

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTE MATERIAL NÃO CIRCULA
USO EXCLUSIVO PARA CONSULTA**

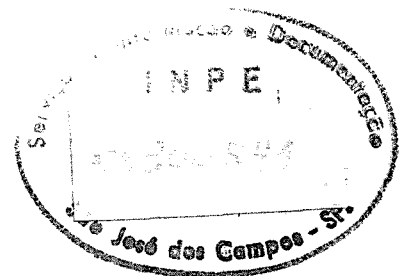
**NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O
QUE DISPÕE O MANUAL DE NORMAS
PARA PUBLICAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA
(INPE-5116-MAN/88) POR OPÇÃO DO
AUTOR**

**Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos
de planejamento do meio-físico - aplicação em expansão urbana**

Ricardo Vedovello

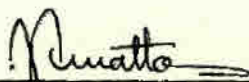
Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto orientada
pelo Dr. Juércio Tavares de Mattos

São José dos Campos
Janeiro de 1993
INPE



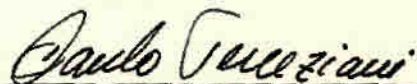
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Juércio Tavares de Mattos



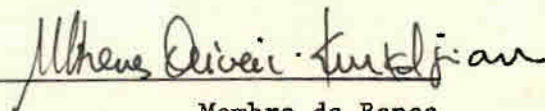
Orientador/Presidente

Dr. Paulo Veneziani



Membro da Banca

Dra. Maria de Lourdes Neves O. Kurkdjian



Membro da Banca

Dr. Eugênio Vertamatti



Membro da Banca
- Convidado -

Dr. Jairo Roberto Jimenez Rueda



Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: Ricardo Vedovello

São José dos Campos, 02 de março de 1993

Dedico este trabalho

À Ligia e a meus pais e irmã

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos à todos aqueles que durante o período da realização desta dissertação colaboraram direta ou indiretamente, com atitudes práticas ou incentivo, para que esta pesquisa fosse realizada.

Um agradecimento especial ao prof. Juércio Tavares de Mattos pela orientação e pelas discussões teóricas nas quais surgiram os estímulos para superar os momentos críticos e o questionamento para frear os instantes de euforia. Agradeço ainda pela amizade desenvolvida e pela oportunidade encontrada.

Ao amigo Tomoyuki Ohara, pelo apoio geral e participação constante nos trabalhos de campo.

À amiga Ieda Maria Vieira pela participação, pelo estímulo mútuo e pela amizade nas diversas fases deste trabalho.

Ao prof. Jairo Roberto Jiménez Rueda pelas discussões técnicas que muito contribuíram para a execução da pesquisa, bem como pela participação nos trabalhos de campo.

À Lígia de Oliveira Pinto e à Alessandra Vedovello pela ajuda nos trabalhos de gabinete e pelo incentivo.

Ao amigo Sidnei João Siqueira Sant'Anna, pelo grande auxílio nas diversas etapas deste trabalho e aos amigos Marco Aurélio R. Rócio e Diana Sarita Hamburger pelo apoio geral.

Ao desenhista Joaquim Godoi Filho, às secretárias Márcia Rocha da Silva, Vera Lúcia de Andrade e Maria Cristina dos Santos Varlez e à bolsista Ana Lúcia dos Santos Arantes pelo apoio de base.

Aos amigos Eymar Silva Sampaio Lopes e Flávia Maria de Fátima Nascimento pela ajuda na pintura dos mapas.

Aos meus pais pelo apoio.

Agradeço ainda a todos os órgãos que colaboraram de alguma maneira com a realização desta pesquisa.

À Biblioteca do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através das bibliotecárias Maria Aparecida Marcus e Suelena Costa Braga Coelho.

À prefeitura de Ubatuba, através do secretário Flávio Malta.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, através do geólogo Carlos Geraldo Luz de Freitas.

Ao Instituto Geológico, através das geólogas Márcia Maria Nogueira Pressinotti e Anna Artemisia Barracco de Azevedo.

À Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais através do geólogo José Carlos Garcia Ferreira.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao INPE pela oportunidade do curso e pela infra-estrutura.

Agradeço por fim todos aqueles que o momento não me permite lembrar, mas que participaram de alguma forma do longo caminho até a conclusão da presente dissertação.

RESUMO

O mapeamento geotécnico constitui importante mecanismo de análise fisiográfica que objetiva harmonizar o uso e ocupação da terra pelo homem. Entre os tipos de mapeamento geotécnico destaca-se o zoneamento para uso geral como o mais adequado para embasar estudos de planejamento sobre o meio físico. Para a obtenção de zoneamentos geotécnicos de uso geral, a partir da interpretação de imagens de satélite, são identificadas três etapas. Na primeira, é realizada uma compartimentação fisiográfica baseada na análise de elementos texturais de relevo e drenagem e de suas estruturas em imagens fotográficas. Assim, são identificados unidades básicas de compartimentação (UBCs) as quais estão incluídas em níveis taxonômicos mais gerais (Província, Zona e Subzona). Na segunda, as UBCs obtidas na primeira etapa são caracterizadas em função de fatores (propriedades e características) geotécnicos considerados básicos para subsidiar a avaliação das unidades quanto ao potencial de uso para expansão urbana. Já na terceira etapa, a partir de uma tabela de correlação entre os fatores analisados e o potencial de uso, as unidades básicas de compartimentação são classificadas segundo quatro classes de aptidão/restrições. A avaliação dos resultados obtidos mostrou que o procedimento adotado apresenta grande potencial para aquisição de zoneamentos geotécnicos subsidiários à estudos de planejamento do meio físico e de análise ambiental. Além disso, o formato das UBCs possibilita o uso dessas unidades não só para o zoneamento geotécnico como para quaisquer tipos de estudos que versam sobre a avaliação de terrenos.

ABSTRACT

This study aims to obtain a geotechnical survey using visual interpretation of orbital images. Three stages are identified. The first is to section the area by physiographical features. This is made through the analysis of textural elements and structure of Landsat TM images. The Basic Physiographical Units (UBCs) in the area are identified. After the Basic Physiographical Units (UBCs) are obtained they are evaluated by geotechnical properties and characteristics. This is the second stage. The third stage is to establish a correlation between geotechnical properties and characteristics and the potential land use of the area to develop a classification considering aptitude and restrictions. The evaluation of the results shows that the procedure adopted has a great potential in the obtaining of geotechnical mapping.

SUMÁRIO

	<u>pág</u>
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE FOTOS	x
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Generalidades	1
1.2 - Concepção da Pesquisa	2
1.3 - Objetivos	7
1.3.1 - Objetivo Geral	7
1.3.2 - Objetivos Específicos	7
<u>CAPÍTULO 2 - A ÁREA DE ESTUDO</u>	8
2.1 - Localização e Aspectos Sócio-Econômicos	8
2.2 - Características Fisiográficas e Climáticas	12
2.2.1 - Geologia	12
2.2.1.1 - Unidades estratigráficas	13
2.2.1.1.1 - O pré-Cambriano e o Eopaleozóico	14
2.2.1.1.2 - O Cenozóico	16
2.2.2 - Geomorfologia	19
2.2.2.1 - Planalto Atlântico	20
2.2.2.2 - Província Costeira	23
2.2.3 - Pedologia	24
2.2.4 - Vegetação	25
2.2.5 - Clima	26
<u>CAPÍTULO 3 - ASPECTOS CONCEITUAIS</u>	28
3.1 - Mapeamento Geotécnico	28
3.1.1 - Generalidades	28
3.1.2 - Definições	30
3.1.3 - Tipos de mapeamento geotécnico	31
3.1.4 - Zoneamento geotécnico	32
3.2 - Compartimentação Fisiográfica	33
3.2.1 - Generalidades	33
3.2.2 - Conceituação	35
3.2.3 - Compartimentação fisiográfica por sensoriamento remoto	37
3.2.4 - Princípio utilizado	39
3.3 - Caracterização Geotécnica	39

3.3.1 - Conceituação	39
3.3.2 - Aquisição de dados geotécnicos	40
3.3.3 - Caracterização geotécnica por sensoriamento re- moto	41
3.4 - Critérios Interpretativos de Imagens Fotográficas	42
3.4.1 - Generalidades	42
3.4.2 - Definições e conceitos	43
3.4.3 - Relação entre propriedades texturais da imagem e propriedades dos alvos	45
 <u>CAPÍTULO 4 - PROCEDIMENTO METODOLÓGICO</u>	 47
4.1 - 1ª Fase: Pesquisa Preliminar	48
4.2 - 2ª Fase: Compartimentação Fisiográfica	49
4.3 - 3ª Fase: Caracterização Geotécnica	52
4.4 - 4ª Fase: Cartografia Temática	56
 <u>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	 59
5.1 - Sobre a Compartimentação Fisiográfica	59
5.1.1 - A compartimentação	59
5.1.1.1 - Subdivisões da província Planáltica	60
5.1.1.2 - Subdivisões da província Litorânica	61
5.1.2 - Análise da compartimentação	63
5.2 - Sobre a Caracterização Geotécnica	64
5.3 - Sobre a Cartografia Final	66
5.3.1 - Análise da cartografia	66
5.3.2 - Casos de "unidades geotécnicas"	67
 <u>CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	 76
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 82
 APÊNDICE 1 - EXEMPLOS DE CLASSES DE TERRENO	 89
 ANEXO 1 - CARTA DE UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO	
 ANEXO 2 - CARTA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS PARA PLANEJAMENTO URBANO	

LISTA DE FIGURAS

	<u>pág.</u>
Figura 1 - Fluxograma de concepção da pesquisa	6
Figura 2 - Localização da área de estudo	8
Figura 3 - Esboço da distribuição das unidades litoes- tratigráficas	14
Figura 4 - Fluxograma de execução da pesquisa	47
Figura 5 - Perfis de encostas típicos	56
Figura 6 - Quadro de classificação das UBCs para a ex- pansão urbana	57

LISTA DE FOTOS

	<u>pág.</u>
Foto 1 - Porto de areia em área de baixada litorânea ..	9
Foto 2 - Atividade agrícola na região litorânea	10
Foto 3 - Pedreira de rocha granítica	11
Foto 4 - Complexo de "britagem"	11
Foto 5 - Ocupação em área de baixada litorânea	68
Foto 6 - Estrangulamento de drenagem	68
Foto 7 - Paisagem típica de área da classe II na pro- víncia planáltica	69
Foto 8 - Extração de saibro	70
Foto 9 - Fenômeno erosivo induzido	71
Foto 10 - Paisagem típica de área da classe III na pro- víncia planáltica	72
Foto 11 - Escorregamento afetando rodovia (BR-101)	73
Foto 12 - Vista aérea do escorregamento	73
Foto 13 - Visão do escorregamento após as obras de re- cuperação	74
Foto 14 - Escarpa rochosa	75
Foto 15 - Terrenos alagadiços	75

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades

As atividades humanas (agricultura, obras de engenharia civil, mineração, etc.) sobre a superfície terrestre diversas vezes apresentam-se problemáticas devido a ocorrência de fenômenos geodinâmicos tais como escorregamentos, enchentes, colápsos de terrenos, tremores, etc., os quais podem ser naturais ou induzidos pelo uso e ocupação.

Independente de serem naturais ou induzidos, os problemas decorrentes da interação entre a ação antrópica e o meio físico são causados principalmente pela não consideração das limitações e aptidões desse meio. Neste sentido, identifica-se o mapeamento geotécnico como um importante mecanismo de análise ambiental o qual objetiva harmonizar o uso e ocupação da terra pelo homem.

Como mapeamento geotécnico compreende-se o conjunto de procedimentos (fotointerpretação, inventários, trabalhos de campo, análises e ensaios físico-químicos "in situ" ou laboratoriais, etc.) executados com o objetivo de obter informações de caráter geotécnico. Tais informações referem-se ao levantamento de propriedades e características do meio físico geológico, que sejam determinantes do comportamento dos materiais (solos, rochas, etc.) que compõem esse meio e que possam afetar as atividades humanas.

As informações oriundas do mapeamento geotécnico são apresentadas sob a forma de cartas geotécnicas, anexos descritivos, gráficos, tabelas, etc. A escolha da forma mais adequada de apresentação dessas informações depende de uma série de fatores dos quais se pode destacar: a finalidade do mapeamento, a escala de trabalho, a fase de investigação (preliminar, intermediária ou final) na qual as informações foram obtidas, o tipo de dado analisado (quantitativo ou qualitativo), etc.

Outro aspecto a ser considerado sobre o mapeamento geotécnico é o fato de sua crescente utilização em estudos multi e/ou interdisciplinares sobre o meio ambiente, onde além dele são obtidas informações de outra natureza tais como sobre ecossistemas, sócios-econômicas, uso atual do solo, etc., as quais são confrontadas para se chegar a um diagnóstico e/ou planejamento do uso e ocupação do meio.

Esses estudos de caráter ambiental têm sido marcados pela utilização, além de técnicas de aferição direta, da tecnologia de sensoriamento remoto que tem por objetivo tanto a otimização de trabalhos "in situ" como a aquisição de características intrínsecas dos alvos investigados.

A importância do uso de tal tecnologia pode ser observada diante da minimização de custos e tempo (gastos com trabalhos a nível local). Destaca-se também a facilidade de monitoramento das transformações ambientais através sobretudo, dos sistemas de imageamento mais recentes como o TM-Landsat e o Spot, onde o caráter multitemporal de seus dados possibilita a repetitividade de uma cena em intervalos de tempo pequenos. Tal caráter, permite ainda uma abordagem sazonal dos dados.

Outro aspecto a ser destacado refere-se a grande variedade de dados e produtos gerados pelos diferentes sistemas de sensoriamento remoto (imagens orbitais, fotografias aéreas, etc.), o que permite a análise dos alvos em faixas distintas do espectro eletromagnético e em diferentes níveis (altimétricos) de coleta de dados.

Diante dos aspectos citados, e considerando a pequena utilização do sensoriamento remoto na aquisição de informações geotécnicas (exceção feita às fotografias aéreas), é que se destaca a necessidade de esforços no sentido de explorar as possibilidades dessa tecnologia no processo de mapeamento geotécnico. Neste contexto é que se insere o presente trabalho.

1.2 - Concepção da Pesquisa

A escolha do tema a ser tratado na presente dissertação foi feita em duas partes: seleção do assunto e delimitação do assunto, as quais culminaram com a determinação respectivamente dos objetivos geral e específicos. Essas partes foram executadas a partir de um contexto mais amplo, de se explorar as potencialidades da tecnologia de sensoriamento remoto no processo de mapeamento geotécnico, o qual constitui assim o campo ou área de pesquisa deste trabalho.

Com base no contexto citado e com o objetivo de selecionar o assunto a ser investigado, o primeiro passo dado consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica preliminar onde foram analisadas uma série de metodologias de mapeamento geotécnico e as principais características da tecnologia de sensoriamento remoto.

Do confronto entre as características do mapeamento geotécnico e as do sensoriamento remoto então identificadas, vislumbrou-se uma grande quantidade de assuntos possíveis de serem estudados.

Essa diversidade de assuntos é resultado das combinações possíveis de uso do sensoriamento remoto no processo de mapeamento geotécnico, combinações essas decorrentes tanto das peculiaridades do sensoriamento remoto (tipo de produto, caráter dos dados, método de análise do dados, etc.) como das do mapeamento geotécnico (finalidade do mapeamento, fase de investigação, tipo de cartografia, escala, etc.).

A seleção de um entre os vários temas que se apresentaram foi feita com base nas seguintes diretrizes:

- estabelecer um uso efetivo do sensoriamento remoto na obtenção de uma cartografia geotécnica e não utilizá-lo apenas como um instrumento particular na aquisição de dados específicos dentro do processo de mapeamento geotécnico;
- utilizar um produto de sensoriamento remoto que apresente facilidade (relativa) de aquisição, disponibilidade e atualização (de dados);
- chegar a uma cartografia geotécnica útil para estudos sobre o meio físico;
- exemplificar o uso da cartografia geotécnica (obtida através da utilização de sensoriamento remoto) para um fim específico.

Com base nas diretrizes consideradas selecionou-se como tema da pesquisa a obtenção de um zoneamento geotécnico de uso geral através da análise de dados de imagens orbitais, estabelecendo-se assim o objetivo geral deste trabalho (vide item 1.3.1).

A opção de se realizar um zoneamento geotécnico de uso geral é justificada em função de que esse tipo de cartografia apresenta as informações geotécnicas de maneira adequada a estudos de planejamento, ou seja, a definição de zonas do terreno, com condições geotécnicas homogêneas, possibilita a escolha de áreas para um determinado fim, o que facilita o planejamento e ainda permite que investigações específicas sejam realizadas apenas nas áreas previamente selecionadas e já visando a implementação da forma de uso ou ocupação determinada.

Em relação a utilização de imagens orbitais para a obtenção do zoneamento geotécnico, a escolha

justifica-se em função de que essas imagens apresentam-se com maior disponibilidade, facilidade de aquisição e frequência temporal, do que outros produtos tais como imagens de radar e fotografias aéreas.

Uma vez selecionado o assunto (com conseqüente estabelecimento do objetivo geral) partiu-se para sua delimitação. Tal delimitação consistiu em se demarcar os limites da pesquisa, o que foi feito através da determinação do procedimento metodológico (a ser adotado) bem como pela seleção da área de estudo. Esses aspectos foram estabelecidos após retomada da pesquisa bibliográfica e permitiram a definição dos objetivos específicos (item 1.3.2.).

A determinação do procedimento metodológico foi feita a partir da análise e confronto das características intrínsecas dos zoneamentos geotécnicos e das diversas técnicas de interpretação de imagens orbitais. Assim, pôde-se identificar duas etapas básicas para se alcançar o objetivo proposto: compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica, as quais integradas em uma etapa posterior (cartografia temática) resultam no zoneamento geotécnico.

A determinação das etapas de compartimentação fisiográfica e de caracterização geotécnica é justificada pelas seguintes considerações:

-para se obter o zoneamento geotécnico, propriamente dito, é necessário não só dividir o terreno em áreas que apresentem comportamento geotécnico homogêneo (o que pode ser obtido a partir da compartimentação fisiográfica), mas também caracterizar essas áreas em função de fatores (derivados de propriedades e características geotécnicas) que permitam a análise e/ou previsão do comportamento das áreas frente às diferentes formas de uso e ocupação (caracterização geotécnica);

-tanto a etapa de compartimentação fisiográfica como a de caracterização geotécnica podem ser realizadas com base na utilização de procedimentos de fotointerpretação sistemáticos e com uma lógica comunicável, ou seja, a compartimentação fisiográfica pode ser feita com base na análise de elementos texturais e das estruturas desses elementos nas imagens, enquanto a caracterização geotécnica pode ser obtida a partir da correlação entre os fatores geotécnicos de interesse e determinadas propriedades texturais das imagens.

Em relação à etapa de integração (cartografia temática), escolheu-se como tema, para exemplificar o uso do zoneamento geotécnico, a expansão urbana. Essa escolha justifica-se em função de que a expansão urbana é uma das formas de atividade humana que mais exerce "pressão" sobre o

meio físico, sendo inclusive a atividade antrópica mais significativa em boa parte da área de estudo escolhida.

Finalmente sobre a área de estudo selecionada, observa-se que duas diretrizes balizaram sua escolha:

1) aplicar a metodologia proposta em uma região com grande diversidade fisiográfica (e em consequência variadas propriedades e características geotécnicas) para permitir uma maior avaliação da potencialidade dos produtos de sensoriamento remoto na realização do zoneamento geotécnico para uso geral;

2) atender regiões com grande necessidade e/ou carência de mapeamentos geotécnicos (subsidiários a estudos de planejamento do meio físico).

Assim, diante dessas diretrizes, a área selecionada (trecho do chamado litoral norte do estado de São Paulo e a área de planalto adjacente) tem sua escolha justificada respectivamente pelas seguintes considerações:

-O desenvolvimento das atividades humanas na área de estudo ocorre em um ambiente caracterizado por variações ambientais bruscas, onde a grande diferenciação morfológica (regiões planálticas com partes serranas, porções escarpadas, áreas de baixadas com diferentes ambientes sedimentares, etc.) acarreta a ocorrência de variadas características geotécnicas.

-Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), em proposta apresentada ao Conselho Estadual de Geologia e Mineração - COGEMIN (Jornal da ABGE, 1990), a região do litoral norte é uma área do Estado de São Paulo classificada como de prioridade máxima para a execução de mapeamentos geotécnicos. Entre os fatores importantes para tal classificação destaca-se a ocorrência, nessa região, de áreas já urbanizadas onde o processo de expansão urbana é agravado pela alta taxa de população flutuante (característica de cidades turísticas). Acrescentam-se ainda como fatores agravantes, a presença de: unidades de conservação (restringindo o uso e ocupação do solo), e escarpas da Serra do Mar (áreas consideradas de importância estratégica para a economia do estado e marcadas pela ocorrência de movimentos de massa que interferem nas obras de Engenharia).

No item a seguir, são especificados os objetivos estabelecidos. Observa-se que as etapas executadas durante a concepção da pesquisa podem ser vistas no fluxograma da figura 1.

CONCEPÇÃO DA PESQUISA

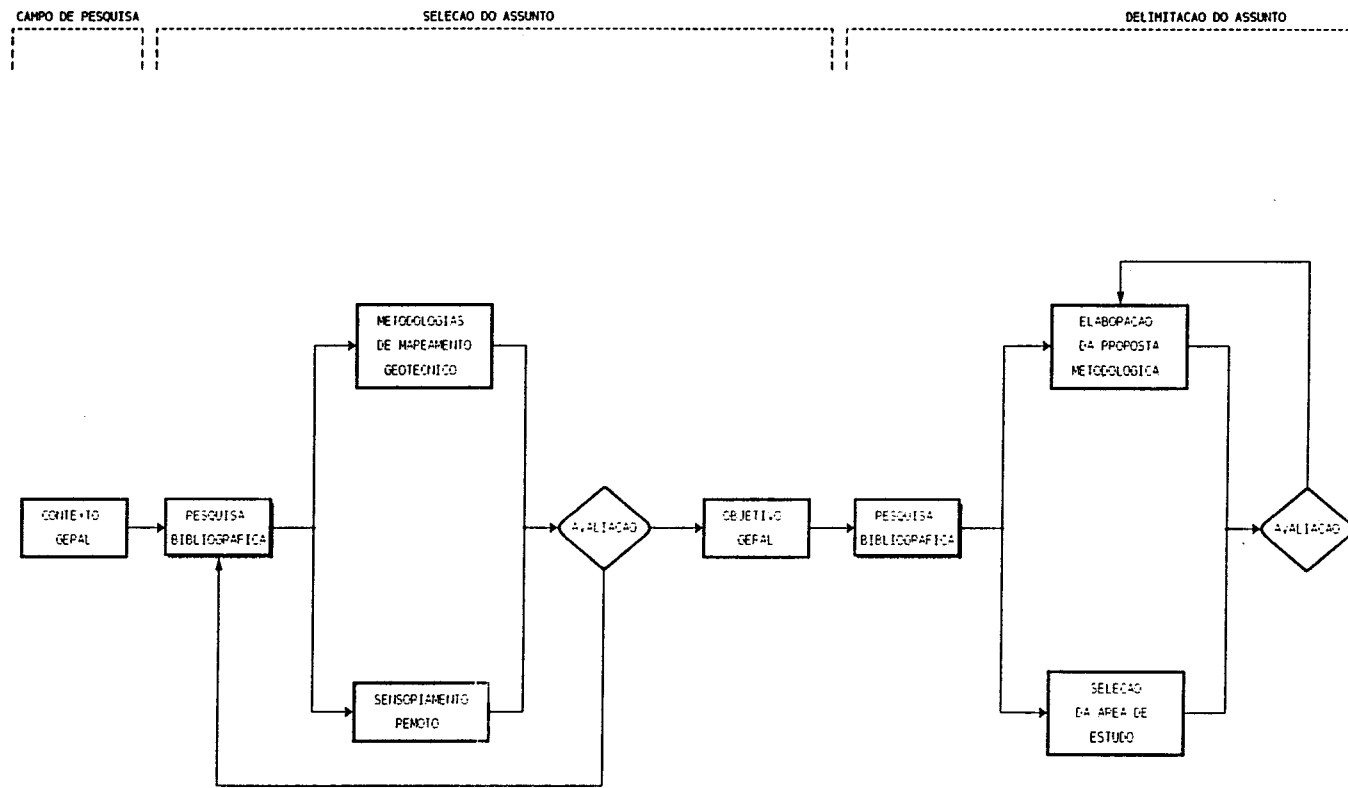


Figura 1 - Fluxograma de concepção da pesquisa

1.3 - Objetivos

1.3.1 - Objetivo Geral

-Apresentar um procedimento metodológico para a obtenção de um zoneamento geotécnico de uso geral através da análise de imagens orbitais (TM-Landsat), e exemplificar a utilização desse zoneamento para fim específico.

1.3.2 - Objetivos Específicos

-Realizar uma compartimentação fisiográfica da área de estudo com base em uma análise lógica e sistemática de elementos texturais e de suas estruturas nas imagens, como uma etapa preliminar para a obtenção de um zoneamento geotécnico;

-Caracterizar geotecnicamente as unidades resultantes da compartimentação fisiográfica segundo fatores (propriedades e características do meio físico) de interesse geotécnico, inferidos a partir da análise de propriedades texturais das imagens utilizadas;

-Realizar uma cartografia final, temática (carta de unidades geotécnicas para expansão urbana), classificando as "unidades geotécnicas" obtidas no zoneamento de uso geral, em função do seu grau relativo de aptidão/restrições à forma de uso previsto.

CAPÍTULO 2A ÁREA DE ESTUDO

2.1 - Localização e Aspectos Sócio-Econômicos

A área de estudo situa-se entre as coordenadas $23^{\circ} 10'$ e $23^{\circ} 37'$ de latitude sul e $45^{\circ} 20'$ e $44^{\circ} 43'$ de longitude oeste e compreende uma região litorânea situada no extremo leste do estado de São Paulo junto à divisa com o Rio de Janeiro. Sua localização pode ser vista na figura 2.

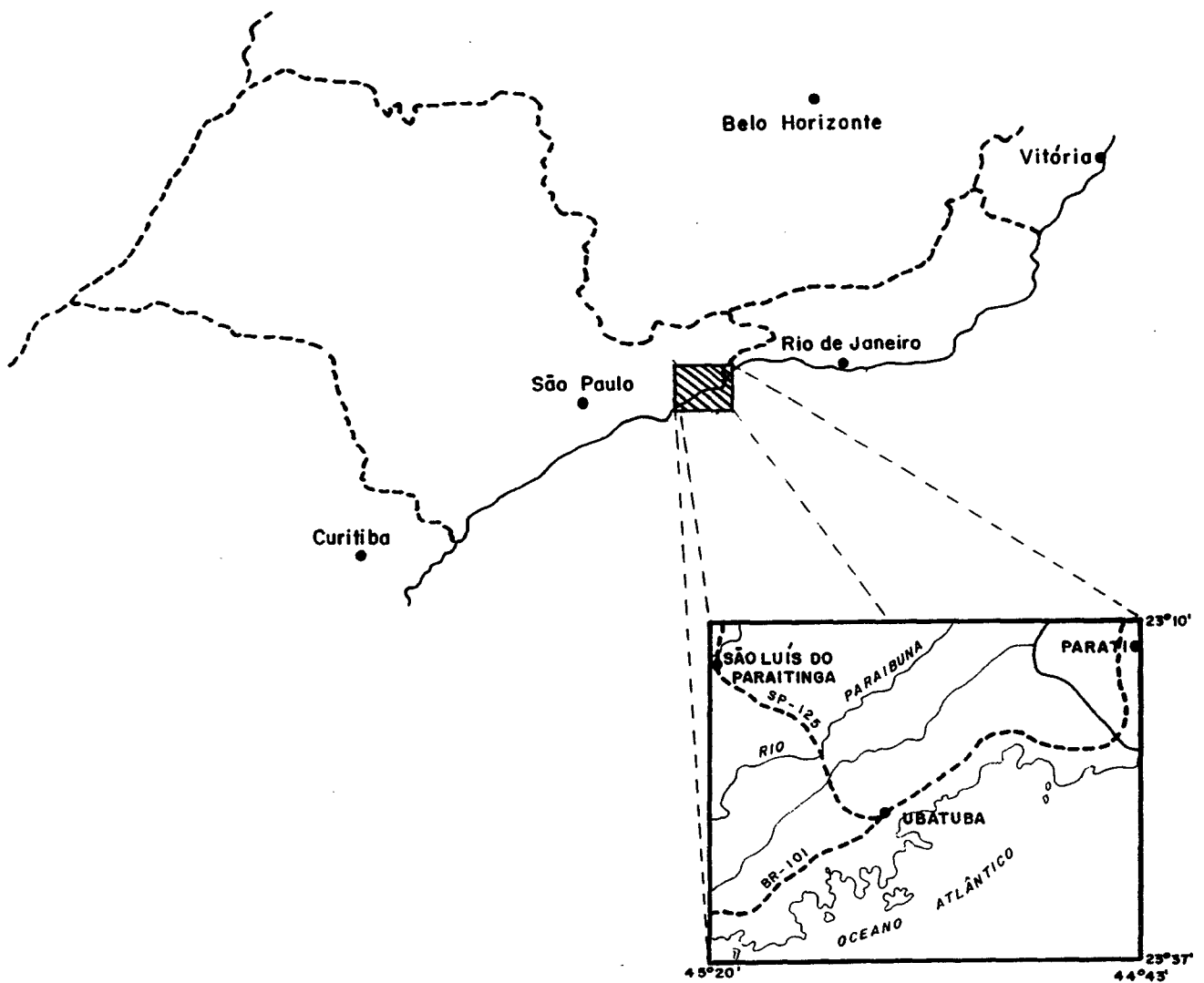


Figura 2 - Localização da área de estudo

Na porção central da área estudada localiza-se o município de Ubatuba, área inicialmente escolhida para ser estudada neste trabalho. Entretanto, visando caracterizar a transição da região litorânea para a região de planalto, os limites foram expandidos incluindo-se na área de estudo parte dos municípios vizinhos (São Luís do Paraitinga, Natividade da Serra, Cunha e Caraguatatuba no estado de São Paulo e Parati no Rio de Janeiro).

As características sócio-econômicas da região estudada podem ser divididas em dois grupos em função da localização fisiográfica.

O primeiro grupo, referente as áreas situadas junto ao litoral, caracteriza-se pela ocorrência de intensa atividade turística onde a presença de população flutuante acarreta uma grande pressão da expansão urbana sobre o meio físico. Atividades de mineração associadas à expansão urbana (extração de areia, saibro, etc.) bem como à exploração de rochas ornamentais ocorrem subordinadamente. A foto 1 ilustra a extração de areia em uma área de baixada litorânea. Identifica-se ainda, localmente, atividades agrícolas (foto 2).

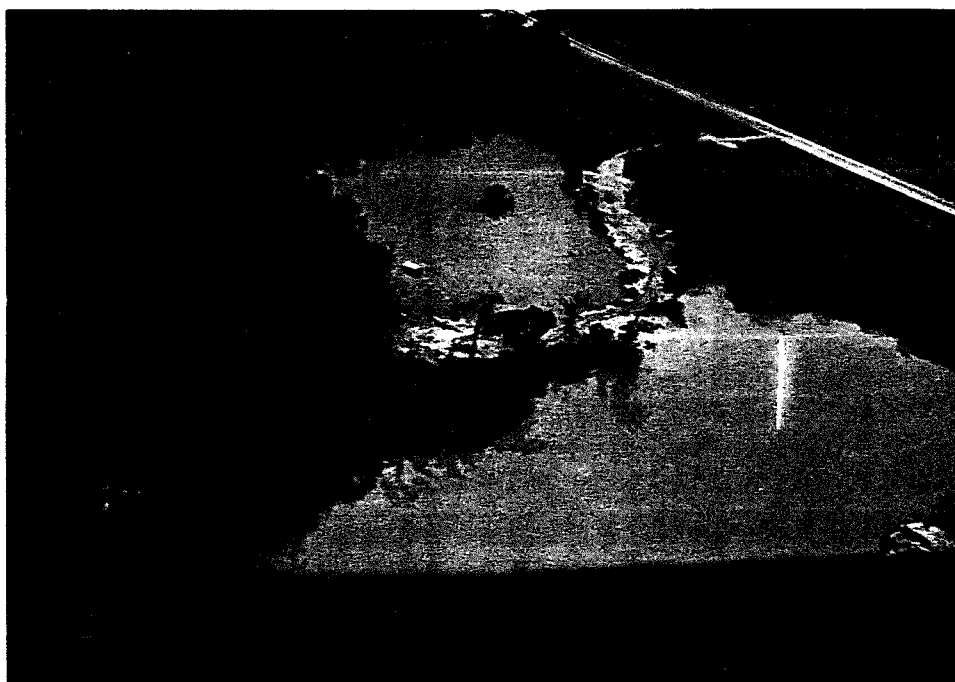


Foto 1 - Porto de areia em área de baixada litorânea.
Baixada de Ubatumirim, município de Ubatuba.
Julho de 1991.

O segundo grupo compreende as regiões situadas

na porção de planalto. Essas regiões caracterizam-se pela presença de pastagens e campos antrópicos, relacionados à pecuária leiteira (atividade predominante na área em questão), enquanto a agricultura desenvolve-se em menor escala. Destaca-se que essas atividades desenvolvem-se em um sistema agrário marcado na sua maior parte pela presença de sítios e fazendas de porte médio. Outra atividade significativa presente na região é a exploração mineral, a qual é caracterizada pela extração de bens básicos para as indústrias de construção civil (brita e saibro) e fertilizantes (calcário). As fotos 3 e 4 referem-se a uma pedreira de rocha granítica onde é produzida pedra de brita. Na primeira observa-se a frente de lavra, enquanto a segunda mostra o parque de britagem e armazenamento.

Em relação à área de estudo, deve-se destacar ainda a ocorrência de diversas áreas protegidas por legislação ambiental (Parque Estadual da Serra do Mar, Parque Nacional da Serra da Bocaina, etc.) as quais somadas às dificuldades naturais do terreno restringem a ocupação do meio físico.

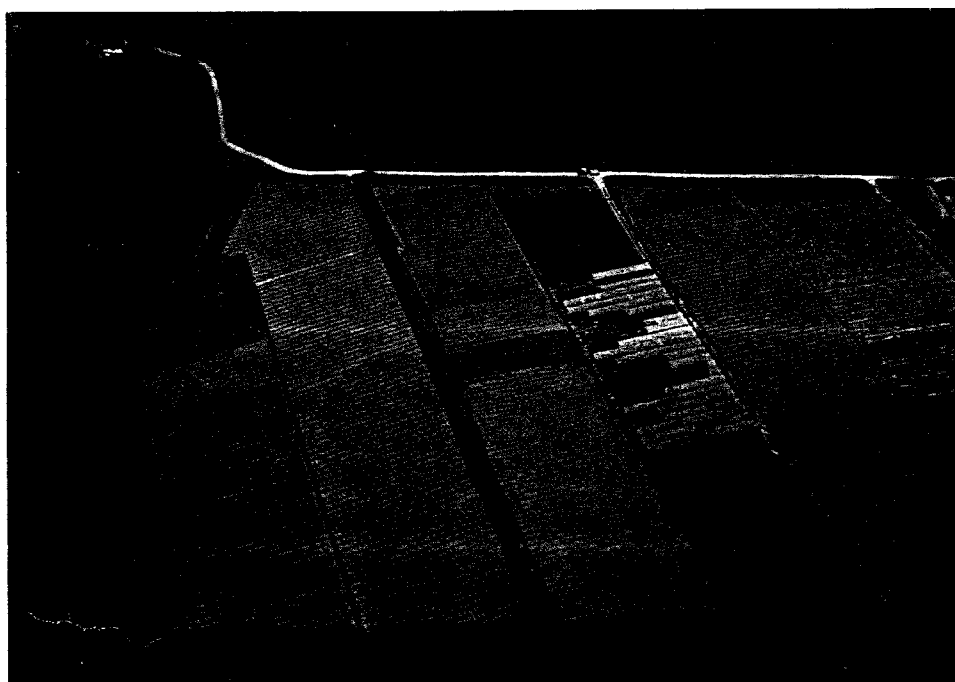


Foto 2 - Atividade agrícola na região litorânea.
Porção sul do município de Ubatuba.
Julho de 1991.



Foto 3 - Pedreira de rocha granítica.
Pedreira Constroen, município de São
Luis do Paraitinga.
Julho de 1992.

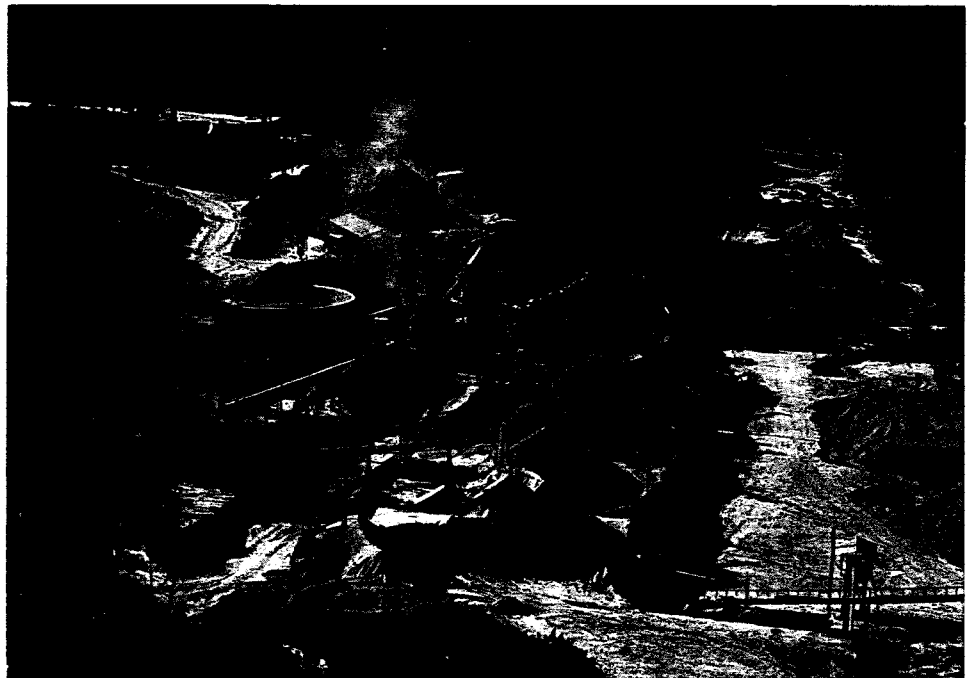


Foto 4 - Complexo de "britagem".
Pedreira Constroen, município de São
Luis do Paraitinga.
Julho de 1992.

2.2 - Características Fisiográficas e Climáticas

Neste item são apresentados aspectos fisiográficos relacionados à Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação, bem como as características climáticas gerais da área de estudo.

A caracterização aqui realizada foi feita a partir de trabalhos pré-existentes e objetivou orientar os trabalhos iniciais de reconhecimento da área estudada. Deve-se observar que os aspectos referentes aos temas citados (geologia, geomorfologia, etc.) serviram portanto apenas para balizar os trabalhos, não tendo sido usados efetivamente na execução do procedimento metodológico.

A observação anterior é importante em razão de que vários aspectos referentes aos temas tratados neste item (2.2) não se encontram ainda (conforme corroboram as observações feitas nos trabalhos de campo) satisfatoriamente esclarecidos. Assim, para que esses temas pudessem ser utilizados na execução prática do procedimento metodológico seria necessário realizar mapeamentos específicos (sobre cada um dos temas), o que não é o objetivo da presente dissertação.

Além disso, destaca-se que o procedimento metodológico determinado visa a obtenção do zoneamento geotécnico a partir de etapas (compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica) definidas para a obtenção direta da cartografia geotécnica e não a partir de mapeamentos temáticos (sobre geologia, geomorfologia, etc.) preliminares.

Feitas as observações anteriores, apresenta-se a seguir as características gerais dos temas referidos.

2.2.1 - Geologia

A nível regional, a área de estudo faz parte da região de dobramentos Sudeste, segundo divisão de Schobennhaus et al. (1984), a qual teria sido estruturada em sua forma atual durante o ciclo Brasileiro.

Conforme pode-se identificar em Almeida et al. (1981), a história geológica da área estudada apresenta sua evolução à partir de terrenos granito-gnáissicos e granulíticos formados no Arqueano e que constituem o substrato regional mais antigo.

No final do Arqueano (evento termotectônico Jequié) acontece a diferenciação do cinturão móvel Costeiro, sobre o qual a partir do Proterozóico inferior desenvolvem-se

supracrustais. Neste período, durante o ciclo Transamazônico, ocorreram processos tectônicos que retrabalharam o embasamento arqueano e ocasionaram a migmatização das supracrustais do período, configurando assim a faixa de Dobramentos Paraíba do Sul.

Já no Proterozóico superior, ocorre a deposição de sedimentos detríticos e químicos do Grupo Açungui com posterior atuação do evento termotectônico do ciclo Brasileiro. Durante este evento foram gerados corpos granitóides sin e pós-tectônicos. No final desse ciclo, já no Paleozóico, ocorrem falhamentos transcorrentes com o desenvolvimento de faixas cataclásticas.

A seguir, no final do Jurássico (estendendo-se pelo Cenozóico) tem início o processo tectono-magmático denominado Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967). Tal processo é correlacionado à abertura do oceano Atlântico e apresenta três fases de evolução. Na primeira, observa-se a ocorrência de grande quantidade de diques de diabásio, cortando as rochas pré-existentes. Na segunda, ocorrem manifestações de magmatismo alcalino na serra do Mar, enquanto na terceira, entre o Oligoceno e o Mioceno Inferior, iniciam-se processos de deformação que resultam no processo de rifteamento que dá origem à serra do Mar.

Observa-se que, entre a segunda e terceira fases, ocorre um período de calma tectônica com o desenvolvimento de uma extensa superfície de aplainamento denominada Japi (Almeida, 1964). Essa superfície está relacionada ao ciclo erosivo Sul-Americano (King, 1956), e seus indícios são claros nos relevos formados por rochas pré-cambrianas mais resistentes.

Por fim, observa-se que no restante do Cenozóico a região caracterizou-se pela presença de ampla rede de drenagem e ausência de condições tectônicas de fixação de sedimentos (exceção feita à restritos depósitos costeiros).

2.2.1.1 - Unidades estratigráficas

Neste trabalho adotou-se a estratigrafia proposta por Hasui et al. (1981). Assim, as unidades estratigráficas podem ser divididas, em função do tempo geológico, nas formadas durante o Pré-Cambriano e o Eopaleozóico e nas originadas no Cenozóico. A distribuição das unidades adotadas por Hasui et al. (1981), que ocorrem na região da área de estudo, pode ser vista na figura 3.

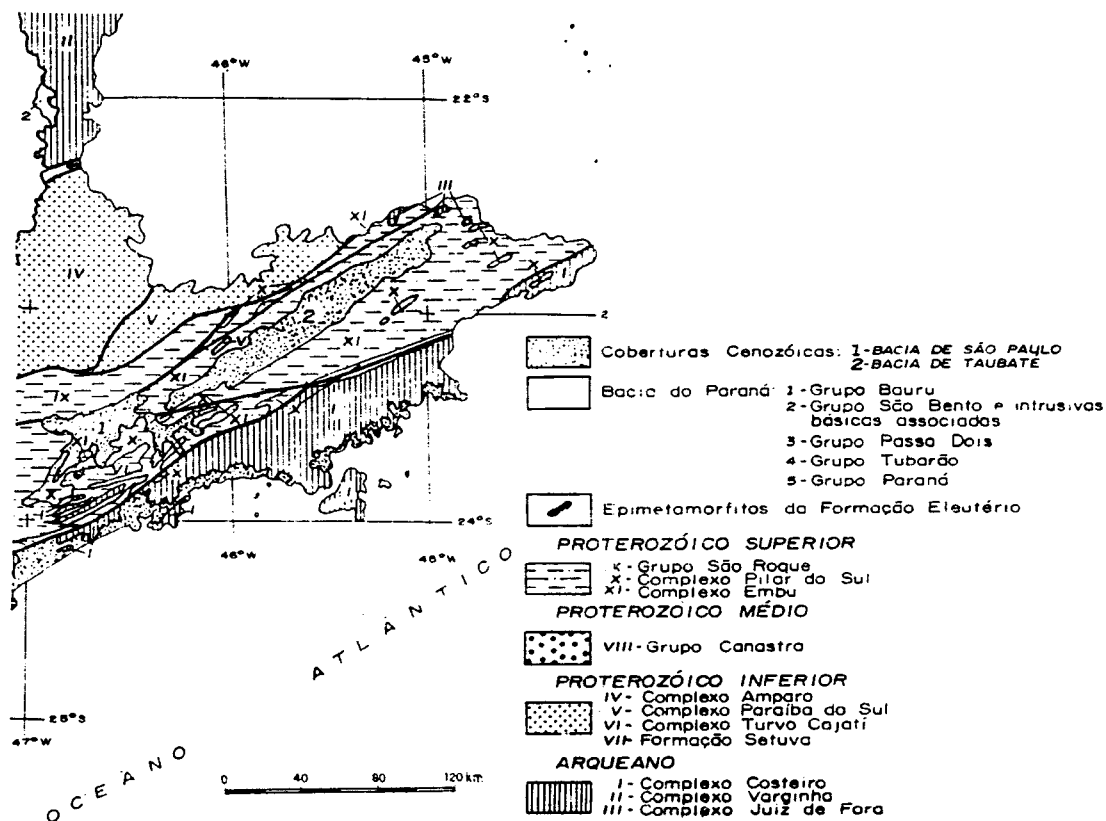


Figura 3 - Esboço da distribuição das unidades litoestratigráficas.
Adaptado de Hasui et al. (1981)

2.2.1.1.1 - O pré-Cambriano e o Eopaleozóico

Hasui et al. (1981) sugerem a utilização do termo "Unidades Litoestratigráficas" para a descrição das unidades do período entre o Pré-Cambriano e o Eopaleozóico. Isto justifica-se em função de que as rochas que constituem o embasamento foram, em grande parte, mapeadas apenas em nível de reconhecimento, desconhecendo-se ainda a relação de empacotamento entre elas.

a) Complexo Costeiro

Essa denominação é atribuída a Hasui e Fonseca (1981) que a teriam usado abrangendo uma série de unidades individualizadas por diferentes autores sob as mais diversas denominações.

Tal unidade distribui-se na zona costeira tendo seu limite norte com o Grupo Açungui definido pela Falha de Cubatão, enquanto que para o extremo leste do estado

encontra-se limitado pelo Lineamento de Além Paraíba.

O Complexo Costeiro é uma unidade bastante heterogênea onde a relação entre as várias litologias individualizadas ainda não estão bem esclarecidas. Dentre estas predominam rochas migmatíticas, com ocorrência generalizada por toda a área do complexo, bem como bolsões, faixas e núcleos esparsos de granulitos, alguns intensamente migmatizados e feldspatizados. Ocorrem ainda, rochas básicas, xistos (possuindo intercalações quartzíticas, calcossilicáticas e filíticas), lentes de mármore dolomíticos e calcários cristalinos e por fim corpos quartzíticos.

Observa-se ainda o predomínio, nas rochas desse complexo, de um trend estrutural NE atribuível às deformações oriundas da ação do Ciclo Brasileiro.

Deve-se destacar que a superposição de diferentes eventos tectono-estruturais (metamorfismo, deformação, migmatização, granitogênese e blastomilonitização) e as características litológicas observadas permitem supor um quadro de rochas arqueanas retrabalhadas em eventos termotectônicos policíclicos.

b) Grupo Açungui

Constitui a unidade pré-cambriana de maior extensão no Estado de São Paulo atravessando-o de E para SE. Encontra-se limitado pela Falha de Cubatão e Lineamento de Além Paraíba ao sul, enquanto ao norte pelas falhas de Taxaquara, Monteiro Lobato e Jundiuvira, ocupando em grande parte a faixa de dobramentos Apiaí.

Em termos litológicos são individualizados, neste grupo, os complexos "Pilar" e "Embu".

O Complexo Pilar, encontra-se melhor representado nas regiões sul e sudeste do estado e na região de São Paulo, e ocorre, ainda, em zonas próximas aos grandes falhamentos que limitam o Grupo Açungui e em núcleos provavelmente paleossomáticos em meio aos migmatitos do Complexo Embu.

Litologicamente apresenta predomínio de um conjunto bastante variado de xistos com intercalações subordinados de filitos, metassiltitos, quartizitos, mármore e calcossilicáticas, sendo comum a presença de anfibolitos, anfibólio-xistos e diques metabasíticos diversos.

Já o Complexo Embú, que cresce em expressão para leste do estado, caracteriza-se pelo predomínio de migmatitos homogêneos oftálmicos, nebulíticos e facoidais.

Ocorrem também, corpos metabásitos irregulares em núcleos paleossomáticos que por vezes também têm uma natureza quartzítica e calcossilicática.

Segundo Hasui et al (1981), em termos estruturais os complexos do Grupo Açungui são marcados por duas fases de dobramento, das quais a última seria a responsável pela direção geral ENE.

c) Corpos Granitóides

São encontrados na região estudada, corpos granitóides sin e pós-tectônicos. Os corpos sin-tectônicos estão representados pelas fácies Migmatítica e Cantareira enquanto que a presença do corpo pós-tectônico está relacionada à ocorrência do granito Parati, o qual pertence a fácies Itu.

A fácies Migmatítica distribui-se preferencialmente na Faixa de Dobramentos Apiaí, constituindo-se de corpos alongados segundo o trend regional das foliações. Sua origem é relacionada à fase inicial dos dobramentos brasileiros e sua ocorrência é controlada pelos núcleos antiformais gerados pela fase seguinte. Possui composição numa faixa tonalítica a granítica.

Já a fácies Cantareira é mais expressiva tanto em quantidade de corpos quanto em extensão, espalhando-se por todos os blocos tectônicos na forma de grandes batólitos e "stocks". Possui grande diversidade textural, composicional e mineralógica, com predomínio de granito-gnáisses com foliação concordante ao trend regional. Ocorrem em núcleos de geanticlínios e anticlinórios oriundos da segunda fase dos dobramentos brasileiros, os quais estão afetados pelas grandes falhas transcorrentes.

Finalmente a fácies Itu, caracteriza-se pela presença de corpos granodioríticos a graníticos, epizonais circunscritos de natureza intrusiva e discordante. Esses corpos apresentam-se ainda isotrópicos, com coloração cinza clara a avermelhada e granulação de fina a grossa.

2.2.1.1.2 - O Cenozóico

Os principais eventos geológicos do Cenozóico paulista podem ser resumidos na formação do relevo e deposição de seqüências sedimentares que lhe são correlativas.

Na área de planalto da região estudada, as formações cenozóicas ocorrem de forma restrita, representadas por depósitos aluvionares e detriticos denominados de

"Aluviões pré-Atuais" e Coluviões e Tálus" (Hasui et al., 1981).

Já na região litorânea, as formações cenozóicas encontram-se condicionadas pelas características peculiares da interface entre os ambientes continentais e marinhos. As ingressões e regressões marinhas típicas dessas interfaces, apesar das complexidades de balanço tectônico e glacio-eustático, constituem importantes marcos cronológicos o que facilita a datação dos eventos. Neste sentido, reconhece-se a Formação Pariquera-Açu seguida das formações Ilha Comprida e Cananéia, constituindo o Grupo Mar Pequeno. Os sedimentos mais recentes incluem depósitos de baixos terraços marinhos, mangues, aluviões e coluviões.

A seguir são descritas as formações desse período.

a) Aluviões pré-Atuais

São depósitos aluvionares pré-atuais, que têm sido identificados em manchas isoladas ao longo das principais drenagens (Paraibuna, Paraitinga) embora se observe que sua correlação com a drenagem atual não é sempre evidente.

Apresentam litologia variada, incluindo folhelhos, argilitos, siltitos e arenitos com intercalações de cascalho, em geral com litificação incipiente e estruturas plano-paralelas e de estratificação cruzada.

Segundo Hasui et al. (1981) é provável que a maior parte das ocorrências seja quaternária, relacionando-se a períodos de alargamento dos vales em razão de intensa remoção de detritos e formação de terraços e pedimentos, sincronicamente aos estágios glaciais.

b) Coluviões e Tálus

São aqui englobados depósitos de tálus cortados por aluviões recentes em suas partes mais baixas. Constituem-se de blocos e matacões angulosos envoltos em matriz areno-argilosa, por sua vez bauxitizada.

Admite-se idade pleistocênica e acumulação em um período mais seco onde movimentação mecânica teria removido materiais alterados em época mais úmida.

Destaca-se, ainda, a ocorrência em vários locais de linhas de seixo ("stone lines") em geral quartizíticas, capeadas por colúvios avermelhados areno-argilosos.

Brown Jr. e Ab'Saber (1979) compreendem essas linhas como um paleopavimento detritico originado durante o último estágio glacial, onde o relevo já se assemelhava muito ao atual.

c) Grupo Mar Pequeno

O Grupo Mar Pequeno (Ponçano, 1981) envolve uma sequência transicional que vai de ambiente fluvial na base para marinho no topo. Suguio e Petri (1973) descrevem toda a sequência em testemunhos de sondagem realizada na região de Iguape-Cananéia.

Da base para o topo ocorrem: camadas arenosas e conglomeráticas com argilas subordinadas (I), argilas siltosas (II), areias siltosas (III) e areias consolidadas bem selecionadas (IV).

A primeira sequência corresponde a Formação Pariquera-Açu de Bigarella e Meis (1965), enquanto a última foi classificada por Suguio e Petri (1973) como Formação Cananéia. Ponçano (1981) englobou as sequências intermediárias, de ambiente misto, sob a denominação de Formação Ilha Comprida.

Segundo Bigarella e Meis (1965) a Formação Pariquera-Açu é constituída predominantemente de sedimentos finos, observando-se alternâncias irregulares de siltitos areno-argilosos e areias arcossianas. Deposita-se em discordância erosiva sobre as rochas do embasamento pré-cambriano, a qual é marcada por "cascalheira" e associada a clima semi-árido. São individualizados três níveis que correspondem ao pediplano Pd e aos pedimentos P2 e P1, associados cronologicamente aos estágios glaciais pleistocênicos.

Já a Formação Ilha Comprida (Ponçano, 1981) envolve os sedimentos finos de ambiente misto, correspondendo as sequências II e III de Suguio e Petri (1973). A idade proposta por Ponçano (1986) corresponderia ao estágio interglacial Riss-Wurm, o que está em concordância com a idade de 120000 anos BP sugerida por Martin et al. (1979) para a sequência relacionada com a transgressão Cananéia.

A Formação Cananéia é vista por Hasui et al. (1981), em concordância com Suguio e Petri (1973), como o topo de um pacote sedimentar depositado a cerca de 120000 anos BP, devendo situar-se portanto no final do interglacial Riss-Wurm. Observam-se, entretanto, trabalhos de Suguio e Martin (1975; 1978) e Martin et al. (1979) englobando as sequências II, III e IV (Suguio e Petri, 1973) sob essa denominação. Na designação inicial de Suguio e Petri (1973) tal formação apresenta-se constituída de areias

inconsolidadas bem selecionadas (intervalo areia fina), frequentemente limonitizadas, podendo incluir leitos de argila.

d) Depósitos de Baixos Terraços Marinhos, Dunas, Mangues, Aluviões e Coluviões

Suguio e Martin (1978) destacam a ocorrência de um terraço marinho (cerca de 5m acima do nível do mar) mais baixo que a Formação Cananéia, formado durante uma transgressão mais recente (Santos) com máximo em torno de 5000 anos BP e portanto de idade holocênica.

Constituem sedimentos arenosos caracterizados por estruturas de cordões de regressão em superfície, e acham-se frequentemente impregnados por materiais húmicos e ferruginosos, que chegam a formar leitos de arenito pouco consolidado, com cor de café característica. São eventualmente capeados por campos de dunas (Ab'Saber, 1965; IPT, 1974).

Em locais onde a Formação Cananéia foi mais erodida ocorrem sedimentos argilo-arenosos flúvio-lagunares e sedimentos arenosos lagunares (Suguio e Martin, 1978).

2.2.2 -Geomorfologia

A divisão geomorfológica para o Estado de São Paulo tem sua origem associada a trabalhos pioneiros de Moraes Rego (1932) e Deffontaines (1935), conforme cita Almeida (1964).

Trabalhos posteriores (Monbeing, 1949; Ab'Saber, 1956; Ab'Saber e Bernardes, 1958) reelaboraram através de sínteses e subdivisões os principais compartimentos fisiográficos definidos por Moraes Rego (1932) e Deffontaines (1935).

A última divisão proposta foi dada por Almeida (1964). Este autor, analisando o relevo do estado, propõe sua divisão em "províncias geomórficas" correspondentes, a grosso modo, às grandes divisões de sua geologia. Essas subdividem-se em zonas e subzonas em função de diversidades das feições de relevo ou das características estruturais e morfológicas.

Com base no trabalho de Almeida (1964), IPT (1981) elaborou uma carta geomorfológica, onde as formas de relevo foram agrupadas sob o ponto de vista morfoestrutural. As províncias propostas por Almeida (1964) foram mantidas, realizando-se apenas pequenas modificações tais como revisões de limites, criação e subdivisão de zonas e subzonas.

Em relação ao Mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981), a área de estudo do presente trabalho distribui-se nos domínios de duas províncias: Província Costeira e Planalto Atlântico. A primeira está representada pelas zonas Serrania Costeira (subzona Serra do Mar) Baixadas Litorâneas e Morraria Costeira. A segunda pelas zonas Planalto do Paraitinga (subdividido nas subzonas Morraria do Paraitinga, Morraria de Paraibuna e Serrania de Natividade-Quebra Cangalha) e Planalto da Bocaina (na sua subzona Serrania da Bocaina). A seguir apresenta-se os domínios citados.

2.2.2.1 - Planalto Atlântico

IPT (1981) caracteriza geomorfologicamente o Planalto Atlântico como uma região de terras altas, constituída predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas e cambro-ordovicianas, cortadas por intrusivas básicas e alcalinas mesozóico-terciárias, e pelas coberturas das bacias sedimentares de São Paulo e Taubaté.

Assim chamado por Monbeig (1949) citado por Almeida (1964), o Planalto Atlântico foi posteriormente subdividido em nove zonas por Ab'Saber e Bernardes (1958), em onze zonas por Almeida (1964) e em treze pelo IPT (1981)

A divisão em zonas e por vezes em subzonas é justificada diante das "variedades de aspectos topográficos, estruturais e genéticos que se apresentam nessa complexa região" (Almeida, 1964).

a) Planalto do Paraitinga

Segundo Almeida (1964) este planalto corresponde "a região drenada pela bacia do rio Paraíba a montante de Guararema, estendendo-se às faldas do Planalto da Bocaina. Trata-se de um planalto cristalino de estrutura complexa, maturamente dissecado, com relevo de "mar de morros" e longas serras longitudinais. Suas altitudes, que decrescem para WSW, alcançam cerca de 1300m, com amplitudes locais de relevo, que não raro atingem valores de 200 a 300m. Seus rios são jovens, com numerosas corredeiras e cachoeiras, e extrema adaptação às estruturas".

Em razão da incorporação de áreas serranas áreas de morros nos domínios deste planalto, IPT (1981) propõem sua diferenciação em três subzonas:

- Morraria do Paraitinga:

Envolve a região de maior expressão do relevo de morros na altura do trecho médio do rio homônimo. Predomina o sistema de relevo Mar de Morros o qual apresenta formas mais extensas, suavizadas e arredondadas e não possui herança estrutural muito forte. Ocorrem ainda, manchas restritas de morros paralelos e colinas pequenas com espigões locais.

- Morraria do Paraibuna:

Distingui-se da anterior pela menor expressão, em área, dos morros embora com alturas equivalentes. Além disso possui a drenagem principal bastante encaixada (sem formar planícies aluvionares) com influência estrutural marcante traduzida pela forma em treliça da drenagem. O sistema de relevo característico é o tipo morros paralelos, embora ocorram ainda mar de morros e morrotes baixos, respectivamente nas proximidades de Paraibuna e junto às bordas do Planalto.

- Serrania de Natividade-Quebra Cangalha

Incorpora as duas regiões serranas presentes no Planalto do Paraitinga. Uma delas constitui a serra do Quebra Cangalha na região limítrofe com o Planalto do Médio Vale do Paraíba, não estando representada na área de estudo.

A outra, constitui um conjunto de serras alongadas na região que separa as morrarias do Paraitinga e do Paraibuna. Possui amplitudes de relevo acima de 300 metros e suas formas alongadas, segundo a foliação das rochas, são mais expressivas na porção oriental perdendo tal característica em direção à parte ocidental da área serrana.

Litologicamente é representada por rochas granitóides que constituem o imenso batólito de Natividade. A maior resistência dessas rochas granitóides aos processos erosivos justifica a ocorrência de uma área serrana separando as bacias hidrográficas do Paraibuna e Paraitinga.

Em relação aos sistemas de relevo que ocorrem no Planalto do Paraitinga, as seguintes observações são feitas por IPT (1981):

Morrotes baixos: nivela os cimos da Serra do Mar e é drenado para a bacia do rio Paraibuna. Representam os indícios mais claros de uma antiga superfície de erosão, poupados por se situarem na divisa de águas das bacias Atlântica e do Paraíba. Ao se afastar das bordas da serra do Mar passa gradualmente para o relevo Morros Paralelos.

Morros paralelos: é mais característico da Morraria do Paraitinga. Apresenta drenagem mais encaixada e relevo mais dissecado que, entretanto, não foram suficientes para apagarem os indícios da primitiva superfície de erosão. O maior encaixamento da drenagem evidencia as estruturas migmatíticas, bem como faixas graníticas, limitadas por antigas falhas, originando morros paralelos e sub-retilíneos, com drenagem bastante diversificada do tipo treliça. As principais elevações estão associadas as litologias mais resistentes como os granitos.

Mar de morros: semelhante ao anterior, representa uma fase mais avançada de evolução geomorfológica, a qual estaria condicionada por litologias mais isotrópicas, ou por sua situação em relação a drenagem, ou ainda pela posição de níveis de base locais. Caracteriza-se pela presença de formas mamelonares, refletindo menos o controle estrutural. Os coletores principais desenvolvem planícies aluviais restritas.

Morros com serras restritas: é o relevo que ocupa o principal divisor entre os rios Paraitinga e Paraíba do Sul, bem como a zona de transição entre os planaltos de Paraitinga e Paulistano. Constitui um relevo serrano, com morros e serras orientadas pelas estruturas migmatíticas, embora seus cimos, em geral, não se destacam sobre o nível da superfície de erosão do Alto Paraitinga.

Escarpas festonadas: elevam-se de 200 a 300 metros em relação ao Planalto do Paraitinga, e constituem os relevos de transição da porção limítrofe da subzona Morraria do Paraíba com o Planalto Paulistano.

b) Planalto da Bocaina

Constitui um planalto maturamente dissecado, com inclinação geral para SE, devido possivelmente a reativação de estruturas de direção NE e ENE.

O profundo entalhe erosivo do Planalto da Bocaina estaria associado à erosão diferencial sobre rochas migmatíticas e granitóides. Isto teria ocasionado a presença de partes serranas separando platôs situados em diferentes níveis e associados a soleiras locais, relacionadas por sua vez a litologias mais resistentes.

Tal fato justifica a divisão deste planalto nas subzonas Serrania da Bocaina e Planaltos Isolados.

Na área de estudo, apenas uma pequena porção do Planalto da Bocaina (representada pela subzona Serrania da Bocaina) está presente. Situada em pequena faixa entre a Província Costeira e o Planalto do Paraitinga é caracterizada

pelo sistema de relevo montanhas com vales profundos.

2.2.2.2 - Província Costeira

Definida por Almeida (1964) corresponde "à área do Estado drenada diretamente para o o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. É, em maior parte, uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma sequência de planícies de variadas origens".

As escarpas da parte serrana mostram-se abruptas e festonadas, desenvolvendo-se ao longo de anfiteatros sucessivos, separados por espigões. Já as planícies litorâneas ocorrem descontinuamente, subordinadas às reentrâncias do fronte serrano, com extensões bastante variáveis (maiores no litoral sul e menores no litoral norte do estado).

Em termos taxonômicos esta província é dividida segundo IPT (1981) em três zonas:

a) Serrania Costeira

Representada na área de estudo pela subzona Serra do Mar, corresponde a uma extensa faixa de encostas de transição no limite entre o Planalto Atlântico e a Província Costeira.

Entre os sistemas de relevo presentes nesta zona destacam-se as escarpas festonadas (apresentando espigões que avançam para o mar proporcionando, em alguns pontos, a formação de promontórios) e as escarpas com espigões digitados (presente na região da divisa entre Ubatuba e o Rio de Janeiro, onde aflora o granito Parati). Essas escarpas situam-se bastante próximas a linha de costa restringindo assim, a área das planícies litorâneas.

Ocorrem ainda, distribuídos nas baixadas litorâneas, morros isolados.

b) Morraria Costeira

Constitui extensa faixa de relevo arrasado de morros e serras que ocorrem em áreas onde as escarpas estão mais distantes da linha de costa. Caracterizam-se pelos sistemas de relevo serras alongadas e morros isolados.

c) Baixadas Litorâneas

Segundo Almeida (1964) são "terrenos não mais elevados que uns 70m. sobre o mar, dispostos em áreas descontínuas". Correspondem a áreas sedimentares relacionadas

a deposição fluvio- marinha recente e que para a área do presente estudo encontram-se preenchendo antigas reentrâncias da linha de costa.

Os sistemas de relevo reconhecidos envolvem planícies costeiras, terraços marinhos, mangues e planícies aluviais. Segundo o IPT (1981) essas formas são assim descritas:

Planícies costeiras: constituem-se de terrenos baixos mais ou menos planos, próximos ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante e localmente entrelaçado. Como formas subordinadas ocorrem antigos cordões (praias, dunas, etc).

Terraços marinhos: terrenos mais ou menos planos, poucos metros acima da planície costeira, com drenagem superficial ausente.

Mangues: terrenos baixos, quase horizontais, ao nível de oscilação das marés, caracterizados por sedimentos tipo vasa (lama) e vegetação típica. Drenagem com padrão difuso.

Planícies aluviais: terrenos baixos mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações.

2.2.3 - Pedologia

Os principais tipos de solo que ocorrem na área de estudo podem ser identificados nos trabalhos de Queiroz Neto e Kupper (1965) e do Projeto RADAMBRASIL (1983), entre outros.

Na região de planalto predominam os cambissolos álicos e em menor escala os latossolos vermelhos álicos. Os primeiros encontram-se associados a relevos montanhosos (serranos ou não) e caracterizam-se pela ocorrência de solos rasos a profundos com drenabilidade de moderada a boa e textura argilosa a média, enquanto os segundos constituem solos profundos a muito profundos com drenabilidade de boa a acentuada e ocorrem associados a relevos estáveis do tipo ondulado e suave ondulado.

Na região litorânea a variação dos tipos de solo é maior.

Nas áreas onde ocorrem as encostas e os morros isolados predominam os litossolos, os podzólicos vermelho-amarelos e os latossolos vermelhos amarelos. O primeiro é típico de encostas mais íngremes e apresentam espessura de solo delgada disposta geralmente sobre a rocha. Os demais

ocorrem dependendo do estágio intempérico associados às regiões de morros, escarpas menos íngremes e morros isolados.

Já nas áreas de baixada ocorrem solos podzólicos hidromórficos, glei pouco húmico e solos orgânicos. Os primeiros ocorrem associados à sedimentos arenosos de origem marinha ou fluvial (terraços), e apresentam-se com baixos teores de argila, textura com predomínio da fração areia fina e resistentes aos agentes do intemperismo. Os segundos apresentam-se com teores de argila e porosidade elevados, enquanto sua textura é argilosa. Já os solos orgânicos ocorrem nas áreas deprimidas (associadas à antigas lagunas), caracterizando-se pela presença de grande quantidade de matéria orgânica e lençol freático pouco profundo.

2.2.4 - Vegetação

Pode-se identificar no mapa de vegetação para a região sudeste do Brasil (Alonso, 1977) a ocorrência, na área de estudo, de três grupos vegetais (Floresta Perenefólia Higrófila Costeira, Floresta Subcaducifólia Tropical e Vegetação Litorânea), os quais dispõem-se em faixas paralelas ao litoral. Assim, do litoral para o interior, ocorrem:

- Vegetação Litorânea: ocorre em áreas de baixadas litorâneas e engloba as diferentes formações relacionadas às formas de origem marinha e fluvio-marinha. Inclui:

vegetação de praias: ocorre associada à solos arenosos sob influência das marés e das vagas, e portanto submetida à ação da salinidade, de onde seu caráter psamófilo-halófilo. Começa a aparecer na faixa atingida pela maré alta, sendo caracterizada por pobre composição florística que vai aumentando, mas muito pouco, para as partes mais elevadas e fora da ação das ondas.

vegetação de restingas: ocorre nas planícies homônimas e apresenta diversidade fisionômica relacionada às faixas dos antigos cordões e lagunas. Assim, nas partes arenosas ocorre vegetação arbórea e herbácea, enquanto nas partes argilosas aparecem a vegetação herbácea embrejada e florestas de caráter esclerófilo e pantanosas.

manguesais: ocorrem ligados à solos pantanosos, oriundos da deposição de sedimentos finos nos fundos de baías e nos estuários, e estão sujeitos à influência das águas salobras. Constituem-se de plantas halófilas de porte arbustivo chegando, por vezes, a arbóreo. Apresenta zonações vegetais de acordo com a natureza do substrato e o alcance das marés, sendo cada uma das zonas

caracterizada por uma espécie principal.

- Floresta Perenefólia Higrófila Costeira: ocorre em áreas de baixada litorânea e nas encostas da Serra do Mar, e é caracterizada por possuir fisionomia alta e densa, diversidade de espécies e vários estratos, dos quais os inferiores vivem em ambiente bastante sombrio e úmido e sempre dependente do estrato superior. O grande número de lianas, epífitas, fetos arborescentes e palmeiras dá a esta floresta um caráter tipicamente tropical. Observa-se que em função de sua localização, essa floresta apresenta variações decorrentes das características do relevo, do substrato, da insolação, etc. Assim, nas áreas de encosta, onde o relevo mais íngreme facilita o recebimento da luz solar, as espécies não necessitam ter um crescimento tão grande como nas áreas de baixada (onde a competição pela luz e as condições de drenagem e solo favorecem o aparecimento de elementos arbóreos altos, finos e com subosque mais pobre).

- Floresta Subcaducifólia Tropical: ocorre na região de planalto, após a escarpa da Serra do Mar, e está associada à diminuição da umidade. Caracteriza-se como uma floresta mais aberta do que a anterior onde a fácil penetração de luz solar favorece o aparecimento de estratos inferiores. O estrato superior, é constituído por árvores que atingem até cerca de 25 metros, abaixo do qual um segundo estrato, ainda arbóreo, apresenta elementos que alcançam de 12 a 15 metros.

2.2.5 - Clima

As características climáticas da área de estudo foram identificadas nos trabalhos de Setzer (1966) e IPT (1981).

Nas regiões das baixadas litorâneas ocorre o clima tropical super-úmido sem estação seca (mês mais seco apresenta pluviosidade acima de 60mm). As temperaturas médias são superiores a 22°C para o mês mais quente e a 18°C para o mês mais frio.

Já nas regiões de escarpas da serra do Mar e na serra do Parati (junto ao limite com o Rio de Janeiro) ocorre o clima mesotérmico úmido. Esse tipo de clima caracteriza-se pela ausência de período seco (mês mais seco apresenta pluviosidade acima de 30 mm.), e por temperaturas médias superiores a 22°C para os meses mais quentes e inferiores a 18°C para os meses mais frios.

Em direção ao planalto, nas regiões cimeiras das serras do Mar e da Bocaina ocorre um tipo climático similar ao anterior (mesotérmico úmido) mas que apresenta temperaturas mais baixas (mês mais quente apresenta médias

inferiores a 18°C).

No restante da região planáltica (da área de estudo), ocorre o clima mesotérmico com inverno seco e verão ameno. O índice pluviométrico anual varia entre 1300 e 1700 mm., e as temperaturas médias, para todos os meses, oscilam entre 10 e 22°C.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS CONCEITUAIS

Neste capítulo são discutidos os aspectos conceituais que nortearam a elaboração e execução do procedimento metodológico adotado na presente dissertação.

São apresentados quatro temas relacionados ao desenvolvimento da presente pesquisa: mapeamento geotécnico, compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e critérios interpretativos de imagens fotográficas.

Os aspectos apresentados sobre cada um desses temas são resultantes de processos de síntese, sistematização, redefinições e deduções a partir da análise da bibliografia relativa a tais temas.

3.1 - Mapeamento Geotécnico

3.1.1 - Generalidades

O desenvolvimento do mapeamento geotécnico tem se dado principalmente no campo de atuação da Geotecnia e dentro deste mais especificamente junto à Geologia de Engenharia.

A Geotecnia pode ser considerada como o conjunto de técnicas de análise e aplicação de informações geológicas de interesse à engenharia bem como das propriedades mecânicas de solos e rochas ou, em outras palavras, a Geotecnia engloba os campos de estudo da Geologia de Engenharia, da Mecânica de Solos e da Mecânica de Rochas.

As duas últimas, conforme apresentado por Leinz e Leonardo (1970) citado por Salomão (1985) estudam respectivamente: "a constituição e propriedades físicas do solo (lato sensu) e dos sedimentos incoerentes com o fim da sua aplicação na Engenharia Civil" e, a "investigação e caracterização das propriedades físicas e comportamento mecânico das rochas" em função das solicitações das obras de engenharia.

Em relação a Geologia de Engenharia, há uma tendência atual de que esta deve preocupar-se antes com o entendimento dos processos e fenômenos geológicos (responsáveis pela evolução do meio físico) de modo a subsidiar as atividades da Engenharia, e depois,

subordinadamente, utilizar-se das abordagens quantificadoras das ciências da Engenharia como uma forma de verificação de seus modelos de evolução e comportamento do meio físico.

Tal fato é justificado em função de que o desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil se deu principalmente (até meados da década de setenta) junto à Engenharia Civil, o que fez com que o geólogo atuante nessa área adquirisse, em demasia, um caráter quantificador resultante de sua especificação no campo da Engenharia Civil e suas disciplinas (Mecânica de Solos, Mecânica de Rochas, etc.)

Nessa forma atual de encarar a função da Geologia de Engenharia é que se enquadram as atuais conceituações propostas para o termo como por exemplo a de Santos (1989), o qual apresenta uma definição minuciosa que termina sintetizando: "o escopo moderno e geral da Geologia de Engenharia está em viabilizar tecnicamente a harmonização das mais diversas formas de uso e ocupação do solo com as características e os processos geológicos naturais ou induzidos, de forma que as ações humanas dessa ordem sejam inteligentes e provedoras da qualidade da vida no planeta".

Já em artigo do Jornal da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1990) notificando a proposta de novo estatuto da IAEG (International Association of Engineering Geology) destaca-se a seguinte definição como constando do estatuto proposto: "Geologia de Engenharia é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de Engenharia e Meio Ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia da Terra e os trabalhos e atividades do homem, bem como, à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos".

Dessa forma, observa-se que o campo de atuação da Geologia de Engenharia, não inclui apenas a interface com a Engenharia Civil, mas também todos os tipos de relacionamento entre atividades humanas e o meio físico geológico. Quanto a sua forma de ação, deve estar orientada tanto no sentido de subsidiar tecnicamente as diversas atividades humanas (agricultura, engenharia civil, etc) como também o planejamento das diversas formas de intervenção, influenciando essa planificação com base na análise do meio físico.

Paralelamente a esse movimento de reavaliação das funções de Geologia de Engenharia, começam a surgir termos novos como Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento. Tais nomenclaturas apresentam-se ainda em processo de discussão, seja quanto a denominação seja quanto a determinação de seus campos de abrangência e atuação, como

pode ser visto em Prandini (1976), Prandini et al. (1976), Cottas (1984).

De uma maneira geral, as proposições mostram uma tendência em situar a Geologia Ambiental como a ciência preocupada em solucionar os problemas decorrentes da interação homem versus ambiente geológico, e a Geologia de Planejamento como a que se preocupa em recomendar as melhores formas de intervenção humana no meio físico com base nas características desse meio. Assim, em se aceitando tais proposições, à Geologia de Engenharia caberia atuar no sentido do levantamento e interpretação das características do meio físico, com vista a subsidiar a ação das outras.

Independente a tais questões conceituais, e inserido nesse enfoque moderno do estudo da interrelação homem versus meio físico, o mapeamento geotécnico pode ser considerado como um importante mecanismo de obtenção de informações geotécnicas e básico para estudos de análise ambiental.

3.1.2 - Definições

Diversas definições têm sido dadas à mapeamento geotécnico das quais podemos destacar as seguintes:

"...processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos e outros; tais informações deverão ser manipuladas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros. As informações devem ser manipuladas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e no final representadas em mapas, cartas e anexos descritivos, sempre respeitando os princípios básicos que regem a execução do mapeamento geotécnico." (Thomas, 1970 citado por Zuquette, 1987).

"... representação da distribuição e relações espaciais dos componentes importantes à geotecnia (características de solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geodinâmicos), refletindo a história e a dinâmica de desenvolvimento das condições geotécnicas, de forma a tornar possível a previsão e o prognóstico da interação entre obra e ambiente." (IAEG).

"... importante mecanismo de estudo ambiental, o qual consiste de uma série de procedimentos que envolvem fotointerpretação, inventário, trabalhos de campo,

análises e ensaios químicos e físicos, etc., executados com o objetivo de se obter informações de caráter geotécnico, as quais possam ser apresentadas de forma a constituírem subsídio para fins de planejamento, ocupação e monitoramento do meio físico, bem como a implementação de obras de engenharia civil, mineração e zoneamento agro-silvo-pastoril." (Vedovello e Mattos, 1990).

3.1.3 - Tipos de mapeamento geotécnico

Com o intuito de se obter as informações geotécnicas, uma grande quantidade de metodologias têm sido desenvolvidas pelos mais diversos países e/ou instituições. Zuquette (1987) realizou amplo estudo de várias dessas metodologias chegando a conclusão de que as mesmas poderiam ser separadas em dois grandes grupos em relação a finalidade a que se propõem: metodologias de mapeamento geotécnico de uso geral e metodologias de mapeamento geotécnico de uso específico. Pode-se caracterizá-las da seguinte forma:

-metodologias de mapeamento geotécnico de uso geral: são empregadas para a obtenção e sistematização de informações geotécnicas básicas, úteis para diferentes fins. Tais informações podem ser apresentadas desde escalas regionais até escalas mais detalhadas. Esse caráter de uso geral sugere a sua utilização para subsidiar estudos de planejamento do uso do meio físico.

-metodologias de mapeamento geotécnico de uso específico: são desenvolvidas com o intuito de obter informações geotécnicas específicas e úteis a um fim determinado. Em geral, tais mapeamentos são realizados em escalas mais detalhadas e seu uso mostra-se restrito a uma forma específica de intervenção humana.

Com base nas características expostas torna-se lógica a identificação do mapeamento geotécnico de uso geral como mais adequado para embasar estudos de planejamento do meio físico, uma vez que sua cartografia constitui um instrumento prático para embasar a seleção de áreas mais viáveis (para fins específicos) as quais seriam, só então, investigadas com maior detalhe e com base em fatores geotécnicos específicos.

Em relação ao mapeamento geotécnico de uso geral, importantes contribuições metodológicas podem ser identificadas nas propostas da IAEG, Sanejouand (1972), PUCE - Patterns Units Components Evaluation (Grant, 1974), Zuquette (1987), ex-URSS, entre outras.

A análise dessas metodologias de mapeamento

geotécnico de uso geral permite identificar dois tipos básicos de procedimentos metodológicos para a obtenção do mapeamento.

Assim, metodologias como as da PUCE, da IAEG e da ex-URSS constituem, em linhas gerais, sistemas de classificação de terrenos baseados em princípios geomórficos (características geomorfológicas, dos solos, da vegetação e da geologia). Suas etapas de execução envolvem a caracterização dos componentes do terreno (relevo, solos, vegetação, litologia), análise da interrelação entre esses componentes e os fatores exógenos do meio físico, delimitação de classes de área do terreno (para as quais identificam-se as condições geotécnicas) e previsão da influência decorrente da ação antrópica nas unidades delimitadas.

Já metodologias como a francesa (Sanejouand, 1972) e a proposta por Zuquette (1987) caracterizam-se pela análise em separado dos diversos "atributos" do meio físico. Em tais metodologias o mapeamento geotécnico compreende a obtenção de um conjunto de cartas dos diferentes atributos investigados. Essas cartas são analisadas diferenciadamente (atribuição de pesos) em relação ao tipo de aplicação desejado, dando origem a uma coleção de cartas de aptidão em relação aos diversos tipos de uso e ocupação previstos.

Da análise geral das metodologias, apesar das características peculiares de cada uma, dois pontos principais podem ser identificados para a realização de um mapeamento geotécnico de uso geral. Um refere-se a análise dos elementos ou das formas de ocorrência dos elementos componentes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, etc.), com o objetivo de se obter informações de interesse geotécnico. O outro diz respeito a representação do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas. A forma de analisar e representar as informações referentes ao mapeamento geotécnico vai depender da finalidade a que se dipõem os mapeamentos.

3.1.4 - Zoneamento geotécnico

Conforme se pode observar em Zuquette (1987) existem duas formas de representação cartográfica dos mapeamentos geotécnicos de uso geral: mapas de condições geotécnicas e mapas de zoneamento geotécnico. Os primeiros são os mais comuns, embora os últimos apresentem as informações das condições geotécnicas de uma forma mais simples e objetiva, facilitando assim sua utilização por usuários leigos.

Em linhas gerais, o zoneamento geotécnico consiste na delimitação de áreas (zonas) do terreno, nas

quais os elementos componentes do meio físico por elas compreendidos determinem condições geotécnicas semelhantes, e para as quais um comportamento geotécnico ou uma aptidão de uso possam ser indicados frente as diferentes atividades antrópicas.

Assim, uma etapa fundamental do zoneamento geotécnico reside na compartimentação do meio físico em função da identificação e análise de alguns de seus elementos.

Entretanto, visando efetivar o zoneamento geotécnico não basta compartimentar o terreno. É necessário também, caracterizar as áreas resultantes da compartimentação em função de suas características e propriedades geotécnicas, de modo que essas áreas possam ser analisadas e/ou classificadas segundo sua aptidão às diferentes formas de intervenção humana.

Portanto, para a obtenção de um zoneamento geotécnico são identificadas duas etapas básicas: compartimentação fisiográfica (para a divisão do terreno) e caracterização geotécnica (determinação das características e propriedades geotécnicas das áreas delimitadas). A integração dessas duas etapas (em uma etapa posterior) vai constituir o zoneamento geotécnico.

3.2 - Compartimentação Fisiográfica

3.2.1 - Generalidades

A utilização de técnicas de compartimentação fisiográfica pode ser identificada nos mais diferentes trabalhos que versam sobre a avaliação de terrenos (para fins determinados) ou sobre o seu monitoramento.

O desenvolvimento das técnicas de compartimentação teve início a partir de trabalhos pioneiros tais como os de Hebertson (1905) e Fenneman (1916) citados por Zuquette (1987). Esses trabalhos apresentavam o terreno dividido em várias unidades, sendo que cada uma apresentava homogeneidade segundo diferentes aspectos fisiográficos. Assim, uma unidade poderia ser determinada em função de um aspecto específico da vegetação (uma determinada floresta por exemplo) enquanto uma segunda unidade seria determinada por uma característica de um elemento fisiográfico de outra natureza (ou geológico, ou de relevo, etc); e isso independente da ocorrência de variações (dos demais elementos fisiográficos) internas às unidades determinadas.

A partir desses trabalhos iniciais começa a surgir uma preocupação em sistematizar, de uma maneira mais

coerente, os métodos de compartimentação do terreno.

A primeira tentativa é atribuída à Bourne (1931) e Unstead (1933), os quais introduzem o termo paisagem como critério para a compartimentação do meio físico, reunindo em uma determinada "unidade de paisagem" as diferentes formas de ocorrência dos elementos fisiográficos em uma dada "área topográfica".

Já Christian e Stewart (1953) são apontados (Ackerson e Fish, 1980; Zuquette, 1987) como os responsáveis pela utilização de critérios de compartimentação baseados na origem geomórfica comum. Esses critérios (variáveis de trabalho para trabalho) apoiam-se no princípio de que terrenos com aspectos fisiográficos similares e história tectônica e climática parecidas, deveriam apresentar comportamento semelhante.

A utilização de técnicas de divisão do terreno pelas diferentes áreas de pesquisa provocou o aparecimento de um grande número de metodologias de compartimentação. Essas metodologias diferem entre si em função de especificidades determinadas por fatores tais como a área de estudo, o objetivo da compartimentação e o "instrumento" utilizado (sensoriamento remoto, trabalhos de campo, cartas temáticas pré-existent), etc..

Entre as diversas áreas que se utilizam das técnicas de compartimentação do terreno (com base na análise da fisiografia como um todo) devem ser destacadas como relevantes no desenvolvimento dos métodos de compartimentação, a geologia de engenharia (através das metodologias de mapeamento geotécnico), a pedologia (através da determinação de unidades geopedológicas para fins tanto de engenharia como para a agricultura) e a ecologia (em estudos de análise e monitoramento ambiental).

Independente da área considerada, nota-se que os princípios que embasam o desenvolvimento das diferentes metodologias são ora adaptações da proposta de Bourne (1931) e Unstead (1933) ora da de Christian e Stewart (1953) ora ainda conjunções de ambas.

A ocorrência de tal diversidade de metodologias bem como as diferenças de enfoque de cada área de pesquisa, propiciaram uma proliferação de termos e critérios de compartimentação, que tem dificultado a elaboração de uma sistemática comum a ser utilizada em trabalhos de compartimentação fisiográfica.

Assim, é comum a ocorrência de termos diferentes utilizados com sentido similar bem como a utilização de um mesmo termo com sentido diverso.

Tal fato pode ser exemplificado pela análise dos termos fisiografia e paisagem.

Fisiografia muitas vezes é utilizada como sinônimo de geomorfologia, fisiogeografia, geomorfogênia, etc. e segundo Guerra (1987) deveria ser tratada apenas como geomorfologia.

Já outros autores como Goosen (1971) e Botero (1978) consideram fisiografia como "geografia de solos" a qual teria como objeto de estudo tanto as características internas dos solos (pedologia) como os fatores externos ao solo (clima, relevo, organismos vivos, etc.) que regem sua gênese e evolução.

Entretanto, analisando-se os diversos significados atribuídos ao termo, bem como a etimologia da palavra (do grego physis - natureza e graphos - descrição), optou-se por considerar, no presente trabalho, fisiografia como referindo-se a descrição e/ou análise das formas dos elementos componentes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, vegetacionais, etc.).

Já em relação ao termo paisagem observa-se que muitas vezes é utilizado com o mesmo sentido de fisiografia. Entretanto, verifica-se uma certa tendência em utilizá-lo como referindo-se a uma "parte" (ou ao conjunto) do meio físico onde atuam determinados processos dinâmicos (fenômenos climáticos, fenômenos geológicos, atividades biológicas, etc.) que regem sua evolução. Seria então um termo mais geral para se referir a um local do meio físico e não especificamente à morfologia dos elementos desse meio.

No presente trabalho utiliza-se paisagem segundo esse conceito.

3.2.2 - Conceituação

Em linhas gerais, uma compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a determinação de "classes" de unidades fisiográficas que englobam outras (em escalas maiores) ou por outras são englobadas (em escalas menores).

A classificação hierárquica entre classes de unidades, quando determinada por uma relação natural específica (de natureza genética por exemplo), é referida como taxonômica. Quando essa classificação é determinada

apenas em função de escala e finalidade adotou-se o termo classificação cartográfica.

Em relação à compartimentação propriamente dita, observa-se que ela é efetuada através da análise dos elementos componentes do meio físico (que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetacional, etc.), e da identificação de aspectos locais desses elementos ou seja, das suas formas de ocorrência (por exemplo: granito ou gnaisse; morrotes ou colinas; florestas ou cerrados; etc).

A análise da forma de ocorrência dos elementos componentes do meio físico (ou elementos fisiográficos) vai depender ainda do nível taxonômico e/ou cartográfico considerado; assim, para elementos de natureza geológica por exemplo, pode se considerar o tipo litológico em uma escala mais detalhada ou o "grupo" geológico em uma escala mais geral.

Com referência ainda a compartimentação fisiográfica observa-se que dependendo do nível hierárquico considerado (taxonômico ou cartográfico) há predomínio de determinados elementos fisiográficos sobre outros como critério ou fator de compartimentação. Tal fato é justificado em função de que para um dado desses níveis as variações fisiográficas significativas podem estar associadas à variações na forma de ocorrência de um ou alguns determinados elementos fisiográficos.

Assim, embora admita-se que a compartimentação fisiográfica seja realizada a partir da análise de todos os elementos do meio físico, na prática tal compartimentação é efetuada analisando-se um ou alguns dos elementos responsáveis pelas variações fisiográficas significativas em um dado nível hierárquico. Tal procedimento é aceitável uma vez que, conforme cita Maretti (1989), as propostas de compartimentação partem do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico. Logo, a escolha de um ou alguns desses elementos serve para a identificação de unidades onde ocorrem associações específicas das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos, que é o objetivo da compartimentação fisiográfica.

Em relação à hierarquia entre classes de unidades fisiográficas pode-se identificar na literatura uma grande diversidade de classificações. Essa diversidade refere-se tanto a utilização de nomenclaturas diferentes para os diversos níveis hierárquicos como a consideração de diferentes fatores de compartimentação para os diferentes níveis determinados, e são ocasionadas por aspectos diversos tais como: peculiaridades locais das áreas de estudo, finalidade da compartimentação, "instrumentos" de análise,

etc.

No apêndice 1 são mostrados exemplos de classificações de terrenos (propostas pela PUCE e IAEG) bem como os respectivos fatores de identificação. Observa-se que em relação a proposta da IAEG são apresentadas duas classificações: uma referente à análise dos elementos fisiográficos, a outra relacionada à homogeneidade litológica, genética e física desses elementos.

3.2.3 - Compartimentação fisiográfica por sensoriamento remoto

Os produtos de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para a realização de compartimentações fisiográficas, uma vez que constituem "objetos" concretos (refletindo a organização espacial do meio físico) sobre os quais é possível se traçar limites.

A utilização do sensoriamento remoto para esse fim tem se dado normalmente através da identificação de formas da paisagem (em geral do relevo) previamente conhecidas e reconhecidas na imagem pelo fotointérprete. Tal procedimento, realizado geralmente em fotografias aéreas, depende assim de um conhecimento prévio das formas da paisagem que se vai individualizar bem como das características texturais associadas a essas formas.

Entretanto, visando estabelecer uma metodologia de compartimentação, em especial em imagens de satélite, o uso de um método sistemático de fotointerpretação é desejado. A utilização de tal método através da análise de elementos texturais, só mais raramente tem sido observada, e mesmo assim quando empregado, refere-se quase sempre a divisão do terreno segundo um único elemento fisiográfico.

Como exemplo de utilização do método sistemático para compartimentações fisiográficas em imagens de satélite pode-se citar os trabalhos de Oliveira et al. (1989) e Oliveira (1989), onde a partir da análise das propriedades dos elementos texturais são identificadas "unidades fisiográficas" (relacionadas à grandes feições do terreno tais como planícies, pediplanos e planaltos) e "unidades de paisagem" (onde as formas anteriores são subdivididas em função de posição relativa, tipologia das vertentes, etc). Nesses trabalhos, apesar de a compartimentação refletir formas de relevo, observa-se implicitamente a utilização do princípio de que as unidades delimitadas encerram uma associação específica de aspectos fisiográficos com destaque maior para a associação relevo-material de alteração.

Um outro aspecto que deve ser destacado na realização de compartimentações fisiográficas em produtos de sensoriamento remoto refere-se à avaliação dos limites de unidades fisiográficas definidas por fotointerpretação, avaliação essa que é feita pela análise da homogeneidade e da similaridade das unidades.

A análise da homogeneidade consiste em se verificar a existência de heterogeneidades internas, nas unidades, que justifiquem sua redivisão através de novos limites. Já a análise da similaridade consiste em se verificar se existem unidades com características e/ou propriedades semelhantes e que devam ser classificadas sob a mesma denominação. Caso as unidades identificadas como similares sejam adjacentes o limite entre elas deve ser removido.

Observa-se que a separação de duas unidades similares adjacentes pode ocorrer devido a diferenças no arranjo dos elementos componentes das unidades, e sua classificação final como uma mesma unidade (pela verificação da similaridade) é justificada em razão de que as diferenças na forma de ocorrência desses elementos não refletem variações significativas das propriedades e ou características que estão sendo investigadas.

Deve-se destacar que a avaliação de limites pode ser feita tanto qualitativa como quantitativamente. Como exemplo de avaliação quantitativa pode-se citar os trabalhos de Ackerson e Fish (1980) e Vedovello e Mattos (1990). Os primeiros estabelecem um procedimento com base na análise dos elementos fisiográficos que constituem as unidades determinadas em fotografias aéreas. Os segundos fazem uma adaptação desse procedimento, realizando a análise com base nas propriedades da forma dos elementos texturais de imagens e possibilitando assim sua utilização em compartimentações efetuadas por métodos sistemáticos de fotointerpretação.

No presente trabalho, a avaliação de limites foi feita através da análise qualitativa da homogeneidade e similaridade, verificando-se entretanto os mesmos princípios estabelecidos para esses aspectos (homogeneidade e similaridade). Os critérios utilizados nessa análise qualitativa são apresentados no item 4.2, no capítulo sobre procedimento metodológico.

3.2.4 - Princípio utilizado

A realização da compartimentação fisiográfica no presente trabalho (através da interpretação de imagens de uma maneira sistemática) teve como princípio a seguinte consideração:

- Os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que regem a sua evolução. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando assim diferentes paisagens. Essas paisagens específicas refletem na imagem texturas também específicas e que são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais.

Assim, a identificação de diferentes zonas homogêneas na imagem corresponde a identificação de diferentes áreas do meio físico, onde ocorrem uma associação determinada dos elementos componentes desse meio. Observa-se que em função da escala, um determinado elemento fisiográfico, ou por conseguinte textural pode ser suficiente para a determinação de unidades fisiográficas, desde que tal elemento seja o fator determinante das variações significativas investigadas.

Destaca-se entretanto que, apesar da compartimentação ser feita com base em um ou alguns desses elementos, as unidades individualizadas refletem uma parte da paisagem onde ocorre uma dada associação dos diversos elementos componentes do meio físico e não a ocorrência apenas do elemento analisado. Assim uma unidade de compartimentação pode ser analisada segundo qualquer fator que tenha contribuído para a sua formação, e torna-se uma unidade básica para os diferentes tipos de estudos sobre o meio físico.

3.3 - Caracterização Geotécnica

3.3.1 - Conceituação

Conforme apresentado no item 3.1.4, para a obtenção de um zoneamento geotécnico não basta dividir o terreno em função de sua fisiografia, mas é preciso ainda caracterizar as unidades de compartimentação em função de propriedades e características de interesse geotécnico.

Neste sentido pode-se considerar a caracterização geotécnica como um conjunto de procedimentos realizados com o objetivo de se obter dados (propriedades e

características) geotécnicos sobre as unidades de compartimentação, dados esses que sejam básicos para a análise dessas unidades segundo o uso a que se destinem.

Os dados geotécnicos analisados podem ser de natureza diversa e representar tanto características da área individualizada como propriedades dos materiais que compõem essa área.

Com base na análise da bibliografia sobre mapeamento geotécnico é possível identificar uma série de dados geotécnicos utilizados para caracterizar (geotecnicamente) o meio físico. Como exemplo desses dados podem ser citados os seguintes: erodibilidade, permeabilidade, declividade, etc.

Observa-se que a escolha de quais dados geotécnicos devem ser analisados é feita com base no objetivo do mapeamento e pelas peculiaridades das metodologias utilizadas. Assim para a elaboração de um zoneamento geotécnico de uso geral a caracterização geotécnica deveria ser feita obtendo-se todos os dados básicos para subsidiar as mais diversas finalidades. Para isso seria necessário um levantamento detalhado de todos os dados de interesse geotécnico e uma análise criteriosa visando identificar quais desses dados possam ser considerados básicos em face aos diferentes tipos possíveis de uso dos mapeamentos geotécnicos.

Se se considerar entretanto um fim específico, pode-se caracterizar as unidades de compartimentação em função apenas dos dados geotécnicos considerados básicos para esse fim.

3.3.2 - Aquisição de dados geotécnicos

Em relação à aquisição dos dados geotécnicos, diversos são os procedimentos que podem ser utilizados para adquiri-los. Neste sentido pode-se destacar os seguintes:

- ensaios de laboratório: são realizados em materiais do terreno, geralmente solos e rochas, visando determinar propriedades físicas, químicas e mecânicas específicas desses materiais as quais determinam as propriedades e características geotécnicas de interesse;

- ensaios "in situ": referem-se a realização de ensaios e testes no campo, os quais vão permitir a obtenção de informações sobre os dados geotécnicos que se deseja obter;

- inferências a partir de elementos fisiográficos: consiste em identificar elementos fisiográficos que compõem uma dada área e para os quais se possam inferir determinadas propriedades e/ou características geotécnicas. Assim, em se conhecendo por exemplo um elemento fisiográfico de natureza geológica (uma determinada litologia) e um outro de natureza geomorfológica (forma de relevo) seria possível inferir sobre o tipo de material do manto de alteração de uma dada unidade analisada;

- inferências a partir de outros dados: consiste em se obter os dados geotécnicos por correlação com dados de outra natureza, tais como dados de sensoriamento remoto, dados geoquímicos, etc. Como exemplo pode-se citar a estimativa da permeabilidade (dado geotécnico) por correlação com a densidade de elementos texturais de drenagem (dado de sensoriamento remoto).

Considerando-se os objetivos do presente trabalho a discussão a seguir referir-se-á a obtenção dos dados geotécnicos por sensoriamento remoto.

3.3.3 - Caracterização geotécnica por sensoriamento remoto

A obtenção de dados geotécnicos à partir de dados de sensoriamento remoto é feita à partir da correlação entre as propriedades texturais da imagem e propriedades e ou características de interesse geotécnico. Vide item 3.4.3.

Diversas dessas correlações têm sido discutidas com frequência na literatura, conforme se pode identificar nos trabalhos de Soares e Fiori(1976) e Veneziani e Anjos (1982) entre outros.

Trabalhos que podem ser destacados, por tratarem da correlação entre dados de interesse geotécnico e dados de imagens de satélite, são os de:

- Oliveira et al.(1989) e Oliveira (1989), onde os perfis das encostas, determinados pela interpretação de imagens, são associados à propriedades de seus materiais de cobertura de alteração tais como coesão, plasticidade e granulometria;

- Riedel et al. (1989), Riedel (1988), Mattos e Jiménez (1991)), nos quais são avaliadas as relações existentes entre as características espaciais e espectrais (nas imagens) das diferentes coberturas de alteração com suas respectivas propriedades químicas e físicas (porosidade, limites de attemberg, índices de alteração intempérica, etc.) as quais relacionam-se ao comportamento dinâmico

dos elementos dos solos e rochas.

Em relação a este último grupo de trabalhos destaca-se que os autores basearam-se no princípio de que a ação intempérica acarreta mudanças tanto na composição química como nas propriedades físicas das rochas, e que isso gera coberturas de alteração distintas com comportamentos espaciais e espectrais distintos. Estes por sua vez relacionam-se às características dos produtos de sensoriamento remoto tais como textura fotográfica e valores de níveis de cinza. Com base nessas considerações, informações texturais das imagens (obtidas por fotointerpretação) foram confrontadas com informações sobre as propriedades físico-químicas das coberturas de alteração (obtidas em ensaios laboratoriais de amostras de solos).

A análise dos resultados desses trabalhos mostrou que existe uma correlação entre as variações das propriedades físico-químicas dos materiais das coberturas, e variações nas características e propriedades das imagens de satélite (níveis de cinza, densidade de elementos texturais, etc.).

Em relação a presente dissertação, optou-se por realizar a caracterização geotécnica através da obtenção de dados geotécnicos a partir da análise de propriedades dos elementos texturais das imagens, uma vez que o objetivo central consiste em se chegar ao zoneamento geotécnico através de técnicas de sensoriamento remoto. Destaca-se entretanto que a caracterização geotécnica (de unidades fisográficas) por correlação com índices de alteração (associáveis à propriedades geotécnicas) pode ser uma forma com grande potencial para esses tipos de estudos, devendo ser investigada com mais detalhe em futuros trabalhos.

Destaca-se por fim que os dados geotécnicos investigados e sua relação com propriedades texturais das imagens são apresentados no item 4.3, no capítulo sobre procedimento metodológico. Esses dados, quando utilizados para classificar as unidades de compartimentação em função das classes geotécnicas (classes de aptidão/restrições à ocupação urbana), foram referidos como fatores geotécnicos.

3.4 - Critérios Interpretativos de Imagens Fotográficas

3.4.1 - Generalidades

Os dados obtidos por sistemas de sensoriamento remoto são registrados tanto em filmes fotográficos como em fitas magnéticas, o que permite que sua análise seja feita tanto em imagens fotográficas como em produtos digitais.

Considerando-se que o produto utilizado para interpretação no presente trabalho foi uma imagem fotográfica, as considerações a seguir referir-se-ão às técnicas de interpretação para imagens fotográficas.

Conforme se pode observar na literatura sobre o tema, os procedimentos de fotointerpretação têm sido realizados em geral, de uma forma assistemática e comparativa, dependendo assim de um conhecimento prévio (pelo fotointérprete) das características texturais da imagem associadas às diferentes feições da paisagem.

Entretanto, a utilização de um procedimento sistemático de fotointerpretação é recomendável uma vez que ao apresentar os "passos" que devam ser seguidos no processo de análise das feições na imagem, permite que esse procedimento possa ser repetido por outros intérpretes ou aplicado em outras áreas de maneira similar.

Segundo Soares e Fiori (1976), o desenvolvimento de um procedimento sistemático de fotointerpretação tem origem nas pesquisas de Guy (1966) e Riverau (1972). A partir de então uma série de trabalhos tem tratado o assunto tais como os de Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982), entre outros.

Na presente pesquisa a terminologia utilizada e a sistemática de fotointerpretação foram definidas com base nos trabalhos citados. Entretanto foram feitas uma série de adaptações, incluindo redefinições de termos e conceitos, as quais visaram atender as peculiaridades do procedimento adotado. Os conceitos e definições utilizados são apresentados no item a seguir.

Observa-se que as alterações apresentadas em relação aos procedimentos sistemáticos usuais poderão contribuir, através de futuras discussões, para aperfeiçoar ou até mesmo reafirmar os critérios de fotointerpretação de imagens fotográficas.

3.4.2 - Definições e Conceitos

Em linhas gerais a interpretação e delimitação de zonas homogêneas em imagens fotográficas foi feita considerando-se a "geneidade", a "tropia" e a "simetria" dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem.

Como "geneidade" compreende-se a ocorrência em uma dada área de propriedades texturais constantes (homogeneidade) ou não (heterogeneidades). Já a "tropia" refere-se à existência (anisotropia) ou não (isotropia) de

feições texturais orientadas. Finalmente "simetria" diz respeito a igualdade (simetria) ou não (assimetria) das propriedades texturais de áreas situadas em lados opostos de uma determinada linha ou feição textural na imagem.

Em relação a elemento de textura, observa-se que, segundo definição de Soares e Fiori (1976), é a menor superfície contínua e homogênea que se pode distinguir na imagem e passível de repetição, podendo ser por exemplo: uma árvore, um segmento de drenagem ou de relevo. A maneira de arranjo desses elementos texturais é denominado textura.

Já como estrutura considerou-se a organização espacial ordenada dos elementos texturais. Assim alinhamento (disposição alinhada de elementos texturais) constitui uma estrutura na imagem.

A análise da "geneidade", "tropia" e "simetria" que condicionam a textura na imagem permite a compartimentação da cena em áreas que apresentem "disposição espacial de elementos texturais com propriedades comuns" (forma), permitindo então a caracterização de zonas homogêneas.

Em relação à caracterização de zonas homogêneas, destaca-se que são melhor definidas através das propriedades da forma, que são:

- tipo de elemento de textura: define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.

- densidade de textura: refere-se a quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa a densidade textural é normalmente descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.

- arranjo textural: refere-se a maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. Assim a análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retângular ou dendrítico ou anelar, etc.;

- grau de estruturação: refere-se a maior ou menor evidência ou definição da organização espacial dos elementos texturais (em função do seu arranjo textural). Esta propriedade pode ser qualificada em classes tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido,

bem definido, etc.

- ordem de estruturação: refere-se a complexidade de organização dos elementos texturais. Assim sua classificação é dada em função da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorre apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrem dois tipos superimpostos), e assim por diante.

Em relação à delimitação de zonas homogêneas, os limites entre elas podem ser dos seguintes tipos:

- nítido: quando o limite coincide com uma forma linear determinada por rupturas de declive;
- gradativo: quando as características de uma zona vão sendo substituídas gradativamente pelas características de outra; e
- difuso: quando individualiza uma área com características texturais comuns sem se observar um limite nítido nem uma transição gradativa para as características de uma outra zona.

Finalmente, observa-se que uma estrutura na imagem (conforme utilizada neste trabalho) constitui muitas vezes (e não os elementos texturais propriamente ditos) o critério utilizado para a análise, interpretação e definição de zonas homogêneas. Assim, a análise de estruturas na imagem, apresenta grande importância na individualização das referidas zonas.

3.4.3. - Relação entre propriedades texturais da imagem e propriedades dos alvos

A textura na imagem reflete as características e propriedades dos materiais que são imageados ou seja, existem fatores relacionados ao alvo que controlam a textura. Logo, existe um certo relacionamento entre as propriedades texturais da imagem e as propriedades e características do alvo, o que permite que sejam feitas inferências (a partir da análise da imagem) sobre o alvo investigado.

A inferência das propriedades dos alvos à partir da análise da textura é feita estabelecendo-se uma relação entre certas propriedades de determinado elemento textural e a propriedade do alvo que se deseja analisar.

Como exemplo pode-se mostrar a relação entre permeabilidade e elementos texturais de drenagem. Assim, para uma área com mesmo índice pluviométrico, a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de elementos texturais, ou seja, uma zona que apresente (relativamente a outra) maior

densidade textural de drenagem, possui permeabilidade mais baixa.

Em relação aos fatores que controlam a textura (e estrutura) da imagem, os seguintes podem ser destacados:

- fatores morfogênicos: são os fatores responsáveis pela modelagem das formas de relevo e drenagem tais como o clima, a tectônica, a dinâmica de superfície e sua ação construtiva ou destrutiva, etc.;

- fatores litológicos: são aqueles relacionados às propriedades físico-químicas dos materiais rochosos e ou de seu manto de alteração. Como exemplo pode-se destacar: erodibilidade, permeabilidade, plasticidade/ruptibilidade, etc.;

- fatores deformacionais: correspondem à feições expressas no relevo e drenagem, e resultantes de deformações impostas ao material rochoso tectônica ou atectonicamente. Como exemplo pode-se citar: foliações, acamamentos, fraturamento;

Outros fatores que podem ser mencionados por controlarem a textura fotográfica, referem-se à feições da paisagem relacionadas à vegetação natural e às atividades antrópicas. Essas feições são registradas na imagem com formas específicas determinadas por variações tonais. Como exemplo pode-se destacar a identificação de áreas agrícolas as quais refletem textura característica na imagem.

CAPÍTULO 4PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento adotado na execução deste trabalho pode ser subdividido em quatro fases principais, as quais são apresentadas a seguir e podem ser identificadas no diagrama da figura 4.



Figura 4 - Fluxograma de execução da pesquisa.

4.1 - 1ª Fase: Pesquisa Preliminar

Nesta etapa foram executadas atividades que visavam a aquisição e análise de dados pré-existentes sobre a fisiografia e aspectos sócio-econômicos da área de estudo.

Procedeu-se então a caracterização da área (capítulo 2) realizando-se um trabalho de campo para reconhecimento preliminar das informações levantadas, bem como para a identificação dos principais fenômenos geodinâmicos ocorrentes na região.

Esse trabalho de campo preliminar foi acompanhado de um sobrevôo sobre a área do município de Ubatuba para uma visão de conjunto da fisiografia e aspectos sócio-econômicos.

Paralelamente a esses estudos iniciais foram selecionados e adquiridos os produtos de sensoriamento remoto. A escolha desses produtos foi feita com base em suas características intrínsecas (azimute, ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, etc.) e nas da área de estudo (fisiografia, clima, etc.)

Assim procurou-se a cena (TM-Landsat) disponível que melhor atendesse as condições ideais para a interpretação geotécnica.

Escolheu-se uma passagem no período mais seco (inverno na região) para evitar a cobertura de nuvens. Procurou-se também uma cena com azimute aproximadamente perpendicular às estruturas geológicas principais e com ângulo de elevação solar um pouco superior ao convencionalmente utilizado em estudos fisiográficos para diminuir o efeito excessivo de sombreamento já que a área, em grande parte, caracteriza-se por um relevo bastante acidentado, o que dificultaria (para ângulos de elevação solar mais baixos) uma extração adequada dos elementos de interpretação da imagem.

Os produtos do TM-Landsat utilizados foram adquiridos em: papel na escala 1:100000 (visando a extração de informações e servindo como base para a elaboração da cartografia final); e transparências positivas (obtidas na escala 1:1000000, com a finalidade de ser ampliada no projetor PROCON) visando a compatibilização dos dados pré-existentes (adquiridos em diversas escalas).

Utilizou-se uma cena com órbita/ponto 218/76S obtida em 20/08/88. Essa cena apresenta azimute 051° e ângulo de elevação solar de 38° .

Previu-se inicialmente também a aquisição de imagens Spot na escala 1:50000 para serem utilizadas auxiliariamente na extração de informações. Entretanto não foi possível a aquisição de uma cena com a devida qualidade (ausência de coberturas de nuvens) de modo que as mesmas foram substituídas por fotografias aéreas na escala 1:45000 obtidas pela Terrafoto S/A em 1977.

As bandas da cena TM-Landsat utilizadas foram 3, 4, e 7 bem como uma composição colorida com as bandas 4, 5 e 7 (associadas respectivamente às cores vermelho, verde e azul). A interpretação visual, visando a realização das segundas e terceiras fases, foi realizada basicamente na banda 4. As demais bandas e a composição colorida bem como as fotografias aéreas foram utilizadas auxiliariamente para a demarcação de limites fotointerpretativos de difícil caracterização na banda 4.

A banda 3 e as fotografias aéreas foram utilizadas ainda na orientação dos trabalhos de campo. Utilizou-se também cartas topográficas do IBGE na escala 1:50000 e reduções destas em transparências na escala 1:100000. As cartas utilizadas foram: São Luís do Paraitinga, Natividade da Serra, Caraguatatuba, Lagoinha, Ubatuba, Ilha Anchieta, Cunha, Picinguaba, Parati e Juatinga.

4.2 - 2ª Fase: Compartimentação Fisiográfica

A compartimentação da área consistiu em identificar na imagem divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos de classificação relacionados às condições morfoambientais e genéticas da região.

Foram estabelecidos informalmente quatro níveis taxonômicos: Província, Zona, Subzona e Unidade. Esses níveis foram determinados com base na nomenclatura comumente utilizada nos trabalhos de compartimentação (que entretanto são bastante variáveis) bem como em divisões fisiográficas já existentes na região (Almeida, 1964; IPT, 1981), sofrendo as devidas adaptações para atender aos objetivos do presente trabalho.

A relação entre os níveis taxonômicos ora utilizados e as condições morfoambientais e genéticas são as seguintes:

-Província: a divisão em província é determinada pelas diferentes formas de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à modelagem tectono-climática a nível regional. Correspondem assim a compartimentos tectônicos atuais, os quais englobam regiões com

diversidade genética submetidas agora às mesmas condições climáticas na regência de sua evolução.

-Zona: a determinação de zonas é feita em função da forma de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à variações tectono-estruturais e de idade geológica. São então áreas correspondentes à grupos de rochas que apresentam diferenças de ordem genética e de evolução tectônica, e que portanto oferecem "resistência" diversa a modelagem tectono-climática.

-Subzona: é uma compartimentação realizada com base nas formas de ocorrência dos elementos do meio físico determinadas por diferenças litoestruturais ou de sistemas de relevo ou de processos deposicionais. Constituem então áreas definidas em função do tipo litológico, da morfologia do relevo e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica que é condicionante da modelagem das formas da paisagem.

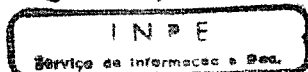
-Unidade: correspondem a unidades básicas do terreno associadas à ocorrência de "geoformas". Compreende-se como geoforma uma parte do terreno onde ocorre uma associação específica das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos que compõem a paisagem, e que são resultantes da ação dos elementos da paisagem exógenos ao meio físico (clima, ação antrópica, etc.), bem como da dinâmica de evolução e das propriedades intrínsecas (estáticas) dos elementos fisiográficos. Assim, uma geoforma apresenta litologia, forma de relevo, perfil de alteração, vegetação, etc. específicos e constantes na sua área de ocorrência.

Em relação à compartimentação propriamente dita, observa-se que a identificação dos diversos compartimentos fisiográficos foi feita com base na análise de elementos texturais (de relevo e drenagem) das imagens. Assim, identificou-se qual elemento textural e que organizações deste (forma, estrutura, etc.) definiam os diversos compartimentos e suas respectivas unidades, traçando-se os limites com base na análise da "geneidade", "tropia" e "simetria" dos elementos texturais analisados.

Com relação aos limites entre as diversas unidades de compartimentação, deve-se destacar que foram traçados preferencialmente em rupturas de declive constituindo nesses casos limites nítidos. Quando não foi possível associar os limites das unidades com formas lineares determinadas por rupturas de declive foram marcados limites gradativos e difusos (conforme o caso).

Uma vez estabelecida essa compartimentação

300841



inicial, foram verificadas a homogeneidade e a similaridade das unidades de compartimentação.

A verificação de homogeneidade foi feita com base na análise dos elementos texturais de drenagem, extraídos da imagem para um "overlay".

Foram consideradas homogêneas as áreas em que as características dos elementos texturais na unidade fossem constantes em toda a área da unidade.

Uma vez verificada a ocorrência de heterogeneidades internas nas unidades de compartimentação iniciais, estas foram redivididas.

Já a verificação da similaridade consistiu em comparar as propriedades da forma e a estrutura dos elementos texturais das diversas zonas homogêneas de cada compartimento taxonômico. Assim áreas que apresentavam propriedades texturais e/ou estruturais semelhantes foram classificadas sob a mesma denominação.

Deve-se destacar ainda que as zonas homogêneas determinadas nesta fase foram classificadas segundo um código que reflete sua classificação taxonômica. Tais unidades e os respectivos códigos podem ser vistos no capítulo 5.

Esses códigos foram constituídos por três letras maiúsculas seguidas de um algarismo e relacionam-se aos níveis taxonômicos da seguinte forma:

- 1ª letra maiúscula: refere-se à Província
- 2ª letra maiúscula: refere-se à Zona
- 3ª letra maiúscula: refere-se à Subzona
- algarismo: refere-se à Unidade

A letra utilizada em cada parte do código refere-se à denominação dada para cada compartimento, de cada nível taxonômico. Essas denominações foram dadas quando possível, com base em nomes já existentes ou refletindo alguma característica fisiográfica marcante do respectivo compartimento. Quando isto não foi possível a denominação foi dada de modo discriminativo (exemplo: A, B, C ou 1, 2, 3).

Destaca-se que as unidades resultantes do procedimento de compartimentação constituem Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) as quais podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de estudos sobre o meio físico. Observa-se que a denominação UBCs é um termo cartográfico, onde seu caráter básico é dado em função da resolução do produto utilizado para a compartimentação e por conseguinte relacionado à escala. Portanto, não deve ser confundido com Unidade que é um termo taxonômico.

As UBCs obtidas no presente trabalho, que foram determinadas na maioria dos casos até o nível taxonômico de Unidade, bem como as divisões fisiográficas dos demais níveis taxonômicos são apresentadas no mapa do Anexo 1.

Observa-se finalmente que durante esta fase do trabalho foram realizados trabalhos de campo para checagens (preliminares e final) das unidades de compartimentação. Tal checagem consistiu na observação "in situ" dos limites estabelecidos (pela fotointerpretação) para as UBCs, bem como na verificação da ocorrência ou não das características morfoambientais e genéticas determinantes dos níveis taxonômicos determinados. Foram checadas pelo menos uma área de cada tipo de UBC, escolhidos em função da facilidade de acesso.

4.3 - 3ª Fase: Caracterização Geotécnica

Nesta fase as unidades básicas de compartimentação (obtidas na fase anterior) foram caracterizadas em função de cinco propriedades/características geotécnicas consideradas básicos para subsidiar a elaboração da cartografia final (carta de unidades geotécnicas para expansão urbana).

Essas propriedades/características constituíram os fatores geotécnicos de classificação das UBCs diante das classes de aptidão/restrições à ocupação urbana (vide item 4.4). Os fatores considerados foram: alterabilidade, permeabilidade, declividade, tipo de material do manto de alteração e espessura do manto de alteração.

O caráter básico desses fatores geotécnicos é dado em função da relação existente entre eles e os fatores condicionantes da ocupação urbana, aqui considerados: a ocorrência de fenômenos geodinâmicos (erosão, escorregamentos, inundações, etc.) e a potencialidade de manejo dos materiais constituintes das unidades (movimentos de terra, fundações, etc.). Como exemplo desse relacionamento pode-se citar a relação existente entre o fator permeabilidade e a ocorrência de inundações. Assim, por exemplo, a maior ou menor permeabilidade de um terreno estaria relacionada respectivamente à menor ou maior possibilidade de ocorrência de inundações.

Em relação aos fatores geotécnicos considerados, observa-se que a obtenção das classes de cada fator foi feita qualitativamente a partir do estudo das relações entre esses fatores e as propriedades texturais da imagem.

Para cada fator estudado foram definidas quatro classes qualitativas. Essas classes foram determinadas relativamente entre as UBCs contidas em um mesmo compartimento fisiográfico à nível de subzona. Assim, dentro de cada subzona identificou-se na imagem as unidades que apresentavam as classes extremas do fator analisado, classificando-se a seguir as demais unidades relativamente à essas duas unidades "padrões". Esse procedimento foi feito isoladamente para cada um dos fatores estudados.

Após a determinação (para cada UBC) das classes dos fatores geotécnicos, através de critérios fotointerpretativos, foi realizada uma checagem amostral das unidades visando analisar se tais classes representavam a verdade "terrestre" e por conseguinte para a realização de eventuais correções preliminarmente à classificação (das UBCs) para a expansão urbana (4ª fase).

Isso foi feito confrontando-se os dados e/ou informações obtidos por fotointerpretação com dados obtidos e/ou inferidos por outros meios, tais como trabalhos de campo, análise de cartas topográficas e trabalhos pré-existentes.

O resultado do procedimento adotado nesta fase da pesquisa é discutido no item 5.2.

A seguir, apresenta-se os cinco fatores geotécnicos analisados, bem como os respectivos critérios fotointerpretativos, classes de análise e métodos de checagem dos dados.

-permeabilidade: refere-se a maior ou menor facilidade que os materiais oferecem à percolação de um fluido em um meio poroso. Este fator foi considerado inversamente proporcional a densidade de elementos texturais de drenagem. Assim, unidades com densidade de drenagem baixa possuem alta permeabilidade e vice-versa. Observa-se que foi estabelecido como pressuposto que uma dada subzona apresente o mesmo índice pluviométrico por toda sua área de ocorrência. As classes de permeabilidade estabelecidas foram: alta, média, baixa e muito baixa e a checagem foi feita pela análise das informações encontradas em trabalhos já realizados na região e por verificação de campo;

-declividade: como declividade considerou-se a inclinação média das vertentes independente de sua direção. Foi estimada pelo espaçamento relativo (frequência) entre as quebras de relevo positivas e negativas paralelas aos vales principais das UBCs, e considerada inversamente proporcional a esse espaçamento. Observa-se que para que tal critério fosse válido, considerou-se que para uma dada subzona as

amplitudes de relevo são constantes. As classes estabelecidas foram (< 8%), (8 a 15%), (15 a 25%) e (> 25%). A checagem deste fator foi feito determinando-se o valor de declividade predominante nas UBCs. Isso foi feito pela análise do espaçamento das curvas de nível (nas cartas topográficas 1:50000) segundo os mesmos critérios estabelecidos por De Biasi (1970) para a obtenção de cartas de declividade.

-tipo de material do manto de alteração: este fator refere-se à composição físico-química (granulométrica e mineralógica) do manto de alteração, e foi analisado pelo exame das formas de encosta. Foram estabelecidas quatro classes: argiloso (encostas com perfil convexo), argilo-arenoso (encostas com perfis convexo-côncavos), areno-argiloso (encostas com perfis côncavos) e arenoso (encostas com perfis convexo-retilíneo-côncavo). A checagem dessas classes foi feita através da execução de ensaios físicos de campo, a partir dos quais foram estimadas a plasticidade, a e a pegajosidade do material de alteração, o que permitiu a inferência de sua composição físico-química predominante. Esses ensaios de campo foram realizados segundo os métodos apresentados no Manual de Solos (Lemos e Santos, 1982).

-espessura do manto de alteração: foi considerado como o valor médio do "volume" de alteração dos maciços rochosos e estimado pelo exame das formas de encosta. As classes de análise e os respectivos perfis típicos foram: muito espesso (perfil convexo), moderadamente espesso (perfil convexo-côncavo), pouco espesso (perfil côncavo) e delgado (perfil convexo-retilíneo-côncavo). Essas classes apresentam valores distribuídos nos seguintes intervalos: muito espesso (>2m.), moderadamente espesso (2 a 1m.), pouco espesso (1 a 0,30m.) e delgado (< 0,30m). A checagem deste fator foi feita por observação de campo.

-alterabilidade: como alterabilidade considerou-se a maior ou menor suscetibilidade dos materiais componentes das UBCs (rochas e solos) ao intemperismo. O critério analítico utilizado para classificar as unidades foi o exame das formas das encostas. Isso foi feito pela identificação (na imagem) dos perfis de encostas típicos (convexo, convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo), os quais foram correlacionados respectivamente às seguintes classes: muito alta, alta, média e baixa. A checagem dessas classes foi feita procurando-se identificar (no campo e ou na literatura) a composição físico-química dos materiais submetidos ao intemperismo (e por extensão, identificando-se sua resistência à alteração).

Conforme pode-se observar, as classes dos três últimos fatores foram inferidas à partir da análise das formas de encosta. Tal inferência é possível pelo fato de que esses fatores são relacionáveis aos processos de intemperismo (eluviação) e de erosão (remoção de material), processos esses que em função de seu balanço relativo (velocidade de intemperismo versus velocidade de erosão) determinam a forma das encostas e originam perfis específicos.

Os perfis típicos utilizados neste trabalho bem como os respectivos critérios de análise foram os mesmos usados por Soares e Fiori (1976). A figura 5 ilustra tais perfis, cujas características são as seguintes:

-perfil convexo: é típico de formas modeladas à partir de materiais com alterabilidade muito alta, e indica uma velocidade de intemperismo maior que a velocidade de erosão. Essa dinâmica de evolução favorece a formação de mantos de alteração espessos e predominantemente argilosos;

-perfil convexo-côncavo: é resultante de materiais com alterabilidade alta onde a velocidade de intemperismo é semelhante à velocidade de erosão. As formas de encosta caracterizadas por este tipo de perfil apresentam manto de alteração argilo-arenoso e moderadamente espesso;

-perfil côncavo: reflete formas onde os processos de modelagem das encostas (intemperismo e erosão) atuam em materiais com alterabilidade média, e onde a velocidade de intemperismo é menor que a velocidade de erosão. O manto de alteração típico apresenta-se pouco espesso e com constituição areno-argilosa;

-perfil convexo-retilíneo-côncavo: caracteriza encostas onde a velocidade de intemperismo é muito menor do que a velocidade de erosão, e cujos materiais que as constituem apresentam alterabilidade baixa. O manto de alteração quando presente é muito pouco espesso (delgado) e sua constituição é predominantemente arenosa.

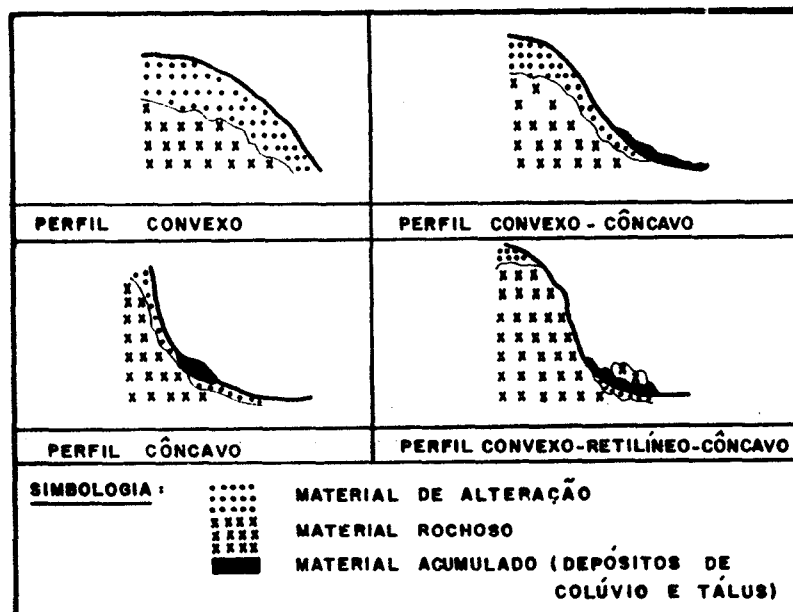


Figura 5 - Perfis de encostas típicos

4.4 - 4ª Fase: Cartografia Temática

Nesta fase foi dado um exemplo de uso do zoneamento geotécnico obtido (fases 2 e 3). A escolha da expansão urbana como tema foi feita em razão de que trata-se de um fenômeno típico de "pressão antrópica" sobre o meio físico, e para o qual o zoneamento geotécnico constitui um instrumento fundamental no seu planejamento.

A cartografia aqui realizada consistiu em classificar as unidades básicas de compartimentação (após sua caracterização geotécnica) em função de seu grau de adequação à expansão urbana.

Assim foram determinadas quatro classes, relativas ao seu maior ou menor grau de restrições à ocupação urbana, a saber:

-Classe I : corresponde à áreas favoráveis à ocupação, apenas com pequenas restrições na fase de implementação das obras. Essas restrições se fazem no sentido de evitar a ocorrência de fenômenos geodinâmicos resultantes de uma ação técnica inadequada na implantação de determinada obra. Como exemplo pode-se citar: estrangulamentos de drenagens ocasionando inundações, cortes mal dimensionados aumentando a declividade natural do terreno, etc.

-Classe II : engloba áreas propícias à ocupação mediante verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Como exemplo pode-se citar a necessidade de pequenas obras de contenção ou instalação de drenagens artificiais (canaletas, valas revestidas, etc.), visando estabilizar cortes do terreno.

-Classe III : reúne áreas pouco favoráveis à ocupação que entretanto podem ser utilizadas mediante a elaboração de projetos técnicos que exigem elevados investimentos e infra-estrutura. Como exemplo pode-se citar a necessidade de grandes obras de contenção (drenos profundos, injeções de concreto em maciços rochosos, etc.) ou a execução de aterros.

-Classe IV : compreende áreas impróprias à ocupação mesmo diante da adoção de projetos técnicos específicos. A utilização dessas áreas tornam as obras implantadas sujeitas a riscos geotécnicos potenciais (tais como escorregamentos, enchentes, etc.), riscos estes independentes dos recursos técnicos utilizados.

Para se determinar a classe de restrição em que se enquadravam as diversas unidades básicas de compartimentação, analisou-se (para cada UBC) a relação entre as classes dos fatores geotécnicos (obtidos na fase três) e as classes de restrições à ocupação urbana. Os critérios de classificação estabelecidos com base nessa relação podem ser vistos no quadro da figura 6.

CLASSES FATORES	I	II	III	IV
ALTERABILIDADE	muito alta	alta	média	baixa
PERMEABILIDADE	alta	média	baixa	muito baixa
DECLIVIDADE	< 8 %	8 a 15 %	15 a 25 %	> 25 %
TIPO DE MATERIAL DO MANTO DE ALTERAÇÃO	argiloso	argilo - arenoso	areno - argiloso	arenoso
ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	> 2,00m	2,00 - 1,00 m	1,00 - 0,30m	< 0,30m

Figura 6 - Quadro de classificação das UBCs para expansão urbana

A relação estabelecida nesse quadro é resultado da identificação do tipo de influência que cada fator geotécnico analisado exerce sobre os fatores fisiográficos que condicionam a ocupação urbana.

Observa-se ainda que, quando uma determinada UBC apresentou fatores geotécnicos distribuídos em mais de uma classe de restrição à ocupação urbana, classificou-se essa dada unidade segundo o fator que indicava a classe mais restritiva à ocupação.

O resultado da classificação temática pode ser visto no mapa do Anexo 2.

CAPÍTULO 5RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Sobre a Compartimentação Fisiográfica

5.1.1. - A compartimentação

A primeira divisão realizada foi a nível de província. Identificou-se assim os dois grandes compartimentos presentes na área: uma região de planalto e uma região litorânea. Estas duas províncias foram denominadas de Planáltica e Litorânica e simbolizadas respectivamente pelas letras P e L.

O limite entre essas duas províncias foi traçado na ruptura de declive entre as regiões de planalto e as escarpas meridionais da serra do Mar, as quais constituem relevo de transição marcante.

Este limite é marcado por uma forte assimetria das formas de drenagem. Assim na província denominada Planáltica (P) ocorrem formas de drenagem geométricas (com arranjos subparalelo, retângular, angular) fortemente anisotrópicas, que refletem influência da estrutura geológica. Já na província Litorânica (L) na região das escarpas junto ao limite das duas províncias, ocorre uma rede de drenagem do tipo arborescente (tipo dendrítica), enquanto nas regiões de baixadas predominam as formas meandantes e anastomosadas.

Essas províncias (P e L) podem ser associadas respectivamente às províncias Planalto Atlântico e Província Costeira de Almeida (1964). Observa-se entretanto que os limites das províncias no presente trabalho divergem em parte daqueles observados por Almeida (1964) e IPT (1981).

Aqui o limite foi traçado na ruptura de declive entre o planalto e as encostas meridionais da serra do Mar enquanto nos outros o limite foi determinado no divisor de águas entre as bacias que correm para o litoral e as que correm para o continente. Devido a isso, na divisão de Almeida (1964) e IPT (1981), ocorrem na "Província Costeira" áreas de planalto com drenagem correndo para o mar.

A seguir são apresentadas separadamente as subdivisões das duas províncias.

5.1.1.1 - Subdivisões da província Planáltica

A província Planáltica foi subdividida em quatro zonas denominadas Paraitinga, Natividade, Paraibuna e Bocaina, em função da localização geográfica de suas faixas de ocorrência, e foram simbolizadas respectivamente pelos códigos PT, PN, PB, PC.

Os limites foram traçados com base nas propriedades de simetria e tropia das formas e das estruturas dos elementos texturais de relevo e drenagem.

Identificou-se inicialmente a zona Natividade (PN) caracterizada pela ocorrência de alinhamentos (de relevo e drenagem), os quais refletem lineamentos estruturais de direção NNW e NNE. O limite desta zona com as áreas de entorno foi traçado através das rupturas de declive (quebra negativa) resultantes de variações altimétricas relativas entre estas zonas.

As demais zonas não refletiam claramente estes lineamentos, possivelmente devido à sua litologia.

A individualização da zona PN, isolou duas outras zonas (PT e PB), à norte e à sul respectivamente, caracterizadas por uma rede de drenagem com maior controle estrutural e refletida por uma "tropia" de uni a bidirecional dos elementos texturais de relevo e drenagem. A diferenciação entre essas duas zonas PT e PB foi dada pelo espaçamento dos elementos texturais (frequência), que é maior na zona PT refletindo controle estrutural de rompimento de blocos mais amplos em relação à zona PB.

Finalmente, identificou-se na porção leste da área de estudo uma região isotrópica em relação aos elementos texturais (zona PC). Essa isotropia reflete a litologia da região onde ocorre a zona PC (no caso o granito Parati).

Das quatro zonas determinadas, três (PT, PN e PB) foram subdivididas em subzonas. Esta subdivisão foi feita com base na identificação de características texturais associadas a variações litológicas e morfológicas.

Assim a zona PT foi subdividida em duas subzonas: PTA e PTB. A subzona PTA apresenta elementos texturais de relevo e drenagem com anisotropia mais evidente (maior grau de estruturação) do que na subzona PTB, indicando um menor controle estrutural nesta última e uma evolução de relevo mais acentuada na primeira.

A zona PN foi dividida em três subzonas denominadas PNA, PNB e PNC. A separação entre elas foi dada pelo grau de estruturação da anisotropia (bastante evidente

na PNA, pouco evidente na PNC e intermediária na PNB).

Finalmente a zona PB, foi subdividida em duas subzonas representadas respectivamente por PBA e PBB. A primeira apresentou uma forte anisotropia de elementos texturais unidirecionais evidenciando forte controle estrutural. Já na segunda (PBB) a anisotropia é menos acentuada e ocorre uma forma de drenagem do tipo treliça, refletindo formas topográficas mais suavizadas.

A zona PC não foi subdividida por apresentar-se homogênea em relação às características texturais.

Após a divisão em subzonas, estas foram subdivididas em áreas menores associadas às geoformas (vide item 4.2) e determinadas com base na análise das propriedades das formas dos elementos texturais (densidade, grau de estruturação, etc.). Essas áreas após a verificação da similaridade foram identificadas por um algarismo seguinte ao código das subzonas e constituíram as unidades básicas de compartimentação (UBCs), as quais correspondem, no presente trabalho, ao nível taxonômico Unidade.

5.1.1.2 - Subdivisões da província Litorânica

Esta província foi subdividida em três zonas denominadas de Baixadas (LB), Morraria (LM) e Escarpas (LE).

A zona de Baixadas (LB) é constituída por áreas com densidade de elementos texturais de muito baixa a nula, podendo-se entretanto identificar formas de drenagem do tipo meandrante e localmente entrelaçado, o que reflete o predomínio dos processos de sedimentação sobre os de dissecação. O limite desta zona com as demais é brusco e dado pela ruptura de declive entre as áreas aproximadamente planas desta zona (LB) e as áreas com declividades acentuadas das zonas LM e LE (as quais apresentam densidades de drenagem bem maiores).

A separação entre as zonas LM e LE é dada em função da frequência relativa dos elementos texturais. Assim na zona de escarpas (LE) a frequência é elevada enquanto que na zona LM a frequência dos elementos texturais é um pouco menor. Essas diferenças refletem um relevo mais acentuado na zona LE e relativamente mais arrasado na zona LM.

Após a separação em zonas, estas foram divididas em subzonas.

Na zona LE foram identificadas as subzonas Escarpas Festonadas (LEF) e Escarpas com Espigões Digitados (LED). A primeira apresenta forma de drenagem caracterizada

por um arranjo subparalelo com densidade de drenagem muito alta, refletindo a morfologia típica desse tipo de relevo (escarpas festonadas). A segunda apresenta densidade de elementos texturais alta e forma paralela a pinulada de drenagem.

Já a zona LM foi subdividida nas subzonas Morros Isolados (LMI) e Maciços (LMM). Esta divisão teve caráter eminentemente espacial, sendo que a subzona LMI é constituída por relevos residuais dispersos nas baixadas, enquanto a outra (LMM) caracteriza-se pela presença de maciços maiores que isolam as diversas regiões de baixada.

Na Zona de Baixadas (LB), por sua vez, a frequência de elementos texturais de muito baixa a nula bem como a ausência de rupturas de declive nítidas dificultaram a individualização de áreas no seu interior (segundo os critérios utilizados).

Foram individualizadas entretanto três subzonas, caracterizadas pelo tipo de processo genético ou ambientes a que pertencem, a saber: áreas com predomínio de sedimentação marinha (subzona LBM), áreas com predomínio de sedimentação fluvial (subzona LBF) e áreas de acúmulo de material coluvial (subzona LBC).

Essas subzonas foram separadas por limites do tipo envoltório e transicionais e o critério fotointerpretativo utilizado consistiu na identificação de formas texturais e/ou tonais (derivadas de variações de nível de cinza) específicas, e relacionadas a formas também específicas dos ambientes considerados. Como exemplo pode-se citar a ocorrência de formas tonais associadas à cordões litorâneos determinando uma área de sedimentação marinha.

Após a divisão taxonômica até o nível de subzona as unidades LEF, LED e LMM foram verificadas quanto a similaridade através da análise das propriedades da forma dos elementos texturais (de relevo e drenagem). Isto permitiu a subdivisão dessas subzonas em unidades menores (UBCs), as quais são identificadas por um algarismo colocado após os respectivos índices taxonômicos.

As subzonas LMI e LBC, por constituírem formas específicas, foram identificadas apenas por esse símbolo. Da mesma forma, as unidades referentes às subzonas de baixada (por não poderem ser analisadas quanto as propriedades dos elementos texturais de relevo e drenagem) foram identificadas apenas por seus símbolos : LBM, LBC e LBF.

No anexo 1 (carta de unidades básicas de compartimentação) podem ser identificadas as divisões fisiográficas aqui identificadas.

5.1.2. - Análise da compartimentação

Confrontando-se a compartimentação fisiográfica obtida pelo estudo da imagem com a fisiografia da região (observada tanto na literatura como nos trabalhos de campo) observou-se os seguintes aspectos:

-O estudo e análise de elementos texturais de imagem bem como suas respectivas organizações (forma, estruturas) permitiram a determinação dos quatro níveis taxonômicos e suas respectivas unidades de compartimentação. Neste sentido, observou-se que os níveis taxonômicos de maior ordem (Província, Zona e Subzona) foram individualizados na imagem com base na análise da "geneidade", "tropia" e simetria das formas e das estruturas dos elementos texturais na imagem, enquanto que para o nível taxonômico Unidade a separação das diferentes áreas foi realizada pela análise da "geneidade", "tropia" e simetria das propriedades dos elementos texturais (densidade, arranjo, grau de estruturação, etc.). Tal fato é justificado pela ordem de grandeza dos níveis taxonômicos em confronto com a escala da imagem. Assim, o nível taxonômico básico para a escala da imagem (Unidade) é dado pela análise do elemento também básico da imagem fotográfica (elemento textural). Em contrapartida, os níveis de maior ordem (que são caracterizados pela ocorrência de uma determinada organização das unidades mais básicas) são identificados na imagem pela ocorrência também de determinadas organizações (formas e estruturas) dos elementos básicos da imagem, organizações essas que refletem características fisiográficas específicas da ordem de grandeza do nível taxonômico considerado.

-A realização da compartimentação fisiográfica com base na análise de elementos texturais de relevo e drenagem mostrou-se adequada para os quatro níveis taxonômicos estabelecidos. Tal fato justifica-se em função de que as variações dos elementos fisiográficos que determinam os quatro níveis taxonômicos refletem variações no relevo da região, o que permite que as divisões fisiográficas sejam feitas pela análise dos elementos texturais de relevo e drenagem. Deve-se observar entretanto, que para as áreas onde as formas fisiográficas determinantes dos níveis taxonômicos não refletiam (para a escala da imagem) variações significativas no relevo, é necessário utilizar informações texturais de outros elementos que não os de relevo e drenagem. Tal fato ocorreu apenas na zona LB onde predominam formas fisiográficas de origem agradacional.

-A utilização de critérios alternativos para a zona LB (relacionados à análise de formas texturais e/ou tonais derivadas de variações de nível de cinza da cena) mostraram potencialidade para a subdivisão dessa zona segundo formas específicas (no caso representadas pelas subzonas LBF, LBM e LBC), subdivisão essa que foi feita através de limites difusos e/ou gradativos. Entretanto, os trabalhos de campo mostraram que duas (LBF e LBM) das três subzonas identificadas não apresentam a homogeneidade desejada. Isso se dá pelo fato de que as formas fisiográficas presentes nessas duas subzonas (na área de estudo) variam muito morfológica e espacialmente, e muitas dessas formas não refletem na imagem (para a escala utilizada) características texturais que permitam sua individualização e/ou a correta definição de limites entre os diferentes domínios. Observa-se que as variações tanto morfológicas como espaciais das formas das subzonas citadas são decorrentes do aspecto peculiar de ambientes litorâneos, onde processos sedimentares de origem fluvial e marinha interagem em uma mesma área. Essa interação proporciona a ocorrência de diferentes ambientes deposicionais que originam tanto formas fluviais (terraços, várzeas, etc.) e marinhas (terraços, cordões, etc.) como também formas de ambiente misto (fluvio-marinho) como os mangues por exemplo. Outro fator complicador na identificação dessas formas é a possibilidade de migração espacial desses ambientes, migração essa associada à oscilações do nível do mar (determinadas por variações climáticas) que recondicionam os processos de sedimentação e causam o retrabalhamento das formas pré-existentes. Essa migração gera uma distribuição espacial variada das formas litorâneas, o que dificulta até mesmo a separação de áreas com domínio de um ou outro processo de sedimentação. Assim, para o estudo dessas formas fisiográficas parece recomendado a utilização de um produto com maior resolução espacial e/ou a utilização de técnicas alternativas tais como processamento digital de imagens.

5.2. - Sobre a Caracterização Geotécnica

A análise do procedimento realizado na fase de caracterização geotécnica permitiu que se fizesse as seguintes considerações:

- 1) A realização da caracterização geotécnica conforme realizada, mostrou que os critérios fotointerpretativos utilizados para a análise dos cinco fatores geotécnicos permitem que se façam inferências sobre a variação relativa desses fatores. Entretanto, alguns aspectos relacionados aos critérios de inferência precisam ser

aperfeiçoados e/ou revistos. Tal preocupação decorre das seguintes constatações:

-A inferência da declividade e da permeabilidade como realizada (qualitativa e relativamente entre as unidades de uma mesma subzona) algumas vezes dificulta o enquadramento das UBCs nos intervalos de classes desses fatores. Isso ocorre pelo fato de que em certas subzonas as unidades referênciais encontradas (maior e menor classe para a subzona) não correspondem à maior e menor classe do fator analisado, dificultando a classificação de UBCs com propriedades texturais intermediárias.

-A inferência das classes de fatores associados a intervalos numéricos (como a declividade e a espessura do manto de alteração) ficou dificultada uma vez que foi preciso constatar se as variações texturais que diferenciam as unidades situavam-se em um ou outro intervalo dessas classes. Para isso foi necessário se obter para cada UBC (pelos critérios de checagem) o valor médio do fator analisado, o que não era desejável.

2) Os fatores escolhidos para agrupar geotecnicamente as UBCs mostraram-se no geral adequados. A única dificuldade observada foi para a zona LB (baixadas litorâneas), onde três dos cinco fatores considerados (alterabilidade, tipo de material do manto de alteração e espessura do manto de alteração) não traduziam informações sobre as unidades dessa zona. Tal fato explica-se em função de que as unidades pertencentes a subzona LB constituem formas fisiográficas de agradação (acúmulo ou deposição de material) enquanto que os referidos fatores são propriedades e características relacionadas às áreas de degradação (dissecação). Assim devem-se realizar estudos específicos visando aperfeiçoar a caracterização geotécnica das áreas de agradação.

3) De um modo geral, os fatores geotécnicos utilizados apresentaram um certo relacionamento entre si; ou seja, a ocorrência de uma dada classe de um determinado fator ocorre, para diferentes unidades, em uma mesma associação com classes de outros fatores. Um exemplo desse fato (entre outros) é a ocorrência em diversas UBCs da associação da classe de declividade íngreme com espessuras do manto de alteração delgadas. Assim, um estudo específico sobre o relacionamento desses fatores (e outros) pode vir a permitir que se determine que fatores sejam realmente básicos e portanto suficientes para a caracterização geotécnica.

5.3. - Sobre a cartografia final

5.3.1. - Análise da cartografia

O confronto entre as "unidades geotécnicas" (obtidas pela integração das etapas de compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica) e a realidade de campo mostrou que as UBCs foram classificadas adequadamente em função do uso considerado (expansão urbana).

Essa adequação foi constatada quando se identificou no campo características das unidades analisadas que corroboravam com as restrições/aptidões estabelecidas para a cartografia final, e referem-se tanto a identificação de problemas ocasionados pelo uso inadequado das "unidades geotécnicas" como da verificação "in situ" dos fatores geotécnicos específicos e determinantes das classes de restrições apresentadas.

A única dificuldade encontrada para a cartografia final referiu-se à classificação (segundo as classes de restrições) das UBCs pertencentes a zona LB (baixadas litorâneas), e decorrem dos aspectos já discutidos nos itens anteriores (5.1 e 5.2).

Conforme apresentado, nas áreas de baixada ocorre grande variedade de ambientes sedimentares, os quais deveriam constituir diferentes UBCs. Entretanto, os critérios de compartimentação utilizados não possibilitaram por si só a individualização das formas associadas a esses ambientes (devido a resolução da imagem ser baixa). Em consequência, também a caracterização geotécnica das UBCs referentes às subzonas (LBF e LBM) das baixadas litorâneas foi prejudicada.

Assim a classificação final de tais UBCs foi feita verificando-se em campo e na literatura que formas fisiográficas predominavam em cada uma das UBCs, e determinando-se em que classe de restrições se enquadravam as formas predominantes nessas UBCs. As principais formas fisiográficas (das baixadas) consideradas foram: terraços, mangues, alagadiços e várzeas.

Assim, por exemplo, uma planície litorânea que apresentava predomínio (em área) de formas de "alagadiços" foi classificada como da classe IV, enquanto que as baixadas onde predominam formas de "antigos terraços marinhos" foram classificadas na classe I. Casos intermediários classificaram-se nas classes II e III.

Excetuando-se essas áreas de baixada (LBF e LBM) as demais unidades foram classificadas

satisfatoriamente, o que torna esse tipo de cartografia um instrumento adequado para embasar o planejamento da ocupação urbana da região.

Deve-se observar entretanto que a utilização da cartografia final obtida deve ter em mente que o estudo aqui realizado teve um caráter exploratório onde a prioridade foi avaliar o potencial do procedimento sugerido (visando, com a continuidade dos estudos, o estabelecimento de uma metodologia) e não obter em si uma cartografia para embasar o planejamento do meio físico estudado.

5.3.2. - Casos de unidades geotécnicas

Neste sub-item são apresentados através de fotos alguns exemplos das características das unidades geotécnicas, bem como problemas decorrentes do seu uso.

A foto 5 mostra a ocupação urbana em uma área da classe I. Trata-se de uma região de baixada litorânea onde não se conseguiu separar as subzonas (unidade LB), mas cuja checagem de campo mostrou que há predomínio de formas fisiográficas favoráveis à ocupação. Verificou-se ainda que a ocupação, à princípio, limitou-se às áreas mais estáveis como os terraços. (áreas urbanas mais adensadas). Entretanto, o crescimento urbano tem ocasionado a ocupação de locais menos adequados, os quais ainda não estão adensados. Nessa mesma foto pode-se observar, ainda, a marcante descontinuidade entre as porções serranas (subzona LMM) e as baixadas litorâneas (zona LB).

A foto 6 mostra estrangulamento de drenagem (pelo aterro da estrada) causando inundação de área à montante e morte da vegetação. Além disso, causou a inutilização de uma área favorável à ocupação (classe I). A inundação foi favorecida pela presença de camadas argilosas (impermeáveis) em subsuperfície, bloqueando a infiltração da água. A verificação de pequenos cuidados técnicos tais como o dimensionamento correto das tubulações de drenagem bem como sua adequada manutenção teriam evitado esse fenômeno.

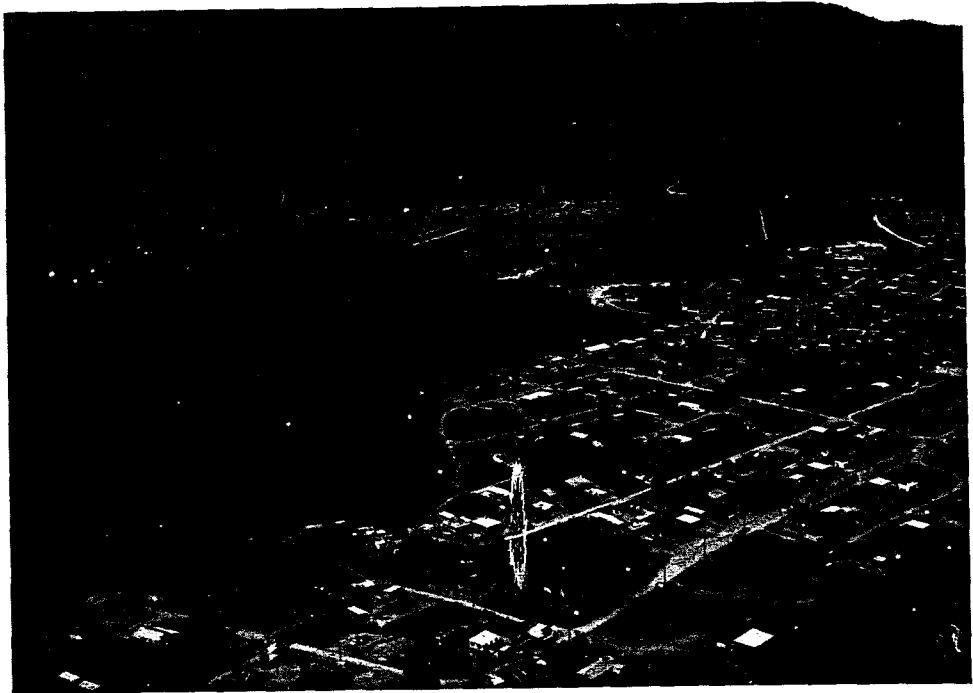


Foto 5 - Ocupação em áreas de baixada litorânea.
Vista panorâmica da porção NW da cidade de
Ubatuba.
Julho de 1991

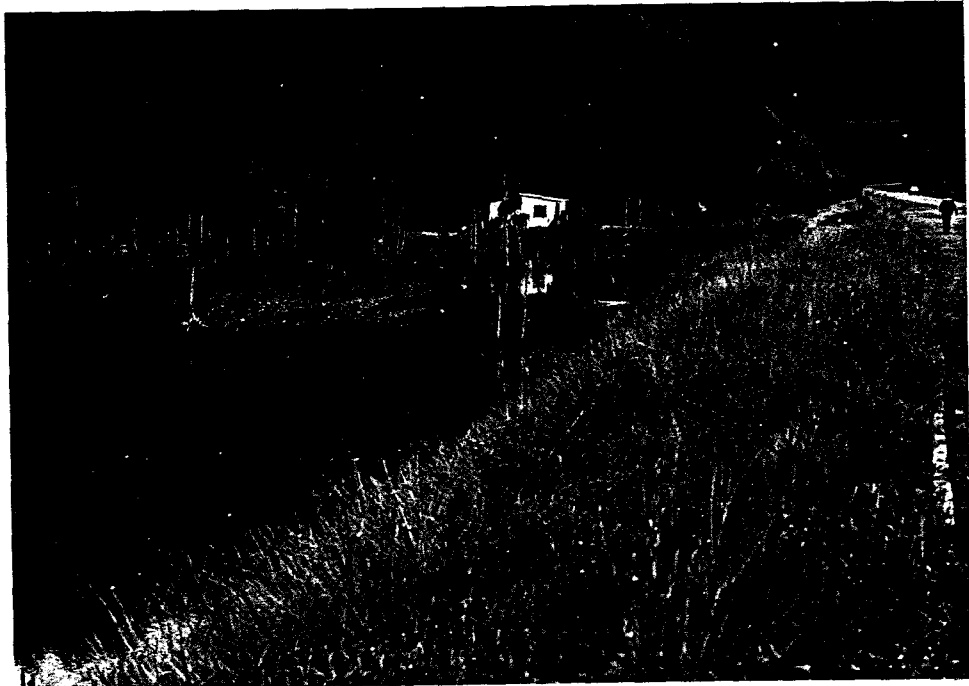


Foto 6 - Estrangulamento de drenagem.
BR-101 (Rio-Santos) na região da Praia
Vermelha do Norte, município de Ubatuba.
Julho de 1992.

A foto 7 apresenta a morfologia típica de uma unidade da classe I na Província Planáltica. Trata-se de uma área estável, onde ocorre um relevo suave constituído por material de alteração argiloso.

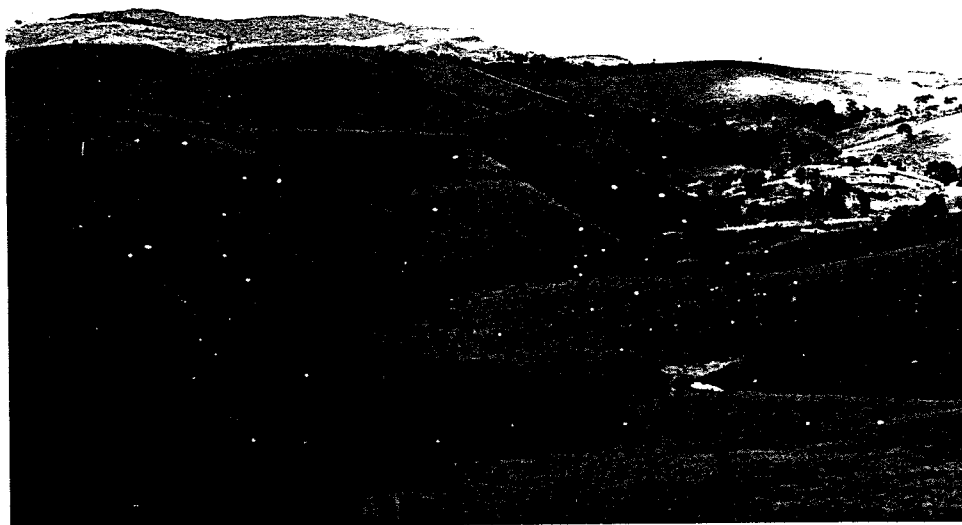


Foto 7 - Paisagem típica de área da classe II na província planáltica.
Trecho da SP-125 antes de São Luis do Paraitinga
(sentido Taubaté-Ubatuba).
Julho de 1992.

A foto 8 ilustra a extração de material para construção (saibro) em área da classe I. Esse tipo de atividade minerária é típico em morros isolados na baixada litorânea (LMI) que apresentem formas suaves (convexas) e relacionadas a terrenos com elevadas espessuras do manto de alteração. Observa-se que a lavra é feita a céu aberto e por desmonte sem bancadas. Esse tipo de extração sem planejamento acarreta uma maior destruição do que a utilização racional do material explorado.

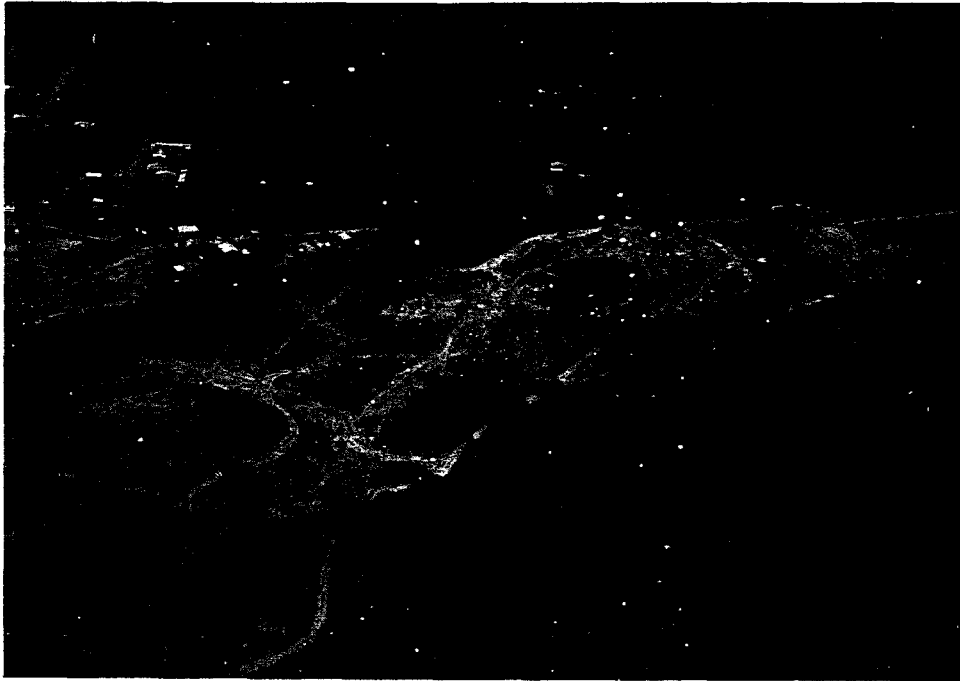


Foto 8 - Extração de saibro.
Baixada da Lagoinha, município de
Ubatuba.
Julho de 1991.

A foto 9 apresenta uma área da classe II. Nela pode-se observar que a execução de cortes inadequados (aumento da declividade natural) favorece a ocorrência de fenômenos geodinâmicos (no caso a erosão).

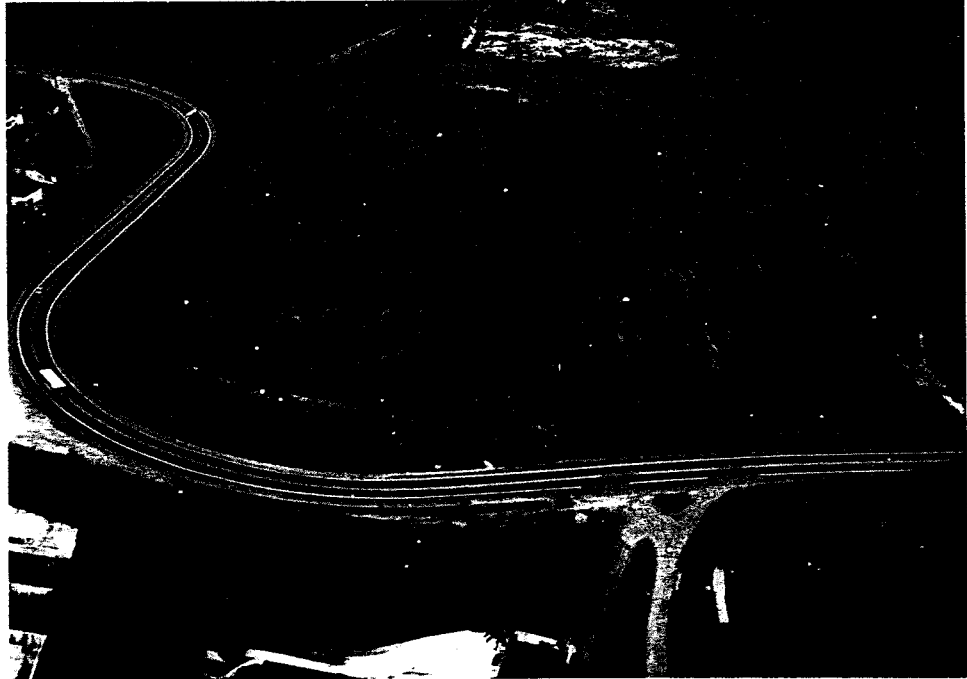


Foto 9 - Fenômeno erosivo induzido.
Trecho BR-101 entre as praias da
Enseada e Toninhas, município de
Ubatuba.
Julho de 1991.

A foto 10 ilustra a morfologia de uma área da classe III na Província Planáltica. A ocupação adequada dessas áreas pressupõem a elaboração de projetos técnicos específicos.



Foto 10 - Paisagem típica de área da classe III na província planáltica.
Trecho da SP-125 após São Luis do Paraitinga
(sentido Taubaté-Ubatuba).
Julho de 1992.

As fotos 11, 12 e 13 referem-se a um grande escorregamento afetando a rodovia BR-101, ocorrido em uma área da classe IV. A estrutura geológica associada à alta declividade do terreno são fatores predisponentes da movimentação que, por sua vez, foi condicionada pelo corte da estrada e deflagrada durante um evento chuvoso. Na foto 11 pode-se observar a dimensão do fenômeno que afetou inclusive o acostamento à montante da encosta. Na foto 12 observa-se uma vista aérea do escorregamento, cujo material movimentado atingiu a praia à jusante. Já na foto 13, observa-se o local do escorregamento doze meses depois. Deve-se destacar entretanto, que as obras realizadas não eliminaram o risco potencial. Além disso, as estruturas de drenagem implantadas à montante favorecem a ocorrência de novos eventos de movimentação.



Foto 11 - Escorregamento afetando rodovia (BR-101).
Região da praia do Meio, município de Ubatuba.
Julho de 1991.

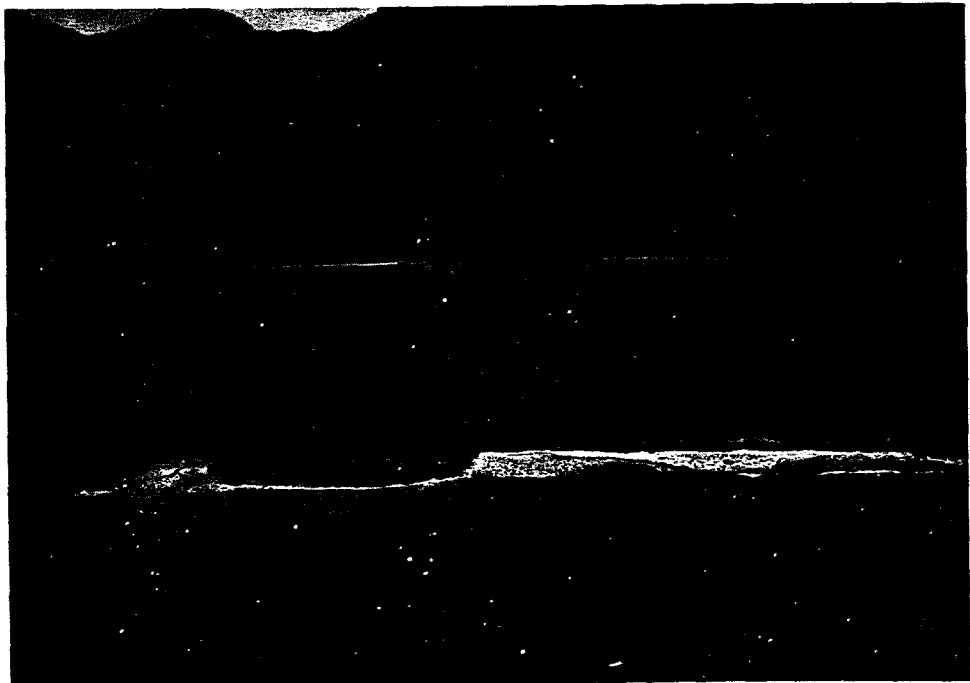


Foto 12 - Vista área do escorregamento.
Região da praia do Meio, município de Ubatuba.
Julho de 1991.

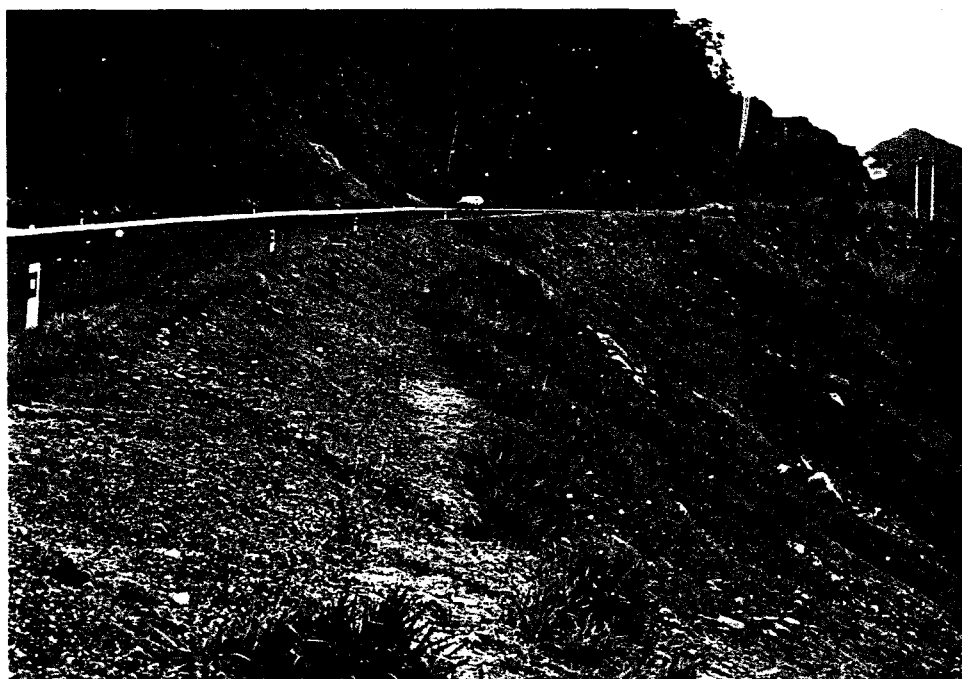


Foto 13 - Visão do escorregamento após as obras de recuperação.
Região da praia do Meio, município de Ubatuba.
Julho de 1991.

As fotos 14 e 15 são exemplos de áreas de classe IV. Na primeira observa-se uma região escarpada, com a ocorrência de paredões rochosos, que oferecem risco potencial de quedas de lascas. Na segunda tem-se uma visão panorâmica de áreas onde ocorrem terrenos alagadiços, favoráveis à ocorrência de inundações.

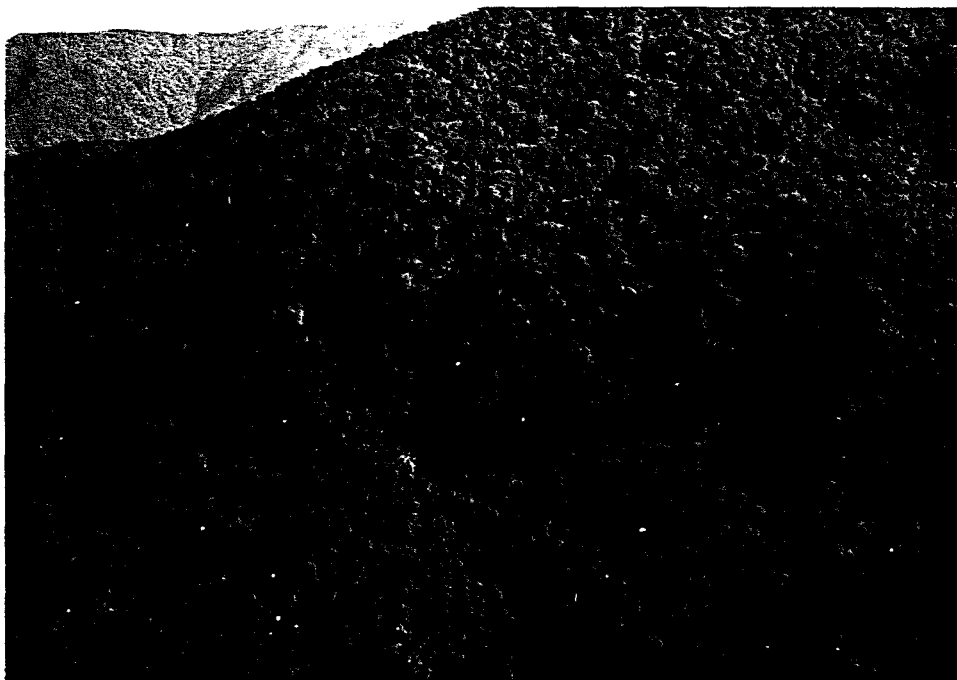


Foto 14 - Escarpa rochosa.
Porção Norte do município de
Ubatuba.
Julho de 1991.

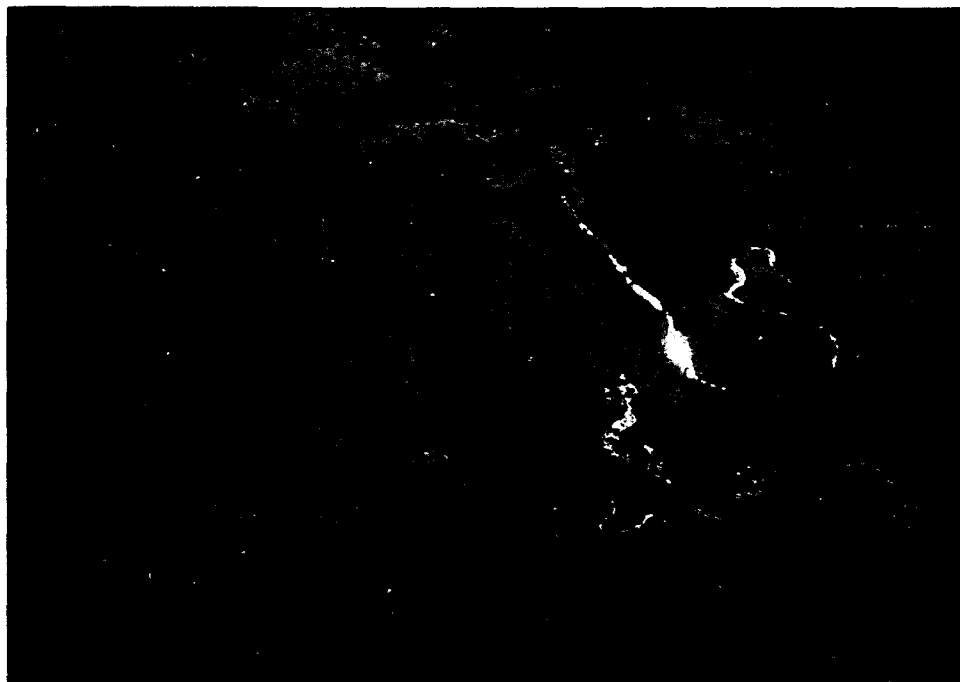


Foto 15 - Terrenos alagadiços.
Baixada de Puruba, município de
Ubatuba.
Julho de 1991.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do contexto geral do presente trabalho, de se obter um zoneamento geotécnico de uso geral através de sensoriamento remoto, o procedimento metodológico utilizado apresentou grande potencial para este fim.

Neste sentido, a realização de duas etapas de investigação (Compartimentação fisiográfica e Caracterização geotécnica) integradas em uma etapa posterior (Cartografia final), é de fundamental importância para a caracterização do zoneamento geotécnico.

Com base nos resultados obtidos nas várias fases da pesquisa, são feitas à seguir algumas observações.

A compartimentação fisiográfica, conforme realizada (com base na análise de elementos texturais de imagem), mostrou potencial não só para a realização de zoneamentos geotécnicos como também para quaisquer tipos de estudos que versem sobre a avaliação de terrenos.

Neste sentido observa-se que, para que as unidades de compartimentação possam ser utilizadas para outros fins (que não geotécnicos), basta que em uma fase posterior, ao invés de se caracterizar as unidades em função dos fatores de interesse geotécnico, faça-se tal caracterização segundo fatores relativos aos tipos de estudos considerados.

Tal fato é possível porque as unidades básicas de compartimentação (UBCs) pressupõem, na sua delimitação, a existência local de uma associação específica das formas de ocorrência de todos os elementos fisiográficos que compõem uma dada paisagem. Assim, a análise de tais unidades pode ser feita em função de quaisquer fatores relacionáveis aos elementos fisiográficos que compõem uma dada UBC.

Em relação ao critério de compartimentação utilizado, destaca-se que o mesmo se apresentou adequado para a determinação de UBCs à partir de imagens de satélite. Tal consideração justifica-se em razão de que a individualização de zonas texturalmente homogêneas na imagem (em função das propriedades da forma dos elementos texturais) corresponde à identificação de diferentes geoformas da paisagem as quais, por sua vez, caracterizam-se por apresentar uma associação específica dos diversos elementos fisiográficos que a compõem e, por conseguinte, representam unidades básicas do terreno.

Essa relação entre a textura fotográfica e as geoformas, constitui a grande vantagem (em relação aos métodos usuais) da obtenção de zoneamentos geotécnicos a partir dos critérios fotointerpretativos utilizados.

Tal afirmação se justifica pois a determinação de zonas do terreno (para posterior caracterização geotécnica), é feita tradicionalmente pelo cruzamento de mapas de dois ou mais elementos fisiográficos (em geral mapas geológicos e geomorfológicos) considerados de interesse para a finalidade do mapeamento geotécnico.

Esse procedimento usual ocasiona entretanto, a determinação de zoneamentos onde as unidades são variáveis em função dos elementos fisiográficos utilizados na sua delimitação. Logo não permite que sejam obtidas unidades básicas que possam ser comparadas face aos diferentes aspectos para os quais se possa avaliá-las. Além disso, para áreas onde não se disponha de mapeamentos pré-existentes sobre os elementos fisiográficos necessários a um dado zoneamento geotécnico, torna-se necessário executar esses mapeamentos básicos, preliminarmente à execução do zoneamento geotécnico propriamente dito.

Assim a determinação de UBCs (as quais constituem unidades determinadas pelos vários elementos fisiográficos) segundo a maneira sugerida neste trabalho apresenta-se vantajosa pois permite a delimitação de zonas do terreno invariáveis espacialmente (independente da finalidade do zoneamento). Além disso é possível, a partir da identificação dessas UBCs, que se vá diretamente para a caracterização geotécnica das unidades, sem a necessidade do mapeamento prévio dos vários elementos fisiográficos que determinam a unidade.

A vantagem desse procedimento é importante pois, possibilitando a elaboração de zoneamentos geotécnicos independente da execução prévia de mapeamentos básicos (dos elementos fisiográficos) à nível regional, torna possível a realização imediata dos zoneamentos geotécnicos, os quais podem embasar o planejamento do uso e ocupação do meio físico. Uso esse que tem se desenvolvido de forma acelerada e indiferente à existência ou não de planejamento.

Destaca-se entretanto que alguns obstáculos identificados na execução do procedimento prático merecem ser estudados visando o aperfeiçoamento do método de compartimentação.

Neste sentido, dois casos podem ser considerados:

-Na compartimentação fisiográfica de áreas onde os

processos de sedimentação predominam sobre os de dissecação (no caso as baixadas litorâneas), a separação das UBCs, com base na análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, foi dificultada. Isso ocorreu pois tratam-se de locais onde é difícil identificar (para a escala de trabalho) rupturas de declive associáveis às formas fisiográficas do terreno e por conseguinte, aos elementos texturais considerados (relevo e drenagem). Um exemplo desse caso pode ser dado em função das observações feitas nas baixadas litorâneas. Nestas áreas, é possível a identificação de antigos cordões litorâneos (colmatados ao continente) através das variações de níveis de cinza na imagem. Tais variações são decorrentes do tipo de sedimento (predominantemente arenoso nos cordões e mais argiloso nas áreas intracordões), os quais geram respostas espectrais diferentes. Entretanto, não há informações texturais de relevo e drenagem (para a escala de trabalho) que indiquem essas formas.

-A determinação de unidades básicas de compartimentação a partir da análise de elementos texturais de relevo e drenagem, mesmo tendo se mostrado adequada, pode apresentar problemas para a realização de divisões em níveis taxonômicos inferiores a Unidade, bem como para estudos que exijam um nível informativo mais detalhado. Um bom exemplo para justificar tal consideração pode ser dado pela separação hipotética, para uma mesma UBC, de áreas desmatadas ou florestadas, o que implicaria em diferenças de estabilidade geodinâmica (escorregamentos, erosão, etc.). Essa separação, que seria feita para um nível de compartimentação mais detalhado, não pode ser feita pela análise dos elementos texturais de relevo e drenagem. Isso acontece porque a variação decorrente na presença ou ausência da vegetação não se relaciona necessariamente à variações de relevo e drenagem.

Assim, uma sugestão para se solucionar tais casos seria a análise de formas texturais relacionáveis aos elementos fisiográficos de interesse (vegetacionais, sedimentológicos, etc.) e determinadas por variações tonais. Para isso entretanto são necessários estudos mais detalhados.

Além das considerações anteriores dois pontos devem ser destacados como essenciais para a realização da compartimentação fisiográfica:

1) A realização de uma divisão taxonômica ou cartográfica à nível de Províncias, Zonas e Subzonas deve ser feita sempre, preliminarmente à identificação das Unidades. Tal fato é justificado em razão de que essas compartimentações à nível mais geral estão relacionadas à aspectos tectônicos, litológicos, climáticos, etc. que

regem a evolução das UBCs. Assim a ocorrência de uma mesma "geoforma" em níveis taxonômicos diferentes pode significar unidades com comportamentos evolutivos diferentes, devido à influência dos aspectos citados, na evolução dos sistemas. Logo, uma dada geoforma situada na província Planáltica tem sua evolução diferente de uma geoforma similar na província Litorânica, onde as diferenças climáticas de uma província para outra acarretam, por exemplo, uma maior atuação do fator umidade na unidade situada no litoral;

2) Para que as unidades básicas de compartimentação sejam utilizadas para fins geotécnicos é imprescindível que seja realizada a verificação da homogeneidade e da similaridade. A verificação da homogeneidade justifica-se em função de que trata-se de um fator de grande importância para unidades geotécnicas para as quais se vai atribuir uma aptidão de uso, pois caso sejam identificadas áreas com propriedades internas variáveis, isto pode acarretar um comportamento diferenciado no interior da unidade, o que não é desejado. Em relação à verificação da similaridade, observa-se que sua importância reside na necessidade de se classificar áreas semelhantes (inicialmente diferenciadas) sob a mesma denominação.

Quanto à este último ponto sugere-se que ao invés de se realizar a verificação da similaridade e da homogeneidade qualitativamente, faça-se tal verificação segundo métodos quantitativos como os propostos por Vedovello e Mattos (1990). Tal preocupação é justificada pelo fato de que o uso de testes numéricos elimina a subjetividade que marca os testes realizados qualitativamente.

Em relação a realização da caracterização geotécnica segundo os critérios aqui utilizados, destaca-se que a mesma apresentou algumas dificuldades (ver item 5.2). Essas dificuldades indicam a necessidade de estudos mais detalhados para aperfeiçoar os métodos de inferência de dados geotécnicos a partir da interpretação da imagem.

Neste sentido, uma das possibilidades que se sugere, seria o estabelecimento de uma relação numérica (quantitativa) entre os fatores geotécnicos analisados e as propriedades texturais da imagem a eles relacionadas. Assim, com a realização de estudos específicos sobre esse aspecto talvez seja possível se chegar a determinação de uma relação entre "índices texturais" numéricos (referentes às propriedades dos elementos de textura) e valores absolutos (reais) de um determinado fator. Tal relação seria controlada a partir de dados referenciais obtidos "in situ".

Um outro ponto (relacionado à caracterização

geotécnica) que merece ser estudado mais a fundo refere-se a determinação dos fatores que sejam realmente básicos (e portanto suficientes) para a classificação das unidades geotécnicas. Tal preocupação deriva do fato de que certos fatores apresentam uma associação mútua entre suas classes, ou seja, a ocorrência de uma dada classe (de um dado fator) implica na ocorrência de outra dada classe (de um outro dado fator). Assim, em se confirmando tal correlação, a análise de apenas um desses dois fatores seria suficiente para classificar as unidades geotécnicas segundo ambos.

Além das sugestões de estudos para o aperfeiçoamento das técnicas de caracterização geotécnica utilizadas, pode-se destacar a possibilidade de realização dessa caracterização de uma forma alternativa.

Uma maneira para isso, seria a realização de estudos visando estabelecer uma correlação entre índices de alteração intempérica (das coberturas de alteração das UBCs) e os fatores geotécnicos condicionantes de um determinado uso ou ocupação. Em se conseguindo tal correlação a caracterização geotécnica poderia ser feita então, segundo os métodos propostos por Jiménez et al. (1990) e Mattos e Jiménez (1991), pela associação entre os valores dos índices de alteração intempéricas e as características texturais de uma dada unidade.

Em relação a cartografia final (carta de unidades geotécnicas para expansão urbana) deve-se ressaltar que a mesma foi realizada com o objetivo maior de exemplificar o uso do zoneamento geotécnico obtido. Assim sua utilização prática deve estar condicionada a uma avaliação dos "problemas" encontrados na execução do procedimento prático.

Tal cuidado é especialmente importante para o caso das baixadas litorâneas, as quais apresentaram o maior número de problemas para as diversas fases da pesquisa. Assim, embora tenham sido identificadas áreas favoráveis à ocupação nessa região, deve-se realizar um mapeamento específico (de uma possível área selecionada pelo planejamento) preliminarmente à sua ocupação, e visando identificar a ocorrência de possíveis formas fisiográficas subordinadas, inadequadas ao uso.

Um outro cuidado que deve ser destacado para a utilização prática da cartografia final refere-se às relações de vizinhança entre as unidades e está relacionada à movimentação dinâmica dos "materiais" de uma unidade para outra. Como exemplo cita-se uma área limítrofe entre uma baixada litorânea e uma região escarpada. Aí, ocorre uma faixa de terreno, já na região de baixada, que pode ser atingida por "lascas" de rochas desprendidas da porção

escarpada. Assim, embora uma dada unidade de baixada possa pertencer a classe I, essa faixa limite oferece risco à ocupação. Outro caso relacionado ao fluxo dinâmico de material de uma unidade para outra, refere-se a geração de "corridas de massas" a partir das unidades LBC e atingindo áreas das unidades LBF e LBM.

Independente das considerações apresentadas até aqui, pode-se concluir por fim que: a linha dorsal construída nesta pesquisa (compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e cartografia final) parece bastante adequada para a obtenção de um zoneamento geotécnico (através de sensoriamento remoto) que tenha a finalidade de subsidiar decisões sobre planejamentos regionais.

O "formato" em unidades diretamente relacionadas com os componentes da paisagem permite ainda a utilização desses zoneamentos geotécnicos em estudos integrados com informações ecológicas, sócio-econômicas, etc.) os quais visem subsidiar o manejo ambiental nas mais diversificadas regiões do país.

Destaca-se ainda que, a partir do estudo de caráter exploratório aqui realizado, devam ser feitos novos estudos (mais detalhados) sobre cada fase do procedimento apresentado. Estudos esses que poderão contribuir para a superação tanto de dificuldades práticas (encontradas na execução do método) como conceituais (relacionadas à terminologia utilizada nas diversas fases, a qual é muito conflituosa).

Assim, a continuidade das pesquisas nesta linha vão permitir a operacionalidade da metodologia visando maior rapidez na obtenção destes mapeamentos e um aumento no grau de confiabilidade das informações através de dados por satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. A evolução geomorfológica. In: A Baixada Santista. São Paulo, EDUSP. V.1, p.49-66, 1965.
- AB'SABER, A.N.; BERNARDES, N. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA, 18, Rio de Janeiro, 1958. Guia de Excursões. Rio de Janeiro, (4):1-103, 1958.
- ACKERSON, V.; FISH, G. An evaluation of landscape units. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(1-4):347-358, 1980.
- ALMEIDA, F.F.M.de Fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. Inst. Geogr. Geol., São Paulo, (41):169-263, 1964.
- _____. Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. Div. Geol. Min., Rio de Janeiro, DNPM, (241):1-36, 1967.
- _____. The system of continental rifts bordering of Santos Basin, Brazil. In: INT. SYMP. ON CONTINENTAL MARGINS OF ATLANTIC TYPE, São Paulo, 1975. An. Acad. Bras. Ci., São Paulo, 48 (supl.):15-26, 1976.
- ALMEIDA, F.F.M.de; HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; MELO, M.S.de História geológica. In: IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo: escala 1:500000. São Paulo, IPT, 1981. V.1, p.97-102.
- ALONSO, M.T.A. Vegetação. In: IBGE Geografia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1977. V.3, p.91-118.
- ANTROP, M. Structural information of the landscape as ground truth for the interpretation of satellite imagery. In: INT. SYMP. ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 7, ISPRS Commission VII, Enschede, 25-29 Aug. 1986. Remote sensing for resources development and environmental management; proceedings. Rotterdam, A.A.Balkema, 1986, V.1, p.3-8.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE) Proposta da ABGE ao COGEMIN. Jornal da ABGE, 54 (abr-jun):8, 1990.
- _____. Novo estatuto da IAEG. Jornal da ABGE, 54 (abr-jun):8, 1990.
- AZEVEDO, A.de Brasil: A terra e o homem. V.1: As bases físicas. Cia. Ed. Nac., São Paulo, 1964.

- BATOLLA JR., F.; SILVA, A.T.S.F.da; ALGARTE, J.P. O pré-Cambriano da região sul-sudeste do Estado de São Paulo e oeste-nordeste do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. Atas. São Paulo, SBG, p.324-337, 1981.
- BIGARELLA, J.J.; MEIS, R.M. Contribuição ao estudo da Formação Pariquera-Açu. Bol. Paran. Geogr., Curitiba, (16/17):17-41, 1965
- BOTERO, P.J. Fisiografía y estudio de suelos. Série 1. Docencia. Centro Interamericano de Fotointerpretação (C.I.A.F.). Bogotá. 1978.
- BOURNE, R. Regional survey. Oxford Forestry Memoirs, V.13 p.7-62, 1931.
- BROWN JR. K.S.; AB" SABER, A.N. Ice-age forest refuges and evolution in the neotropics. Paleoclimas, 3, São Paulo, IG/USP, 1979.
- CAMARGO, F.P. Geologia de Engenharia. Construção Pesada, 6, (61):101-102 fev. 1976.
- CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. General report on survey of Katherine - Darwin region, 1949. CISIRO Australian Land Research Séries nº 1, 1953.
- COTTAS, L.R. Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento: seus objetivos entre as ciências geológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1976. Anais. Rio de Janeiro, SBG, V1, p.170-179, 1984.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. Geomorfologia, (21):8-13. 1970.
- DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo; primeiro esboço de divisão regional. Geografia, São Paulo, 1(2):117-169, 1935.
- DEWOLF, Y. Interêt et princips d'une cartographie des formatios superficielles. Caen. Assoc.de Publications de la Facult. des Letters et Scien. Humaines de l'Univers. de Caen. 1965.
- DIAS, R.G.; GEHLING, W.Y.Y.; GOLBERT, R. Proposição de um método de obtenção de características geotécnicas de solos superficiais usando levantamentos pedológicos, topográficos e geológicos. In: CONGRESSO BRAS. DE GEOL. DE ENG., 4, Belo Horizonte, 1984 Anais. Belo Horizonte ABGE, V.2 P.367-386, 1984.

- DONZELLI, P.L.; VALERIO FILHO, M.; NOGUEIRA, F.P. PEREZ FILHO, A.; KOFFLER, N.F. Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos aplicados a solos. Revista Bras. de Ciênc. do Solo, 7(1):89-94, jan./abr. 1983.
- DUCHAUFOUR, P. Pedologie; pedogenèse et classification. Paris, Masson, V.1, 1977.
- FULFARO, V.J.; SUGUIO, K. Vertical movements in continental southern Brazil during the Cenozoic. In: Morner, N.A., ed. Earth rheology, isostasy and eustasy. New York, John Wiley & Sons, 1990, p.419-425.
- GOOSEN, D. Interpretacion de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos. Roma, Inst. Intern. para Levantam. Aereo y Ciênc. Terrestres (ITC), 1968.
- GRANT, K. The PUCE programme for terrain calculation for engineering purpose. Tech. paper n°19, CSIRO Div. App. Geomech. 1974.
- GUERRA, A.T. Dicionário geológico-geomorfológico. 7ª ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1987. 446p.
- GUY, M. Quelques principes et quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. Acte du Symposium International de Photo-Interpretation, Vol.1, p. 21-41, Paris, 1966.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. Os granitos e granitóides da região de dobramentos sudeste nos estados de São Paulo e Paraná. In: CONGR. BRAS. DE GEOL., 30, Recife, 1978. Anais recife, SBG, V1, p.382-391, 1978.
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. O embasamento pré-cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: IPT Mapa geológico do Estado de São Paulo: escala 1:500000 São Paulo, IPT, 1981 V1, p.12-45.
- HASUI, Y.; FONSECA, M.J.G. Região VI. In: DNPM Geologia do Brasil, Brasília, DNPM, 1981.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: CONGRES. BRAS. DE GEOL., 30, Recife, 1978. Anais. recife, SBG, V1, P.368-381, 1978.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) Estudos geológicos e sedimentológicos no estuário santista e na baía de Santos. São Paulo. 1974. (Relatório IPT, 7443).
- _____. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981, V1. (Monografias, 5).

- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG)
Reports of two working groups. BIAEG, n°6.
- JIMÉNEZ, J.R.R.; GODOY, A.M. Metodologia para visão tridimensional das imagens "Landsat". Geografia, 7(13-14):163-167, 1982.
- JIMÉNEZ, J.R.R.; MATTOS, J.T.de; ABRAHÃO, A. "Estudo da correlação entre as Respostas Espectrais e os índices de Alteração Intempéricas dos Maciços Rochosos (cristalino) numa região do Litoral Paulista". In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - International Symposium on Primary Data Acquisition. Manaus, AM, de 24 a 29 de junho de 1990.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil oriental. Rev. Bras. Geogr., Rio de Janeiro, 18:147-256, 1956.
- LEINZ, V.; LEONARDOS, O.H. Glossário geológico. São Paulo, Ed. Nacional / EDUSP 1970.
- LEMOS, R.C.de; SANTOS, R.D. dos Manual de descrição e coleta de solo no Campo. SBCS/SNLCS, Campinas, 1982.
- MARETTI, C.C. Cartas geológico-geotécnicas da região estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia. Dissert. de Mestrado em Geotecnia. São Carlos, USP, 1989.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. Le quaternaire marin du litoral brésilien entre Cananéia et Barra de Guaratiba. In: INT. SYMP.ON COSTAL EVOLUTION IN THE QUATERNAIRE, São Paulo, Proceedings. São Paulo, 1978, IGCP/IGUSP/SBG p.296-331 1979.
- MATTOS, J.T. de; OHARA, T.; JIMÉNEZ, J.R.R. "Caracterização de estadios de meteorização de maciços rochosos através de índices pedogeoquímicos relativados e propriedades morfoaniosotrópicas obtidas com TM/LANDSAT e SPOT". In: V Simpósio Latinoamericano de Percepcion Remota. Cuzco, Peru, de 28 de outubro a 01 de novembro de 1991.
- MATTOS, J.T. de; JIMÉNEZ, J.R.R. "A Serra do Mar e seus estágios intempéricos avaliados por dados geopedoquímicos e de Sensoriamento Remoto". In: V Simpósio Latinoamericano de Percepcion Remota. Cuzco, Peru, de 28 de outubro a 01 de novembro de 1991.
- MATULA, M. Present state of enginnering geological mapping in the central european countries. Bulletin n°4, Int. Ass. Eng. Geol., Krefeld. 1970.

- MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Rev. Bras. Geoc., 8:11-12 1978.
- MONBEING, P. A divisão regional do Estado de São Paulo. An. Assoc. Geógr. Bras., São Paulo, 1(1945/1946):19-30, 1949.
- MORAES REGO, L.F.de Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua genesis. São Paulo, Inst. Astron. Geof. 1932.
- OLIVEIRA, A.M.S. Estudo da percolação d"água em maciços rochosos para o projeto de grandes barragens. Dissertação de Mestrado. São Paulo, IG-USP 1981.
- OLIVEIRA, W.J. Estudo dos aspectos geológicos da região sudeste do estado de Rondônia através do emprego de uma nova abordagem metodológica usando dados de satélite. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1989.
- OLIVEIRA, W.J.; MATTOS, J.T.de; JIMÉNEZ, J.R.R. Contribuição para o mapeamento geológico da região sudeste do estado de Rondônia através de uma sistemática de estudos usando dados de satélite. In: SIMP. LATINOAMERICANO DE PERCEPC. REMOTA, 4, Bariloche, 1989. Anais. Bariloche, SELPER, T.2, P.543-552.
- PARADELLA, W.R. Introdução ao processamento digital de imagens de sensores remotos aplicado a geologia. São José dos Campos, INPE, 1990 (INPE-5023-rpe/616).
- PEDRO, G. A alteração das rochas em condições superficiais. Notícias Geomorfológicas, 9(17):3-14, 1969.
- PRANDINI, F.L. O Brasil e a geologia de planejamento territorial e urbano In: CONG. BRAS. DE GEOL. DE ENG., 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais. Rio de Janeiro, ABGE, V3 p.354-370.
- PRANDINI, F.L.; GUIDICINI, G.; GREHS, S.A. Geologia ambiental ou de planejamento. In: CONG. BRAS. DE GEOL., 28, Porto Alegre, 1974. Anais. SBG, V7, p.273-290.
- PROJETO RADAMBRASIL Pedologia. In: _____ Folha SF. 23/24 Rio de Janeiro /Vitória. Rio de Janeiro, 1983. p.385-552. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- QUEIROZ NETO, J.P.de; KUPPER, A. Os solos. In: A Baixada Santista: aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP, V1, 1965.

- RIEDEL, P.S. Estudo das coberturas de alteração de parte do centro leste paulista através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4849-TDL/364).
- RIEDEL, P.S.; MATTOS, J.T.de; JIMÉNEZ, J.R.R. Uso de sensoriamento remoto no estudo das formações superficiais visando o desenvolvimento econômico integrado - caso exemplo: regiões de Rio Claro, SP. In: ENCONTRO NAC. DE SENSOR. REMOTO APLIC. AO PLAN. MUNICIPAL, Campos do Jordão, 1987.
- RIVERAU, J.C. Notas de aula do curso de fotointerpretação Soc. Intern. Cult. Esc. Geol. (ouro Preto) em XI Semana de Estudos, 1972.
- SALOMÃO, F.X.T. Interpretação geopedológica aplicada a estudos de geologia de engenharia. Dissert. de Mestrado em Geologia. São Paulo, USP, 1984.
- _____. Interpretação geopedológica aplicada a estudos de geologia de engenharia. São Paulo, ABGE, 1985. (Síntese de Teses de Pós-Graduação, 3).
- SANEJOUAND, R. La cartographie geotechnique en France. Lab. Central Ponts et Chaussées - ARMINES, [Paris], 1972.
- SANTOS, A.R.dos Por menos ensaios e instrumentação e por uma maior observação da natureza. In: CONG. BRAS. DE GEOL. DE ENG., 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais. ABGE, V.1, p.177-186.
- _____. Afinal o que é geologia de engenharia? J.da ABGE, 51 p.4 1989.
- _____. Geologia de engenharia: conceitos básicos e perspectivas. J.da ABGE, 52, p.6-7, 1990.
- SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. São Paulo, CESP, 1966.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias Geomorfológicas, 6(32):71-104, 1976.
- SUGUIO, K. ; MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERN. SYMPOSIUM ON COSTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, São Paulo, 1978. Special Publication, São Paulo, IGCB, IGUSP/SBG, 1978.
- SUGUIO, K.; PETRI, S. Stratigraphy of the Iguape-Cannéia lagoonal region sedimentary deposits, São Paulo state, Brazil. Bol.IG, São Paulo, 4: 1 -20, 1973.

- THOMAS, A. Refléxion sur la cartographie géotechnique - Proceedings. In: INT. CONG. Eng. Geol., Paris, 1970.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T.de Verificação de parâmetros e propriedades morfoambientais, em imagens de satélite, para estudos do planejamento de áreas litorâneas. In: SIMP. BRAS.DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, Manaus, 24-29 jun 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990, p.671-675
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos, INPE, 1982.
- ZUQUETTE, L.V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de Mestrado em Eng. Civil. São Carlos, USP, 1987.

APÊNDICE 1

EXEMPLOS DE CLASSES DE TERRENOSa) Classes de Terreno (PUCE)

- Componente de Terreno: constituem unidades determinadas por critérios geomorfológicos. Em termos de morfologia de encostas é definido por uma curvatura constante, ou seja, possui forma côncava, convexa ou retilínea, e nunca duas ou todas dessas formas conjugadas. A litologia, a evolução estrutural, a associação de solos e de vegetação devem ser constantes numa mesma relação espacial. Ressalva-se, entretanto, que variações microtopográficas (100 m² em área e 1 m em amplitude), ocorrência de afloramentos de rocha, ou elementos introduzidos "acidentalmente" na paisagem não são considerados na definição da classe, mas apenas na fase de descrição dessa classe.
- Unidade de Terreno: é determinada por uma forma de relevo específica para uma certa área do terreno. Possui uma associação de rochas, solos e vegetação característica dentro de seus limites.
- Padrão de Terreno: sua determinação é baseada na uniformidade de aspectos geomorfológicos, ou seja, relevo, drenagem e modelos de paisagem (incluindo topografia, associação de solos, rochas e vegetação).
- Província: é determinada por áreas geologicamente uniformes a nível de grupo, apresentando padrões de relevo repetidos e limitados por relações espaciais específicas.

b) Classes de Terreno (IAEG) - (em relação aos atributos do meio físico)

- Região: é determinada com base na uniformidade dos elementos estruturais geotectônicos individuais.
- Área: baseada na uniformidade das unidades geomorfológicas a nível regional.
- Zonas: sua determinação considera a homogeneidade litológica e o arranjo estrutural do complexo formado pelas litofácies solos/rochas.
- Distritos: considera a uniformidade das condições hidrogeológicas e dos fenômenos geodinâmicos.

c) Classes de Terreno (IAEG) - (em relação à homogeneidade litológica, genética e física)

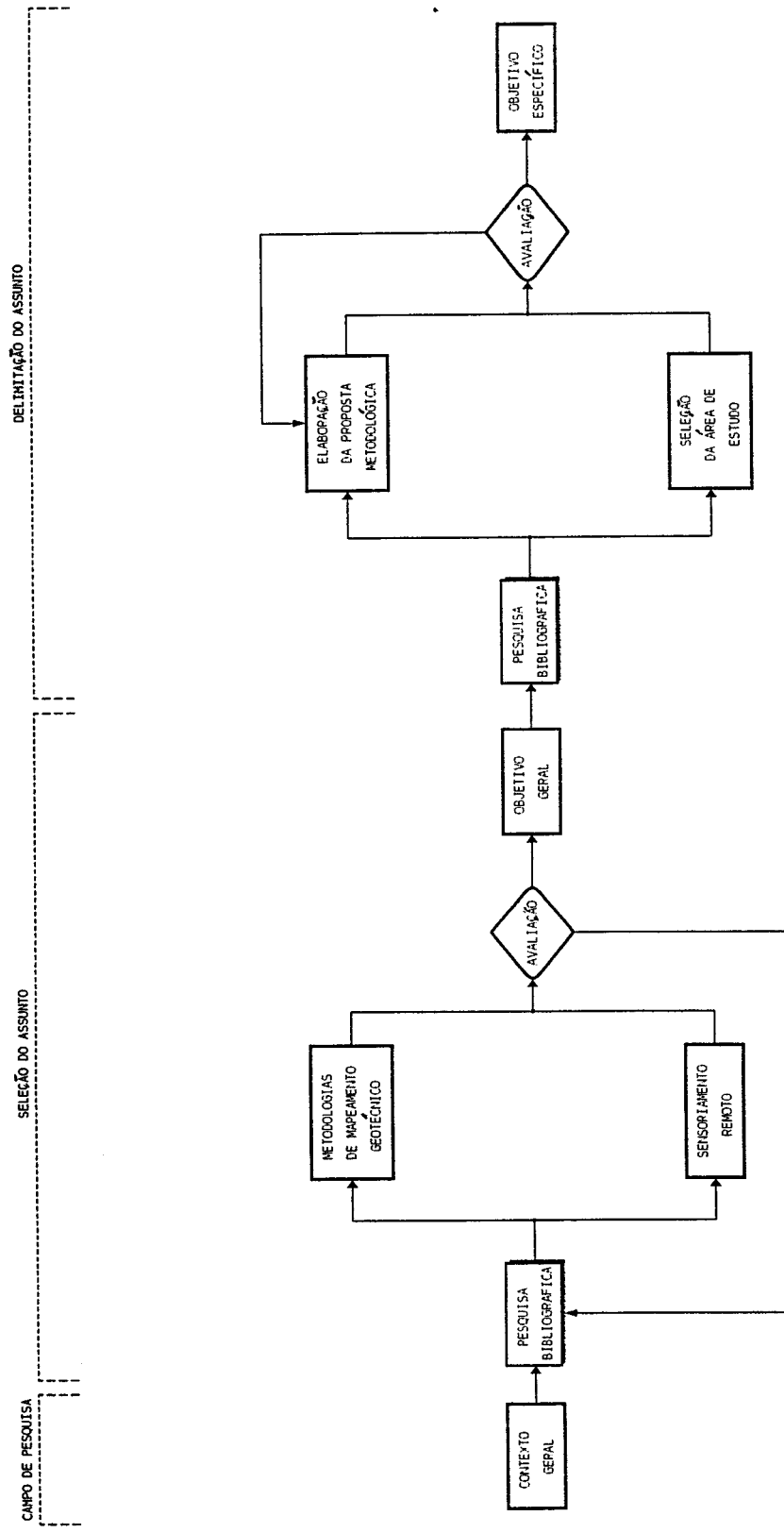
- Tipo Geotécnico: apresenta uniformidade na litologia e no estado físico e são caracterizados por índices determinados estatisticamente a partir da determinação das propriedades físicas e mecânicas individuais.
- Tipo Litológico: apresenta homogeneidade em relação a composição, textura e estrutura, mas usualmente é

heterogêneo quanto ao estado físico. Torna possível, apenas, a obtenção de uma idéia geral das propriedades de engenharia.

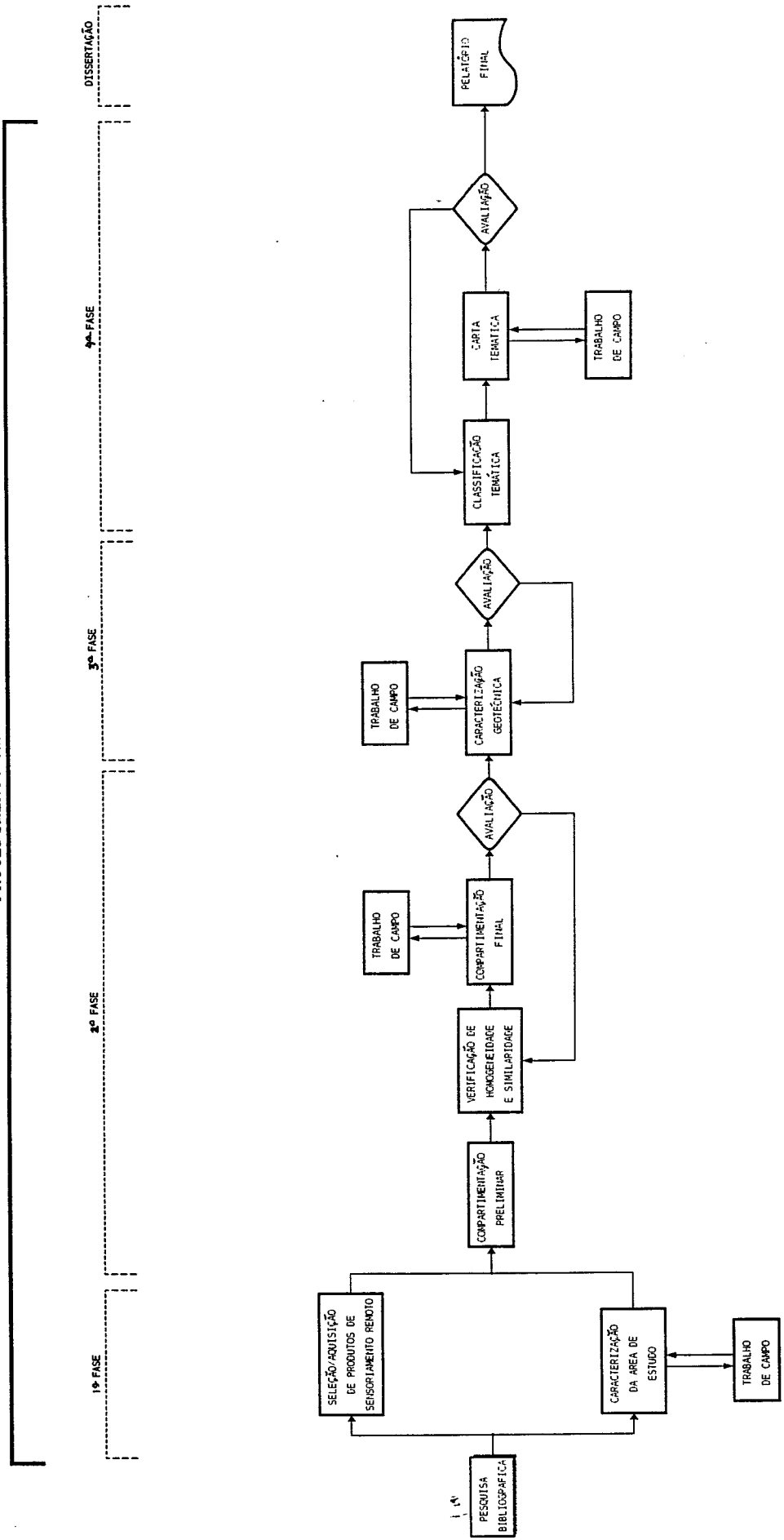
- Complexo Litológico: engloba um grupo de tipos litológicos relacionados geneticamente e desenvolvidos sobre as mesmas condições geotectônicas e paleogeográficas. As propriedades físicas e mecânicas não podem ser definidas para o complexo como um todo, sendo possível, apenas, a observação do comportamento geral do mesmo, bem como informações sobre os tipos litológicos que o compõem.

- Suite Litológica: constitui uma associação de Complexos Litológicos que tenham se desenvolvido sob condições tectônicas e paleogeográficas similares, sendo que poucas propriedades geotécnicas podem ser definidas.

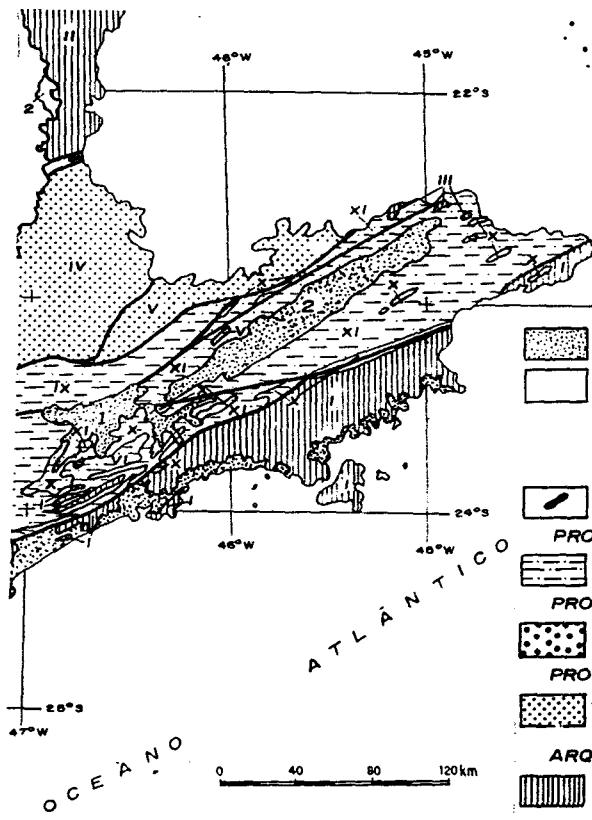
CONCEPÇÃO DA PESQUISA

















PROCEDIMENTO METODOLÓGICO



FATORES \ CLASSES	I	II	III	IV
ALTERABILIDADE	muito alta	alta	média	baixa
PERMEABILIDADE	alta	média	baixa	muito baixa
DECLIVIDADE	< 8%	8 a 15%	15 a 25%	> 25%
TIPO DE MATERIAL DO MANTO DE ALTERAÇÃO	argiloso	argilo - arenoso	areno - argiloso	arenoso
ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	> 2,00m	2,00 - 1,00 m	1,00 - 0,30m	< 0,30m



-  Coberturas Cenozóicas: 1-BACIA DE SÃO PAULO
2-BACIA DE TAUBATE
-  Bacia do Paraná: 1-Grupo Bauru
2-Grupo São Bento e intrusivas básicas associados
3-Grupo Passa Dois
4-Grupo Tubarão
5-Grupo Paraná
-  Epimetamorfitos da Formação Eleutério
- PROTEROZÓICO SUPERIOR**
 -  IX - Grupo São Roque
 -  X - Complexo Pilar do Sul
 -  XI - Complexo Embu
- PROTEROZÓICO MÉDIO**
 -  VIII - Grupo Canastra
- PROTEROZÓICO INFERIOR**
 -  IV - Complexo Amparo
 -  V - Complexo Paraíba do Sul
 -  VI - Complexo Turvo Cajati
 -  VII - Formação Setuva
- ARQUEANO**
 -  I - Complexo Costeiro
 -  II - Complexo Varginha
 -  III - Complexo Juiz de Fora

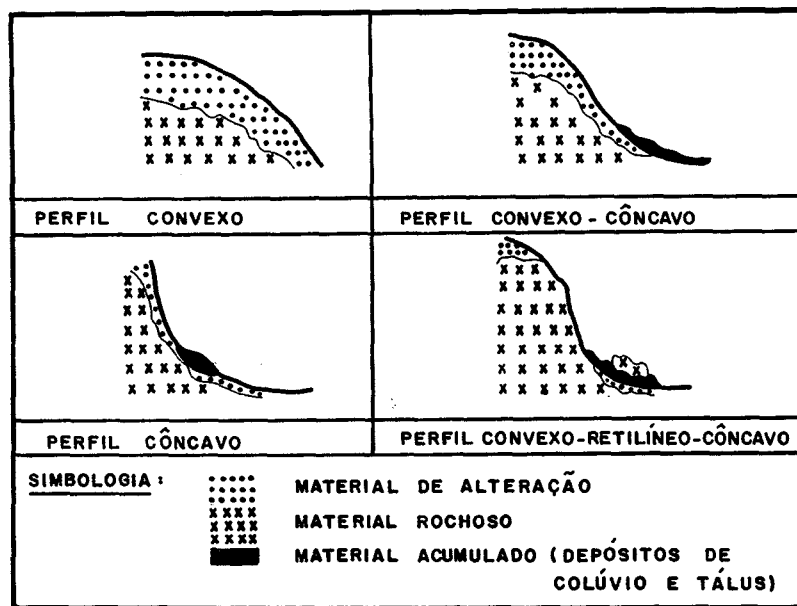


Figura 5

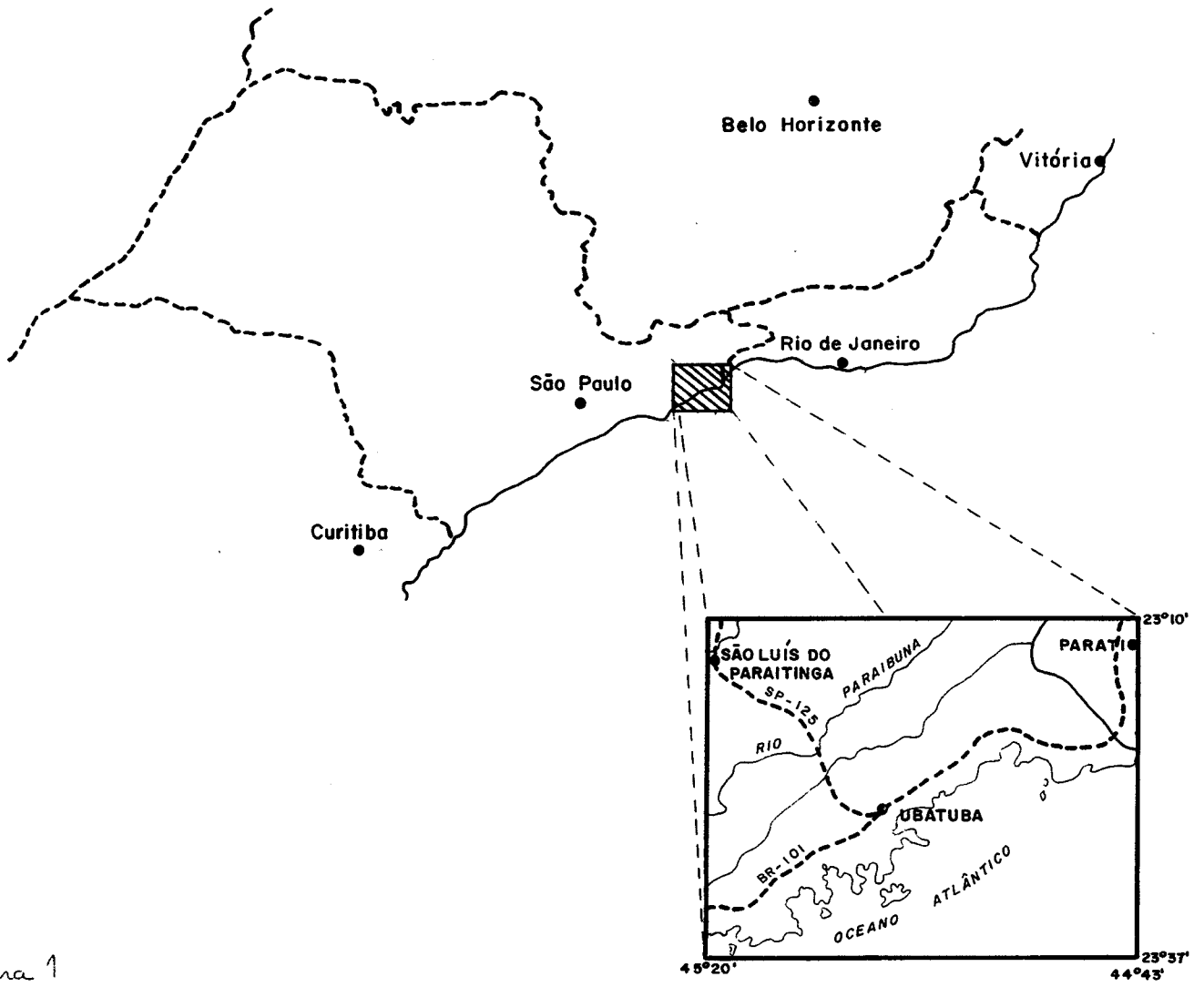


Figura 1