUMPÇÃO, G. V. DE; FORMAGGIO, A. R. & ALVES, D. S. 1990. Mapa de Aptidão Agrícola das terras e uso adequado das terras: Uma abordagem usando SGI e imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6. Manaus. Anais. Manaus, v.2, p. 162-166.
- AUGUSTO, A. A. Z.; VIADANA, M. I. C. DE F.. 1998. A atualização cartográfica da rede de drenagem e a análise morfométrica do relevo. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>
- BÄHR, H. P. & VÖGTLE, T. 1991. Digitale Bilverarbutung: Anwendung in Photogrametrie, Kartographier. Und Fernerkundung, Karlsruhe, Wichmam, 98p.
- BEATES, F. 1995. Uma Abordagem para o Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. <http://www.eps.ufsc.br/teses/beate>.
- BECKER, B. K. & Egler, c. a. g. 1997. Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal. Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília - DF. 43 p.
- BERTRAND, G. 1971. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra, 13. Inst. de Geografia-USP. São Paulo.

- BROWN, L. Jr.; FISHER, W. L.; EXLEBEN, A. W. & MCGOWEN, J. H. 1971. Resources Capability Units: Their utility in land-and-water use management with examples from the Texas Coastal Zone. Geological circular, 71-1. The University of Texas at Austin Bureau of Economic Geology, USA, 22p.
- BURROUGH, P. A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Claredon Press. Oxford. 193p.
- BURROUGH, P. A. 1989. Fuzzy mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. Journal of Soil Science. 40. P. 477-492.
- BURROUGH, P. A.; McMILLAN, O. A. & VanDEURSEN, W. 1992. Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observation and Topography. Journal of Soil Science. 43. P. 193-210.
- 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>.
- CAMPBELL, H. 1991. Organizational Issues in Managing Geographical Information. In: Handling Geographic Data: Methodology and Potential Application. Eds. Masser, I. and Blackmore, H. (New York: John Wiley & Sons, Inc.). p. 259-282.
- CARRARA, A. 1998. Gis-Based Techniques for Mapping Landslide Hazards. <http://www.deis158.deis.unibo.it/>.

- CARVER, S. J. 1991. Integrate Multicriteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*. 5 (3), 321-339.
- 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. 1982. Técnicas y instrumentos de análisis para de la evaluación, planificación y gestión del medio ambiente. Fascículos Sobre Medio Ambiente, Serie Opiniones, n° 6, CIFCA, Madrid, 67p.
- CENDRERO, A. DIAZ de TÉRAN, J.R. 1987. The environment map system of the University of Cantabria, Spain. *Minerals Resources, Extraction, Environment Protection and Land Use Planning in the Industrial and Developing Countries*. P. Arndt & G. W. Lüttig (eds), Stuttgart, pp. 149-181.
- CENDRERO, A. 1988. Planificación Ambiental y Ordenación de Usos del Territorio. Serie Ingeniería Geoambiental, Int. Tecn. Geomínero de España, Madrid, pp. 25-33.
- CENDRERO, A. 1990. Desarrollo y Tendencias de la Geología Ambiental en Europa, AGID Report nº 3.
- CENDRERO, A. 1990. Geoscientific Maps for Planning in Semi- Arid Regions: Valencia and Gran Canaria, Spain . *Engineering Geology*, 29, pp. 291-319.
- CERRI, C. E. P.; BALLESTER, M. V. R.; MARTINELLI, L. A.; VETTORAZZI, C. A. 1998. Mapas de risco à erosão do solo na Bacia do Rio Piracicaba, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>

CLÁUDIO, C. F. B. R. 1987. Implicações da avaliação de impacto ambiental. Ambiente. Revista CETESB Technol. Vol. 1, nº 3. p.159-162.

COSTA-CABRAL, M. C. & BURGESS, S. J. 1994. Digital Elevation Model Networks (DEMON): A Model of Flow over Hillslope for computational of contributing and Dispersal Areas. Water Resourcer Research. Vol. 30, nº 6, pp. 1681-1692.

CROSTA, A. P. 1992. Processamento Digitam de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas. UNICAMP/IG. 170p.

CRUZ, C. B. M.; TEIXEIRA, A. J. DE A.; BARROS, R. S. DE; ARGENTO M. S. F.; MAYR, L. M.; MENEZES, P. M. L. DE. 1998. Carga Antrópica da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1974. Estudo das Águas Subterrâneas da Região Administrativa 6 – Ribeirão Preto. DAEE. FFLCH/USP, São Paulo-SP. 4v.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1981. Estudo das Águas Subterrâneas da Região Administrativa 5 – Campinas. São Paulo-SP. Secretaria do Estado de Obras e do Meio Ambiente de São Paulo. 2V.

DALE, P. F. & McLAUGHEN, J. D. 1990. Land Information management, an introduction with special reference to cadastral problems in third world countries. Oxford. Oxford University Press. 259p.

DAVIDSON, D. A.; THEOCHAROPOULOS, S. P. & BEOKSMA, R. J. 1994. A Land Evaluation Project in Greece Using GIS Based on Boolean and Fuzzy Set Methodologies. International Journal of Geographical Information Systems. Vol. 8, nº4, p. 369-384.

- DERMENTZOPOULOS, Th. & KATSARIDIS, P. 1997. Engineering Geological data management for urban planning using GIS: A case study from Piraeus, Greece. *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam. p.1225-1228.
- DUARTE, U. 1980. *Geologia Ambiental da Área de São Pedro-SP: Vetor Águas Subterrâneas*. Instituto de Geociências/USP, São Carlos-SP, 73p. Tese de Doutorado.
- EASON, K. 1988. *Information Technology and Organizational Change* (New York: Taylor and Francis).
- EASTMAN, J. R. KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. & JIN, W. 1993. GIS and Making Decision. Worcester, M. A.: Clark Labs for Cartographic Technology and geographic Analysis). 96p.
- ESPINOSA, H. R. M. 1993. Desenvolvimento e Meio Ambiente sob nova ótica. *Ambiente. Revista CETESB Tecnol.* Vol. 7, nº 1. p.40-44
- FABBRI, A. G. & CENDRERO, A. 1995. Changes and Environment. *ITC Journal*. N.4.
- FELGUEIRAS, C. A. 1998. Modelagem Digital de Terreno. In: *Geoprocessamento para Projetos Ambiental*. In: Câmara, G. & Medeiros, J. S. 1998. São José dos Campos/SP. Cap.4. <http://www.inpe.br/dpi/cursos/gisbrasil/index.html>.
- FERREIRA, M. C. 1996. Modelagem Cartográfica Aplicadas a Mapeamento de Susceptibilidades a Danos Ambientais: Um Ensaio no SIG IDRISI. *Revista Geociências*. v. 15, n. 2. P 485-502. São Paulo.

- FERREIRA, M. C. & MORETI, E. 1998. Um Indicador de Degradação de Bacias Hidrográficas obtido a partir de Modelos Digitais do Terreno e Dados Orbitais em Ambiente de Geoprocessamento. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>
- FERREIRA, M. C. 1999. Análise Espacial da Densidade de Drenagem em Sistemas de Informações Geográficas através de um Modelo de Distâncias Interfluviais. Revista Geociências. São Paulo. v. 18, n. 1. p 7-22.
- FLAWN, P.T. (1970). Environmental Geology - Conservation, Land use, Planning and Resource Management. Harper's Geoscience Series, New York.
- FRANCÉS, E.; DIAZ de TERÁN, J. R. & CENDRERO, A. 1990. La Aplicación de la Cartografía Geoambiental al Diagnóstico de Unidades Territoriales: Establecimiento de Diretrizes de Ordenación. In: ROMARIZ, C. Livro de Homenagem a Carlos Romariz. P.377-402.
- GRECCHI, R. C. 1998. Zoneamento Geoambiental da Região de Piracicaba, com auxílio de Geoprocessamento. Escola de Engenharia de São Carlos/EESC/USP. Tese de Mestrado. 132 p.
- GRECCHI, R. C. 1997. Estudos Geoambientais. Seminários Gerais. EESC/USP. 70 p.
- GTZ. 1994. Geographische Informationssysteme, Eschon GTZ, 99p.
- HALL, G. B.; WANG, F. & SUBARYONO, 1992. Comparison of Boolean and Fuzzy Classification Methods in Land Suitability Analysis by using Geographical Information Systems. Environmental and Planning. A. 24, 497-516.

HANISCH, J.; LANGER, M.; KERNTKE, M.; JÄGER, S.; SHRESTHA, O. M. & KOIRALA, A. 1997. The Geo-environmental Map for the development of the Kathmandu Valley. Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. p 1253-1256.

HRASNA, M. & KLUKANOVÁ, A. 1997. Engineering Geological Mapping for urban and regional development. Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. p.1257-1263.

HONEA, R. B.; HAKE, K. A. & DURFEE, R. C. 1991. Incorporating GIS's into Decision Support Systems: Where have we come from and where do we need to go? In: GIS Application in Natural Resources. Ed. Heit, M. and Shortreid, A. (Forte Collins, Colorado; GIS World, Inc.)

IAC – Instituto Agronômico de Campinas, 1989. Carta Pedológica Semi-detalhada do Estado de São Paulo. Folha Piracicaba. 1:100.000.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas, 1984. Carta Pedológica Semi-detalhada do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. 1:100.000.

INTERA TYDAC, 1992. Introduction to data structure using SPANS OS/2 SPANS Version 5. OTTAWA, INTERA TYDAC. 140p.

IPPOLITI, G.; MORTARA, M. O.; REZENDE, A. C.; SIMÕES, M. S.; FILHO, M. V. 1998. Sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas no estudo da adequação do uso das terras nos municípios de Hortolândia e Sumaré (SP). IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (1981a). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. IPT (Série Monografia, 6). 2v. Escala 1:500.000.

- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (1981b). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. IPT (Série Monografia, 5). 2v. Escala 1:500.000.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (1992): Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas no Estado de São Paulo. Boletim 63 (2 – edição).
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (1997): Planejamento de Áreas irrigadas e transferência de tecnologia do Sistema de Controle da Irrigação por Pivô Central, através do uso de tensiômetros de faixas, para a agricultura do Município de Casa Branca . Relatório nº 35432.
- ITC - INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCE 1996. Tools for Assessing Rapidenvironmental Changes - The 1995 Geoindicador Checklist. Netherlands, Pub. n. 46.
- IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza. 1984. Estratégia Mundial para Conservação: A Conservação dos Recursos Vivos para um Desenvolvimento Sustentado.
- IVANOVIC, St. 1997. The role of Engineering-Geological maps in the protection of the human enviroment. Engineering Geology and the Envoronment. Balkema, Rotterdam. p.1277-1280.
- JANOVÁ, V. & LISCÁK, P. 1994. The Environmental Maps of the Bardejov urbam region. 7th International IAEG Congress. Balkema – Rotterdam. p2103-2110.
- JIMENEZ, A. 1995. GEOGRAPHICAL Information Systems (Part 2). <http://www.scas.cit.cornell.edu/landval/le> (jan. 1997)

KONOMI, N.; DAKOLI, H.; HOXHHA, P. & XHEMALAJ, Xh. 1997. The Geological Environment and Regional Planning of coastal area Palase-Butrint. Engineering Geology and the Envoronment. Balkema, Rotterdam. p.13111-1316.

KRAAK, M-J.; MÜLLER, J-C. & ORMELING, F. 1995. GIS-Cartography: Visual Decision Support if spatio-temporal data handling. Int, Journal of Geographical Information Systemes. Vol9. nº 6. p.637-645.

LANNA, A. E. 1994. Instrumentos de gestão ambiental: métodos de gerenciamento de bacia hidrográfica. Brasília: IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

LOLLO, J. A. de 1995. O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do mapeamento geotécnico: Sistematização e Aplicação para a Quadricula de Campinas (SP). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Tese de Doutorado. 2v. 246p.

LÜTTIG, G. 1978. Geoscientific maps of the environment as na eesntial tool in planning. Geologic in mijnbouw. Amsterdam. p. 527-532.

KLEB, B. 1997. The role of Engineering Geology in the urban development and regional planning. Engineering Geology and the Envoronment. Balkema, Rotterdam. p.1299-1301.

MAHARAJ, R. J. 1994. Engineering-Geological mapping for land use planning in the Northern Range, Trinidad. 7th International IAEG Congress. Balkema – Rotterdam. p 2305-2313.

MARTINS, A. K. E.; NETO, A.S.; MENESES, J. C.; BRITES, R. S. & SOARES, V. P. 1998. Metodologia para indicação de Corredores Ecológicos

MARTINS, A. K. E.; NETO, A. S.; MENEZES, I. C. DE; BRITES, R. S. & SOARES, V. P. 1998. Metodologia para Indicação de Corredores Ecológicos por Meio de um Sistema de Informações Geográficas. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>

MATHER, A. S. 1989. Land Use. John Wiley & Sons. New York. USA.

MEIRELLES, C. F. S.; KONO, E. C.; PACHECO, M. R. P. S. & MODESTO, R. P. 1987. Proposta Metodológica para Avaliação Ambiental. Ambiente. Revista CETESB. V.01. nº3. pp. 163-168.

MENESES, P. R.; ASSAD, E. D.; SANO, E. E. 1995. Introdução ao Processamento Digital de Imagens Digitais de Satélite e Sensoriamento Remoto. Brasília, Universidade de Brasília. (Coleção de Textos Universitários).

MITAS, L.; MITASOVA, H.; BROWN, W. M.; ASTLEY, M. 1996. Interacting fields approach for envolving spatial phenomena: application to erosion simulation for optimized Land use. In: Proceeding of the III International Conference of Environmental Modeling and GIS. Santa Fe, NM. National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA. <http://www.cecer.army.mil/grass/viz/sf.final/mitas.html>.

MULDER, E. F. J. de. 1994. Geoscience for environmental planning and management: Na International Perspective. Trinidad. 7th International IAEG Congress. Balkema – Rotterdam. p 2337-2341.

NISHIYAMA, L. 1991. Mapeamento Geotécnico Preliminar da Quadrícula de são Carlos-SP. Dissertação de Mestrado, 2V., 228p., DGS/EESC (USP), São Carlos-SP.

- NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. 1979. Soil Characterization of Mapping Units for Highway Purposes in a Tropical Areas. Bulletin of the International Association of Engeneering Geology. 19. Pp. 196-199.
- OLIVEIRA, J. B. & PRADO, H. do. 1984. Levantamento Pedológico Semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II. Memorial Descritivo. Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas-SP. Boletim Técnico nº 98. Pp. 188.
- OLIVEIRA, L. M. T. DE; SILVA, E.; BRITES, R. S.; SOUZA, A. L. DE. 1998. Utilização de um SIG para diagnóstico ambiental de fragmentos florestais, em nível de paisagem. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>
- OPENSHAW, S. 1991. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: Geographical Information Systems: principles and Aplications (London: Longman). 389-402.
- PARAGUASSU, A.B. 1972. Experimental Silicification of Sandstone. Geological Society of American Bulletin. V.83. p 2853-2858.
- PAREDES, E. A. 1994. Sistemas de Informações Geográficas: Princípios e Aplicações de Geoprocessamento. São Paulo: Érica.
- PEJON, O. J. 1987. Estudos Geológicos- Geotecnico da Região Urbana de Araraquara-SP. Dissertação de Mestrado, DGS/ EESC (USP), São Carlos-SP.
- PEJON, O. J. 1992. Mapeamento Geotecnico Regional da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. Tese de doutoramento, 2V, 224p., DGS/ EESC (USP), São Carlos-SP.

- PONÇANO, W. L. *et. al.* 1981. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Instituto de Pesquisas do Estado de São Paulo. 2v. Texto explicativo e mapa.
- PROCHNOW, M.C.R. 1990. Análise Ambiental da Sub-Bacia do Rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo. Rio Claro. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- QUINTANILHA, J. A. 1990. Processamento de imagens digitais. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., São Paulo, 1990. *Anais*. São Paulo. USP. p.37-52.
- RECATALÁ, L.; & SANCHES, J. 1996. Metodologia de Evaluacion de la Calidad Ambiental Del Paisaje para Planificacion de los Usos del Territorio y Evaluacion de Impacto Ambiental en ambito Mediterraneo. In: CONGRESSO NACIONAL Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACION DEL TERRITORIO, 6, Granada, 1996. *Anais*. Granada. v. 1, p.137-151.
- REIS, C. H., MATTOS, J. T. DE & PIRES, I. DE O. 1998. Relação entre o Terraceamento Geomorfológico e a Fisiografia Característica de Manguezais na Região do Recôncavo da Baía de Guanabara, utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>.
- RHIND, C. N. 1988. A GIS Research Agenda. *International Journal of Geographic information Systems*. Nº 2 p 23-8.
- RIVAS, V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. 1992. Uso de Mapas Geoambientales para Eldiseno de Planes de Recuperacion de Areas Degradadas. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE RIESGO

GEOLOGICO- URBANO, 2./ CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 2., Pereira. *Memorias*. Colombia. Sociedad Colombiana de Geologia, V.1, p.343-355.

RIVAS, V.; GONZALEZ, A.; FISCHER, D.W. & CENDRERO, A. 1994. An Approach to Environmental Assessment within the Land-use Planning Process: Northern Spanish Experiences. *Journal of Environmental Planning and Management*. v.37, n. 3, p.305-322.

ROSENTHAL, R. E. 1989. Concepts Theory and Technique: Principal of Multi-Objetive Optimization. *Decision Sciences*. 16 (2), 133-152.

SANTOS, M. F dos. 1993. Subsídios para o Planejamento Conservacionista da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (São Carlos, Itirapina e Analândia, SP). Dissertação de Mestrado, V. I e II, 222p. DGS / EESC (USP), São Carlos- SP.

SALATI, E. 1996. Diagnóstico Ambiental Sintético e Qualidade da Água como Subsídio para o Planejamento Regional Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). São Carlos, 199p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SEIFFERT, N. F. 1996. Uma contribuição ao Porcesso de Otimização do Uso dos Recursos Ambientais em Microbacias Hidrográficas. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 162p.

SHIMABUKURO, M. T. 1996. Avaliação de Classificadores Espectrais de Imagens LANDSAT-TM em áreas rurais densamente ocupadas – o caso da região de Brotas e Torrinha, São Paulo, Brasil. Campinas. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.

- SOARES, P.C. 1974. Elementos Estruturais da Parte Nordeste da bacia do paraná: Classificação e Gnese. In: Anais do XXVIII Congresso brasileiro de Geologia. Porto Alegre-RS. V.1. p. 107-121.
- SOARES, A. F. 1994. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado na Caracterização dos solos e da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Candiru-Açu (PA). Piracicaba. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SOBREIRA, F. G. 1995. Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra - Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 347p.
- SOUZA, N. M. 1994. Contribuição  Cartografia Geotécnica com uso de Geoprocessamento: Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. V.1 136p.
- SOUSA, C. J. S. 1998. Discriminação das classes de uso/cobertura vegetal em uma área do Médio Vale do Paraíba - SP, a partir das imagens fração solo e vegetação. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>.
- SUI, D. Z. 1992. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evolution. Computer Environment and Urban Systems. Vol. 16, n2, pp. 101-115.
- SURFER 7.0. 1999. User's Guide. Countouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. Golden Software, Inc.
- TABACZENSKI, R. R. 1995. A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas para o Macrozoneamento Ambiental. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 140p.

- TRICART, J. 1977. Ecodinâmica. IBGE-SUPREN (Recursos Naturais e Meio Ambiente). Rio de Janeiro.
- TSIAMBAOS, G.; KOUKIS G. & SABATAKAKIS, N. 1997. Engineering Geological Environment and Urban Planning of the City of Patras-Greece. Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. p. 1527-1534.
- 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: CONGRESSO NACIONAL Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACION DEL TERRITORIO, 6, Granada, 1996..Anais. Granada. v. 1, p.115-135.
- VOOGD, M. 1983. Multicriteria Evaluation form Urban and Regional Planning. (London: Pion, Ltd).
- WANG, S.; DU, Y.; GUO, X. & JIONG, C. 1997. Geoenviromenal Systems, its potential instability and urbam planning in the metropolitan Beijing, China. Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. p.1545-1549.
- WATRIN, O. DOS S.; VENTURIERI, A.; ROCHA , A. M. A. DA; B. N. R. DA SILVA; L. G. T. SILVA. 1998. Zoneamento em Área Submetida a Diferentes Impactos Antrópicos na Amazônia Oriental. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. <http://www.sbsr.inpe.br/trabtema.htm#agricultura>.
- ZUQUETTE, L. V. 1993. Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio-Físico: Fundamentos e Guia para Elaboração. São Carlos. 2v. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ZUQUETTE, L.V. et al. 1993. Carta do Potencial de Risco a Contaminação das Águas Subterrâneas e do Potencial Agrícola, Região de Ribeirão Preto, SP, Brasil. Revista Geociências. São Paulo, v.12, n.2, p.531-540.

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.

APÊNDICE I

Determinação da Erodibilidade dos Materiais Inconsolidados

Os ensaios para a determinação da Erodibilidade dos materiais inconsolidados foram propostos por NOGAMI & VILLIBOR (1979) e consistem basicamente na determinação de dois índices, os quais são:

1. Índice de Absorção de Água

Consiste na obtenção de amostras indeformadas, através de amostradores de PVC rígido com dimensões de 40 x 20 mm (Figura A1).

As amostras devem ser mantidas no cilindro, após a coleta, por um período de secagem de no mínimo de 7 dias, sempre ao abrigo do sol.

Após a secagem das amostras, estas devem ser moldadas para que fiquem com as mesmas dimensões do cilindro amostrador, permitindo o cálculo do volume de material a ser ensaiado.

Figura A1 – Retirada de amostra (indeformada) no campo.

O equipamento utilizado pode ser observado na Figura A2. Para o início do ensaio, a pedra porosa do equipamento deve ser saturada e o tubo no qual serão feitas as medidas, deverá estar cheio d'água. Depois da saturação da pedra porosa, a amostra deve ser colocada sobre esta, dando-se o início do ensaio propriamente dito, medindo-se o tempo e o volume de água absorvido pela amostra, até que ocorra sua saturação completa, identificada pelo surgimento de água na porção superior da amostra.

Figura A2 – Equipamento utilizado no ensaio de erodibilidade.

Neste momento convém retirar a amostra do equipamento com todo cuidado e colocar uma pedra porosa em sua porção inferior.

A obtenção do índice de absorção (S) é feita através de um gráfico, cujo o eixo das abcissas corresponde à raiz quadrada do tempo medido durante o ensaio e o eixo das ordenadas ao volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) (Equação A1). O Gráfico resultante, normalmente corresponde uma linha reta, sobre a qual os pontos das medidas estão distribuídos, sendo o índice de absorção (S) o coeficiente angular desta reta.

$$S = \frac{q}{\sqrt{t}} \quad \text{Equação A1}$$

2. Ensaio de Perda de peso por Imersão

Após a realização do ensaio de absorção de água, coloca-se uma pedra porosa adequadamente presa à base do cilindro que contém a amostra e imerge-se o conjunto em um recipiente com água, até que o

topo da amostra na horizontal e, aproximadamente, a 2,0 mm do nível da água. Mantém-se o conjunto nesta posição até que não existam mais modificações de umidade perceptíveis, na superfície livre do topo da amostra. Suspende-se o conjunto e gira-se até que a superfície livre da amostra fique na vertical, imergindo-se em seguida o conjunto no recipiente com água.

A parte inferior da superfície livre da amostra deve ficar a cerca de 30 mm do fundo do recipiente com água e dentro de um recipiente menor, que permita a coleta do material desprendido desta superfície livre. Após 24 horas determina-se a perda de peso em porcentagem de peso seco da amostra.

Determinação do Índice de Erodibilidade (E)

O índice de erodibilidade proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) é calculado com a seguinte expressão: $E = 52 S/P$, onde S e P são os valores determinados. Se o valor de E é menor do que 1, considera-se que o material inconsolidado tem alta erodibilidade.

O gráfico abaixo representa a absorção de água em função do tempo de algumas amostras ensaiadas para a obtenção do índice S.

No gráfico S x P abaixo estão apresentadas as amostras ensaiadas para a obtenção do índice de erodibilidade.

- Amostras não erodíveis em campo
- Amostras erodíveis em campo