



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
**Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS GERAIS DE MAPEAMENTO  
GEOTÉCNICO VISANDO FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A  
CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO TRÓPICO ÚMIDO E APLICAÇÃO  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1: 50.000**

TESE APRESENTADA POR

**TONY CARLOS DIAS DA COSTA**

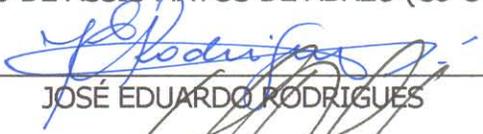
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

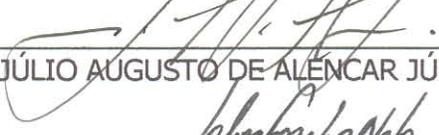
Data de Aprovação: 09 de novembro de 2001.

**Comitê de Tese:**

  
\_\_\_\_\_  
NILSON GANDOLFI (Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (Co-Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

  
\_\_\_\_\_  
JÚLIO AUGUSTO DE ALENCAR JÚNIOR

  
\_\_\_\_\_  
SALIM HABIB FRAIHA NETO

*A minha futura esposa Suzy e aos meus pais  
Hemetério e Eunice, pelo amor sempre presente. O  
que ideologias, palavras e dinheiro não poderiam  
me conceder.*

## AGRADECIMENTOS

Aos Professores Nilson Gandolfi e Francisco de Assis Matos de Abreu pela retaguarda sempre presente e pela excelente orientação fornecida durante a elaboração deste trabalho, bem como pela compreensão ímpar nos momentos de dificuldades, sem a qual nada seria possível.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Técnico de Nível Superior- CAPES, pela concessão da bolsa de estudo na fase inicial do programa de doutorado.

Ao Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Pará, pela infraestrutura laboratorial, sem a qual este trabalho não seria possível.

À empresa Solotécnica Ltda, pelo fornecimento de valiosos materiais e informações diversas.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Construção Civil e do Centro de Geociências da UFPA pela amizade.

Ao Técnico em Mecânica dos solos Emanuel Cordeiro Garcez, pela ajuda na execução dos ensaios laboratoriais.

À discente de geologia Marcilene Dantas Ferreira e aos hoje geólogos Dirlene Gomes, Alexandre Silva Santos, Aristotelina Ferreira da Silva que executam e executaram trabalhos de conclusão de curso em mapeamento geotécnico, pelo auxílio na elaboração dos documentos cartográficos.

Aos colegas do grupo de geotécnia da UFPA Paulo Oliveira, Salim Habib Fraiha Neto, Júlio Augusto de Alencar Júnior, Edickson Paes, Denilson Sodré e Gerson Oliveira por acreditarem na viabilidade da minha contratação na UFPA e pelos esforços sem medida para que a mesma se efetivasse.

Em especial, aos amigos Ronaldo Mendes (Ronaldididinho!!!), Cláudia Cerveira de Almeida, Milene Barros Ferreira e Alan Cardek Brunelli Gomes, pela leitura crítica do texto final, impressão de mapas, apoio diverso e irrestrito na fase decisiva de elaboração da presente tese.

Em especial também, aos amigos e professores Jamer Andrade da Costa e Andréa da Costa que emprestaram-me seus conhecimentos em geoprocessamento e toda a infra-estrutura da empresa Geoinformatica Ltda, para elaboração dos mapas, sem o qual este trabalho não teria sido apresentado em tempo hábil.

## EPÍGRAFE

*Esse poema vai assim tal qual o recebi, revelando desta forma uma história que só eu compreendo. Em tudo que diz, expressa o que eu mesmo poderia ter escrito se capaz fosse de expor tudo que penso de maneira tão clara.*

**FERNANDO PESSOA**

**TABACARIA**

Não sou nada.  
Nunca serei nada.  
Não posso querer ser nada.  
À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo.

Janelas do meu quarto,  
Do meu quarto de um dos milhões do mundo que  
[ninguém sabe quem é  
(E se soubessem quem é, o que saberiam?),  
Dais para o mistério de uma rua cruzada constantemente  
[por gente,  
Estou hoje perplexo, como quem pensou e achou e  
[esqueceu.  
Estou hoje dividido entre a lealdade que devo  
À Tabacaria do outro lado da rua, como coisa real por  
[fora,  
E à sensação de que tudo é sonho, como coisa real por  
[dentro.

Falhei em tudo.  
Como não fiz propósito nenhum, talvez tudo fosse nada.  
Que sei eu do que serei, eu que não sei o que sou?  
Ser o que penso? Mas penso ser tanta coisa!  
E há tantos que pensam ser a mesma coisa que não pode  
[haver tantos!

Gênio? Neste momento  
Cem mil cérebros se concebem em sonho gênios como  
[eu,  
E a história não marcará, quem sabe?, nem um,  
Nem haverá senão estrume de tantas conquistas futuras.  
Não, não creio em mim.  
Em todos os manicômios há doidos malucos com tantas  
[certezas!  
Não, nem em mim...  
Em quantas mansardas e não-mansardas do mundo  
Não estão nesta hora gênios-para-si-mesmos sonhando?  
O mundo é para quem nasce para o conquistar  
E não para quem sonha que pode conquistá-lo, ainda que  
[tenha razão.

Tenho sonhado mais que o que Napoleão fez.  
Tenho apertado ao peito hipotético mais humanidades do  
[que Cristo  
Tenho feito filosofias em segredo que nenhum Kant  
[escreveu.  
Mas sou, e talvez serei sempre, o da mansarda,  
Ainda que não moré nela;  
Serei sempre o que não nasceu para isso;  
Serei sempre só o que tinha qualidades;  
Serei sempre o que esperou que lhe abrissem a porta ao  
[pé de uma parede sem porta,

(Come chocolates, pequena;  
Come chocolates!  
Olha que não há mais metafísica no mundo senão  
[chocolates.  
Olha que as religiões todas não ensinam mais que a  
[confeitaria.  
Come, pequena suja, come!

Pudesse eu comer chocolates com a mesma verdade com  
[que comes!  
Mas eu penso e, ao tirar papel de prata, que é de folha de  
[estanho,  
Deito tudo para o chão, como tenho deitado a vida.)

Vivi, estudei, amei, e até cri,  
E hoje não há mendigo que eu não inveje só por não ser eu.  
Olho a cada um os andrajos e as chagas e a mentira,  
E penso: talvez nunca vivesses nem estudasses nem  
[amasses nem cresces  
(Porque é possível fazer a realidade de tudo isso sem fazer  
[nada disso);

Fiz de mim o que não soube,  
E o que podia fazer de mim não o fiz.  
O dominó que vesti era errado.  
Conheceram-me logo por quem não era e não desmenti, e  
[perdi-me.  
Quando quis tirar a máscara,  
Estava pegada à cara.  
Quando a tirei e me vi ao espelho,  
Já tinha envelhecido.  
Estava bêbado, já não sabia vestir o dominó que não tinha  
[tirado.  
Deitei fora a máscara e dormi no vestiário

E vou escrever esta história para provar que sou sublime.  
Mas o Dono da tabacaria chegou à porta e ficou à porta.  
Olho-o com o desconforto da cabeça mal voltada  
E com o desconforto da alma mal-entendendo.  
Ele morrerá e eu morrerá.  
Ele deixará a tabuleta, eu deixarei versos.  
A certa altura morrerá a tabuleta também, e os versos  
[também.  
Depois a certa altura morrerá a rua onde estive a tabuleta,  
E a língua em que foram escritos os versos.  
Morrerá depois o planeta girante em que tudo isto se deu.  
Em outros satélites de outros sistemas qualquer coisa  
[como gente  
Continuará fazendo coisas como versos e vivendo por  
[baixo de coisas como tabuletas,

Mas um homem entrou na Tabacaria (para comprar  
[tabaco?)  
E a realidade plausível cai de repente em cima de mim.  
Semlargo-me enérgico, convencido, humano,  
E vou tencionar escrever estes versos em que digo o  
[contrário.

(Se eu casasse com a filha da minha lavadeira  
Talvez fosse feliz.)  
Visto isto, levanto-me da cadeira. Vou à janela.  
O homem saiu da Tabacaria (metendo troco na algibeira  
[das calças?).  
Ah, conheço-o; é o Esteves sem metafísica.  
(O Dono da tabacaria chegou à porta.)  
Como por um instinto divino o Esteves voltou-se e viu-me.  
Acenou-me adeus, gritei Adeus ó Esteves!, e o universo  
Reconstruiu-se-me sem ideal nem esperança, e o Dono da  
[Tabacaria sorriu.

## SUMÁRIO

### Volume I

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
FIGURAS	xii
TABELAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SÍMBOLOS	xxi
RESUMO	01
ABSTRACT	02
1- INTRODUÇÃO	03
2 - ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS GERAIS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	06
2.1 - INTRODUÇÃO	06
2.2 - METODOLOGIA DA IAEG	09
2.2.1 - Princípios - conceituação	13
2.2.1.1 - Classificação dos mapas	13
2.2.1.2 - Unidades de mapeamento de solos e rochas	15
2.2.1.3 - Avaliação dos fenômenos geodinâmicos	15
2.2.1.4 - Princípios do zoneamento geotécnico	17
2.2.1.5 - Unidades territoriais taxonômicas para finalidade geral:	17
2.2.2 - Técnicas especiais para levantamento geotécnico	17
2.2.2.1 - Métodos geofísicos	18
2.2.2.2 - Sondagens e técnicas de amostragem	18
2.2.2.3 - Ensaios "in situ" e laboratório	19

<b>2.2.3 - Apresentação de dados nos mapas geotécnicos</b>	20
<b>2.3 - SISTEMÁTICA DE MATHEWSON E FONT</b>	21
<b>2.3.1 - O processo de planejamento</b>	21
<b>2.3.2 - As restrições ao planejamento</b>	23
<b>2.3.3 - Responsabilidades do geólogo de engenharia e a elaboração de mapas geotécnicos</b>	23
<b>2.4 - METODOLOGIA FRANCESA</b>	27
<b>2.4.1 - Classificação das cartas francesas</b>	28
<b>2.4.2 - Fatores considerados na elaboração das cartas geotécnicas</b>	29
2.4.2.1 - Carta de documentação	29
2.4.2.2 - Natureza e propriedades das rochas	30
<b>2.4.3 - Hidrologia</b>	33
2.4.3.1 - Método do estudo hidrogeológico	33
<b>2.4.4 - Geomorfologia</b>	34
<b>2.4.5 - Geodinâmica externa e geodinâmica interna</b>	35
2.4.5.1 - Geodinâmica externa	35
2.4.5.2 - Geodinâmica interna	35
<b>2.4.6 - Materiais naturais de construção</b>	35
<b>2.4.7 - Modificações do meio natural causadas pela ação do homem</b>	36
<b>2.4.8 - Cartas de aptidão</b>	36
2.4.8.1 - A necessidade de cartas de síntese	36
2.4.8.2 - Carta de zoneamento e cartas de aptidão	37
2.4.8.2.1 - A insuficiência da noção de carta de aptidão	37
2.4.8.2.2 - Problemas metodológicos do zoneamento geotécnico	38
<b>2.5 - METODOLOGIA AUSTRALIANA (PUCE - Pattern, Units, Components and Evaluation)</b>	39
<b>2.6 - METODOLOGIA DA EESC-USP</b>	41
<b>2.6.1 - Fundamentos gerais</b>	41
<b>2.6.2 - Mapas básicos fundamentais</b>	42
<b>2.6.3 - Mapas básicos opcionais</b>	45
<b>2.6.4 - Mapas auxiliares</b>	46

<b>2.6.5 - Cartas derivadas ou interpretativas</b>	47
<b>2.7 - METODOLOGIA DO IG-SP</b>	50
<b>2.7.1 - Metodologia</b>	52
<b>2.7.2 - Geologia</b>	52
<b>2.7.3 - Geomorfologia</b>	56
<b>2.7.4 - Climatologia</b>	57
<b>2.7.5 - Hidrogeologia</b>	57
<b>2.7.6 - Recursos minerais</b>	57
<b>2.7.7 - Geotecnia</b>	58
<b>2.7.8 - Uso ocupação do solo</b>	58
<b>2.7.9 - Diagnóstico do meio físico</b>	58
<b>2.8 - METODOLOGIA DO IPT</b>	59
<b>2.8.1 - Formulação de uma hipótese/modelo inicial orientativo</b>	60
<b>2.8.2 - Análise fenomenológica e de desempenho</b>	60
<b>2.8.3 - Mapeamento e compartimentação</b>	61
<b>2.8.4 - Representação</b>	62
<b>2.8.5 - Avaliação</b>	62
<b>2.9 - METODOLOGIA DO IG-UFRJ</b>	63
<b>2.10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	63
<b>3 - FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO TRÓPICO ÚMIDO</b>	67
<b>3.1 - INTRODUÇÃO</b>	67
<b>3.2 - ASPECTOS GERAIS</b>	67
<b>3.3 - PRINCÍPIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E ROCHAS PARA MAPEAMENTO GEOTÉCNICO</b>	71
<b>3.4 - UNIDADE DE MAPEAMENTO DE SOLOS E ROCHAS</b>	73
<b>3.5 - CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS</b>	74
<b>3.6 - CONDIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS</b>	75
<b>3.7 - AVALIAÇÃO DOS FENÔMENOS GEODINÂMICOS</b>	75

3.8 - TÉCNICAS PARA LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	77
<b>3.8.1 - Procedimentos gerais de mapeamento geotécnico</b>	77
3.8.1.1 - Descrição geotécnica das rochas e solos	79
3.8.1.2 - Mapeamento de rochas e solos para fins de engenharia	79
3.8.1.3 - Mapeamento das condições hidrogeológicas	81
3.8.1.4 - Mapeamento dos resultados dos processos geodinâmicos	81
3.9 - TÉCNICAS E CONCEITOS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS	81
<b>3.9.1 - Sensoriamento remotos</b>	82
<b>3.9.2 – Geofísica aplicada</b>	86
<b>3.9.3 - Amostragem dos solos e rochas</b>	88
<b>3.9.4 - Sistema de informações geográficas (SIG)</b>	89
3.9.4.1 – Estruturas dos sistemas de informações geográficas	90
3.9.4.2 – Banco de dados geográficos	92
3.9.4.3 - Sistema de gerenciamento de banco de dados	95
3.9.4.3.1 – Módulos de um SIG	95
3.9.4.3.2 – Representação de dados em mapas	95
3.9.4.3.3 – Análise em SIG	97
<b>3.9.5 - O conceito de “landforms”</b>	99
<b>3.9.6 - Ensaios "in situ" e de laboratório</b>	102
3.10 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	103
3.11 - APRESENTAÇÃO DE DADOS NOS MAPAS GEOTÉCNICOS	104
<b>3.11.1 - Representação tridimensional em mapas</b>	108
<b>3.11.2 - Seções cruzadas</b>	108
3.12 – CLASSIFICAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	109
<b>3.12.1 - De acordo com a escala</b>	109
<b>3.12.2 - De acordo com as fases de realização do mapeamento</b>	109
3.12.2.1 - Mapas de inventário	110
3.12.2.1.1 - Mapa de documentação	110
3.12.2.1.2 - Mapa topográfico	111

3.12.2.1.3 - Mapa geológico	111
3.12.2.1.4 - Mapa do substrato rochoso	111
3.12.2.1.5 - Mapa de materiais inconsolidados	111
3.12.2.1.6 - Mapa de águas superficiais	112
3.12.2.1.7 - Mapa das águas subterrâneas	112
3.12.2.1.8 - Mapa pedológico	113
3.12.2.1.9 - Mapa geomorfológico	113
3.12.2.1.10 - Mapas climáticos	113
3.12.2.1.11 - Mapa de uso e ocupação do solo	114
3.12.2.1.12 - Mapa de cadastros de sondagens de simples reconhecimento	114
3.12.2.1.13 - Mapa de cadastros de poços tubulares profundos	114
3.12.2.1.14 - Mapa de cadastros de áreas degradadas	115
3.12.2.2 - Mapas de diagnóstico	115
3.12.2.2.1 - Mapa de zonas de produtividade similar	115
3.12.2.2.2 - Mapa de potencial de risco à erosão	116
3.12.2.2.3 - Mapa de corrosividade	118
3.12.2.2.4 - Mapas de iso-valores de SPT	118
3.12.2.2.5 - Mapa de profundidade do nível d'água	118
3.12.2.2.6 - Mapa do impenetrável	118
3.12.2.2.7 - Mapa de áreas de recarga	118
3.12.2.2.8 - Mapa de áreas de várzea	119
3.12.2.2.9 - Mapa de declividade	119
3.12.2.2.10 - Mapa de profundidade do substrato rochoso	121
3.12.2.2.11 - Mapa de faixas de proteção permanente dos corpos d'água	121
3.12.2.2.12 - Mapa de expansibilidade	122
3.12.2.2.13 - Mapa de formas e comprimento das encostas	122
3.12.2.2.14 - Mapa de salinização	122
3.12.2.2.15 - Mapa de grau de alteração	123
3.12.2.2.16 - Mapa de canais/km <sup>2</sup>	123
3.12.2.2.17 - Mapa de densidade de fraturamento	123
3.12.2.2.18 - Aspectos gerais	123

3.12.2.3 - Cartas da fase de prognóstico	125
3.12.2.3.1 - Carta para fundações	125
3.12.2.3.2 - Carta para escavabilidade	127
3.12.2.3.3 - Carta para estabilidade de taludes/ocorrência de movimentos de massa	129
3.12.2.3.4 - Carta de materiais para construção civil	131
3.12.2.3.5 - Carta para obras viárias/estradas	132
3.12.2.3.6 - Carta para obras enterradas/estocagem subterrânea	134
3.12.2.3.7 - Carta de áreas preferenciais à disposição de resíduos sólidos domésticos	135
3.12.2.3.8 - Carta de vulnerabilidade natural dos aquíferos	136
3.13 - O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO UM PROCESSO DINÂMICO	138
3.14 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
<b>4 - MÉTODO APLICADO</b>	<b>141</b>
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	141
4.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	142
4.3 - ETAPAS DO TRABALHO	144
4.3.1 - Fase pré - campo	144
4.3.2 - Fase de campo	145
4.3.3 - Fase pós campo	147
4.4 - MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÃO-DE-OBRA	148
<b>5 - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1:50.000</b>	<b>150</b>
5.1 - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO I)	150
5.2 - CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO II)	151
5.3 - MAPA GEOLÓGICO (ANEXO III)	152
5.3.1 - Aspectos geotectônicos	152
5.3.2 - Unidades litológicas	156
5.3.2.1 - Formação Pirabas	160
5.3.2.2 - Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras	161

5.3.2.2.1 - Horizonte de Solo	166
5.3.2.2.2 - Horizonte Ferruginoso	169
5.3.2.2.3 - Horizonte Argiloso	172
5.3.2.3 - Sedimentos Inconsolidados	188
5.4 - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO IV)	190
<b>5.4.1 - Características dos materiais inconsolidados</b>	191
<b>5.4.1.1 - Unidade I</b>	197
<b>5.4.1.2 - Unidade II</b>	198
<b>5.4.1.3 - Unidade III</b>	199
5.5 - MAPA DE FAIXAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DOS CORPOS D'ÁGUA (Anexo V)	200
5.6 - MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (Anexo VI)	202
5.7 - MAPA DE ÁREAS DE VÁRZEA E TERRA FIRME (Anexo VII)	206
5.8 - MAPA DE USO DO SOLO (Anexo VIII)	209
5.9 - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (ANEXO IX)	210
<b>5.9.1 - Substâncias minerais não-metálicas de emprego direto na indústria cerâmica</b>	210
<b>5.9.2 - Substâncias minerais não-metálicas de emprego direto na construção civil</b>	211
5.9.2.1 - Areias e seixos utilizados na construção civil da RMB	212
<b>5.9.3 - Definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção</b>	222
5.10 - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	224
5.11 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	228
<b>5.11.1 - Quanto aos produtos cartográficos elaborados para a Região Metropolitana de Belém, escala 1:50.000</b>	228
<b>5.11.2 - Quanto ao uso de Sistema de Informações Geográficas</b>	232

<b>6 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	233
6.1 - QUANTO À ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS GERAIS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	233
6.2 - QUANTO A FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO TRÓPICO ÚMIDO	235
6.3 - QUANTO AOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1:50.000	235
6.4 - QUANTO AO USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	239
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	240
VOLUME II	
ANEXOS	
I - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	257
I.I - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1:50.000	258
I.II - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO DA ÁREA CENTRAL DE BELÉM, ESCALA 1:10.000	259
II - CARTA DE DECLIVIDADE	260
III - MAPA GEOLÓGICO	261
IV - CARTA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	262
V - MAPA DE FAIXAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DOS CORPOS D'ÁGUA	263
VI - MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	264
VII - MAPA DE ÁREAS DE VÁRZEA E TERRA FIRME	265
VIII - MAPA DE USO DO SOLO	266
IX - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	267
X - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO	268

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

Figura 1.1 – Crescimento populacional da espécie humana. (Coch <i>apud</i> ABGE 1998)	05
Figura 2.1 - Organograma geral da proposta metodológica da IAEG.	12
Figura 2.2 - Organograma de elaboração de mapas geotécnicos (mapas para planejamento do uso do solo) a partir de informações geológicas. (Mathewson & Font 1973).	25
Figura 2.3 - Organograma do inventário do meio físico, (Instituto Geológico 1995).	53
Figura 2.4 - Organograma do diagnóstico do meio físico, (Instituto Geológico 1995)	54
Figura 2.5 - Organograma do diagnóstico do meio físico e da divulgação do produto final, (Instituto Geológico 1995)	55
Figura 2.6 – Exemplo de mapa geológico-geotécnico da Área de Jacarepaguá (a) e parte do município de Magé (b).Elaborado segundo a metodologia do Departamento de Geologia da UFRJ (Barroso <i>et al.</i> 1986 <i>apud</i> ABGE 1998)..	64
Figura 2.7 – Padrão geral de ordenamento das informações geológico-geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo, das metodologias internacionais de cartografia geotécnica.	66
Figura 3.1 - Informações que podem ser representadas em um SIG, (Calijui & Rohm 1993).	90
Figura 3.2 - Composição de um SIG, (Calijui & Rohm 1993).	91
Figura 3.3 - Topologia das características, (Calijui & Rohm 1993).	93
Figura 3.4 - Banco de dados cartográficos, (Calijui & Rohm 1993).	94
Figura 3.5 - Representação “vector”, (Calijui & Rohm 1993).	96
Figura 3.6 - Representação “raster”, (Calijui & Rohm 1993).	96

Figura 3.7 - Método de ponderação de atributos (Aguiar 1989).	126
Figura 3.8 - Método de determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos à poluição (Foster & Hirata 1991).	137
Figura 3.9 - Organograma esquemático dos processos de planejamento (segundo Mathewson & Font 1973)	139
Figura 4.1 – Mapa de localização da Região Metropolitana de Belém	143
Figura 5.1 – Arcabouço estrutural da região costeira e de parte da Plataforma Continental Norte Brasileira (Palma <i>apud</i> Pinheiro 1987).	154
Figura 5.2 – Lineamentos neotectônicos relacionados a zonas de transferência e zonas normais, do Sistema Distensivo Terciário-Quaternário. ZT: zonas transferentes, ZN: zonas normais, ⇒ eixo distensivo, da Bacia Terciário-Quaternário, as proximidades de Belém, Outeiro e Mosqueiro (Igreja <i>et al.</i> 1990).	155
Figura 5.3 – Ilustração em perspectiva da Ilha de Outeiro– vista em direção sul – destacando arranjo Neotectônico das falésias e praias, salientando dois grandes grupos de falhas normais e transferentes, na escala macroscópica (Igreja <i>et al.</i> 1990).	157
Figura 5.4 - Horizonte sedimentares da praia da Baía do Sol, apresentando total continuidade lateral. Do topo para a base temos: Horizonte Superficial, Horizonte de Solo (Pós-Barreiras - barro), seguidos pelo Horizonte Ferruginoso ( fácies Concrecionário - piçarra) em contato com Horizonte Argiloso(fácies Argila Mosqueada)	157
Figura 5.5 - Horizontes sedimentares da praia da Baía do Sol, apresentando total continuidade lateral. Do topo para a base temos: Horizonte Superficial irregular em função da irregularidade do Horizonte de Solo (Pós-Barreiras - barro), separado por linha de seixos do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário - piçarra) em contato com Horizonte Argiloso(fácies Argila Mosqueada), entre ambos a formação da fácies Arenito Ferruginoso foi incipiente.	158
Figura 5.6 - Visão Geral de falésia ativa, ocorrente no final da praia de Brasília, na ilha do Outeiro, Ponto O8. Observando-se na transição das reentrâncias blocos de arenito ferruginoso que criam uma proteção à ação das ondas.	160
Figura 5.7 – Sequência evolutiva esquemática da Formação Pirabas e Sedimentos Barreiras.	162

- Figura 5.8 – Seções esquemáticas ilustrando a dinâmica da evolução do sistema laterítico. Ev: evaporação; Evt: evapotranspiração; Es: escoamento superficial; El: escoamento lateral; I: infiltração; P: precipitação; O: oscilação; C: capilar; -----: lençol freático (Costa 1990). 164
- Figura 5.9 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa) separada do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionária) por linha de seixos. Logo abaixo da fácies Concrecionário em contato brusco ocorre o Horizonte Argiloso (Fácies Argila Mosqueada). Praia do Paraíso - Ilha do Mosqueiro, Ponto M21. 167
- Figura 5.10 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa) em contato brusco com o Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionária). Local de extração de Argila, piçarra e barro, desativado (06/99). Jazida Begot - região do Aurá, Ponto A2. 168
- Figura 5.11 - Horizonte de Solo, fácies Arenosa, em jazida de extração de areia desativada, o que ocorre quando o nível d'água é exposto, devido às dificuldades de trafegabilidade, Ponto M21. 169
- Figura 5.12 -. Local de extração de areia e capa de covão, observando-se o Horizonte Ferruginoso, fácies Arenito Ferruginoso totalmente lixiviado, como resultado da podzolização que transformou o Horizonte de Solo em depósito de areia (fácies Arenosa), neste local já removido - Ilha do Mosqueiro, Ponto M21. 170
- Figura 5.13 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenoso a Argilo-Arenoso) separado do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário no topo e Fácies Arenito Ferruginoso na base) por linha de Seixos, na base da falésia é observado o Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueada). Praia Grande, Baía do Sol, ilha do Mosqueiro, Ponto M22. 171
- Figura 5.14 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenoso a Argilo-Arenoso) separado do Horizonte Ferruginoso (fácies Arenoso Ferruginizado) por linha de Seixos, neste local observa-se na altura da linha de seixos uma ruptura do Horizonte de Solo, comum no local. Praia do Bispo, ilha do Mosqueiro, Ponto M45 173
- Figura 5.15 - Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário), sendo preparado para amostragem com anel de parede fina, jazida de barro e piçarra da empresa Terraplana, ilha do Outeiro Ponto O5. 174
- Figura 5.16 - Detalhe do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário), sendo preparado para amostragem com anel de parede fina, jazida de barro e piçarra da empresa Terraplana, ilha do Outeiro Ponto O5. 175

Figura 5.17 - Do topo para a base: Horizonte de Solo separado por linha de seixos do Horizonte Ferruginoso - constituído pelas fácies Concrecionário na porção superior e Arenito Ferruginoso, na base. Praia do Paraíso, ilha do Mosqueiro, Ponto M17.	176
Figura 5.18 – Contato do Horizonte Ferruginoso (fácies Arenito Ferruginizado) com o Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueado). Praia do Paraíso, Mosqueiro, Ponto M17.	176
Figura 5.19 - Horizonte Ferruginoso, do topo para a base temos: fácies Concrecionário em contato com a fácies Arenosa Ferruginizada, friável e erodível o que resulta no descalçamento do nível superior. Jazida de barro e piçarra, desativada, região do Aurá, Ponto A5.	177
Figura 5.20 - Horizonte Ferruginoso, do topo para a base temos: fácies Concrecionário em contato com a fácies Arenosa Ferruginizada. Jazida de barro e piçarra, desativada, região do Aurá, Ponto A7.	178
Figura 5.21 - Horizonte Ferruginoso fácies Areno Argiloso. Uma das jazidas da Prefeitura Municipal de Belém, usada para extração de aterro utilizado no recobrimento dos resíduos sólidos no lixão do Aurá, região do Aurá, Ponto A1.	179
Figura 5.22 - Detalhe do Horizonte Argiloso, fácies Argila Mosqueada, observando-se manchas de hematita (rosadas) e goethita (amarelas). Praia de Brasília, ilha do Outeiro Ponto O2.	180
Figura 5.23 - Detalhe do Horizonte Argiloso, fácies Argila Mosqueada. Praia do Paraíso, ilha do Mosqueiro, Ponto M17.	181
Figura 5.24 - Da topo para a base: horizonte superficial, Horizonte de Solo, Horizonte Ferruginoso, marcado por sulcos, seguido pelo Horizonte Argiloso com as fácies Argila Mosqueada na porção superior e Argilito Maciço na base. Notar que a falésia encontra-se ativa, observando-se no primeiro plano blocos soltos como resultado do desmonte da falésia pela ação das Ondas. Ilha do Outeiro, Ponto A1.	182
Figura 5.25 – Mapa de localização das SEVs e dos poços perfilados por MENDES (2000).	183
Figura 5.26 – Seção geológica interpretada AA', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção N-S, ver Figura 5.25, (Mendes 2000).	184
Figura 5.27 – Seção geológica interpretada BB', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção N-S, ver Figura 5.25, (Mendes 2000).	185

Figura 5.28 – Seção geológica interpretada CC', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção NE-SW, ver Figura 5.25, (Mendes 2000).	186
Figura 5.29 – Seção geológica interpretada DD', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção NW-SE, ver Figura 5.25, (Mendes 2000).	187
Figura 5.30 – Ocorrência de Sedimentos Recentes, formado por argilas muito moles bioturbadas, em canal de maré, próximo a ponte de Mosqueiro. Ponto M23.	188
Figura 5.31 - Ilustra a forma de ocorrência dos Sedimentos Inconsolidados, elaborado a partir de dados de sondagens realizadas no Porto de Belém pela Companhia de Docas do Pará (Pinheiro 1987).	189
Figura 5.32 - Gráfico de Plasticidade, montado a partir dos limites de consistências dos solos finos (Howard <i>apud</i> Nogueira 1988).	192
Figuras 5.33 – Fluxograma para a classificação dos pedregulhos, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).	193
Figura 5.34 - Fluxograma para a classificação dos solos finos de baixa plasticidade, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).	194
Figura 5.35 - - Fluxograma para a classificação dos solos finos de alta plasticidade, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).	195
Figura 5.36 - - Fluxograma para a classificação dos solos finos de alta plasticidade, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).	196
Figura 5.37 – Falésia ativa, nas proximidades do Hotel farol – Ilha do Mosqueiro – onde parte do quintal de uma residência foi eliminado pela ação das ondas e das marés.	207
Figura 5.38 – Falésia ativa, nas proximidades do Hotel farol – Ilha do Mosqueiro – resultando na exposição de tubulação residencial e em risco ao sistema de distribuição de energia elétrica.	208
Figura 5.39 – Falésia ativa, na Praia do Bispo – Ilha do Mosqueiro – causando comprometimento das fundações de uma residência e trincamento da habitação.	208

Figura 5.40 – Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário, utilizado como base de pavimento em conjunto habitacional na Rod. Augusto Montenegro-Belém.	213
Figura 5.41 – Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário, utilizado como base de pavimento em conjunto habitacional na Rod. Augusto Montenegro-Belém.	213
Figura 5.42 – Lixão do Aurá – local de extração de material para cobertura do lixo, no caso Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário.	214
Figura 5.43 - Jazida de aterro (fácies Concrecionário), interditada pela SECTAM. Região do Aurá. Ponto A5.	214
Figura 5.44 - Visão geral da jazida da empresa Terraplena de aterro (fácies Concrecionário) e barro (Fácies Silto arenoso a Argilo-arenoso), em atividade. ilha do Outeiro, Ponto O5.	215
Figura 5.45 – Material a ser utilizado na fundação de casas, Horizonte Ferruginoso, fácies Arenito Ferruginizado.	215
Figura 5.46 – Detalhe do material a ser utilizado na fundação de casa Horizonte Ferruginoso fácies Arenito Ferruginoso.	216
Figura 5.47- Visão geral de um areial em atividade na ilha do Mosqueiro, com exploração de areia (fácies arenosa) e capa de covão (horizonte superficial do solo), Ponto M24.	216
Figura 5.48 – Distribuição granulométrica dos sedimentos nas proximidades da cidade de Belém (Pinheiro 1987).	218
Figura 5.49 - Jazida abandonada de aterro (Horizonte Ferruginoso, fácies Areno-Argilosa) e barro (Horizonte de Solo), com rebaixamento do nível d'água, remoção da cobertura vegetal e do solo fértil, mudança na topografia gerando depressão que acumulou água pluvial e foi utilizada para disposição de lixo, contaminando o lençol freático, gerando mal cheiro e tornando o ambiente propício à proliferação de animais vetores de doenças, região do Aurá, Ponto A3.	219
Figura 5.50 - Visão geral do local oficial para disposição final dos resíduos sólidos dos municípios de Belém e Ananindeua; em primeiro plano a lagoa artificial formada a partir da depressão gerada pela extração de materiais de construção, região do Aurá.	219
Figura 5.51 - Seqüência de procedimentos necessários à legalização de exploração de materiais naturais de construção.	221
Figura 5.52 – Contexto geral do Lixão do Aurá (Morales no prelo).	225

## TABELAS

Tabela 2.1 - Municípios da Amazônia com população urbana superior a 20 mil habitantes (IBGE, 1996), os quais segundo o Artigo 182 da Constituição Federal são obrigados a elaborar Planos Diretores Urbanos. Azul: de 20 a 50 mil, azul claro: 50 a 100mil, vermelho: 100 a 500 mil e preto: superior a 500 mil habitantes.	10
Tabela 2.2 - Classes de terrenos da Metodologia Australiana - PUCE (Grant 1975 a b, Finlayson 1981, Finlayson & Buckland 1987)	40
Tabela 2.3 - Relação entre os vários atributos e as formas de obtenção, (Zuquette & Gandolfi 1990a).	43
Tabela 2.4 - Classes de declividade propostas para o planejamento urbano e regional, Zuquette (1987).	46
Tabela 2.5 - Cartas interpretativas propostas por Zuquette (1987, 1993).	47
Tabela 2.6 - Importância dos fatores relacionados à ocupação, Zuquette & Gandolfi (1990a).	48
Tabela 2.7 - Classificação dos documentos quanto a finalidade e escala, associado ao número de observações mínimas, (Zuquette & Gandolfi 1990a).	49
Tabela 3.1 – Atributos do meio físico representados nos mapas geotécnicos, formas de obtenção e viabilidade de aplicação no trópico úmido brasileiro.	69
Tabela 3.2 – Feições geológicas correlacionáveis com propriedades geotécnicas, uso no trópico úmido brasileiro e viabilidade de obtenção.	72
Tabela 3.3 - Unidades taxônomicas com os métodos mais adequados de mapeamento (traçado do limite) e métodos de caracterização (baseada em IAEG 1976).	80
Tabela 3.4 - Escala de mapeamento das feições geodinâmicas e métodos de mapeamento (baseada em IAEG 1976)	82
Tabela 3.5 - Possíveis utilizações das fotografias aéreas para fins de engenharia (segundo Zuquette 1987).	84
Tabela 3.6 - Os vários tipos de imagens de satélite disponíveis no mercado	84
Tabela 3.7 - Principais características e aplicações das bandas “TM” do satélite Landsat 5. Fonte: Setor de Atendimento ao Usuário do Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE.	85

Tabela 3.8 - Atributos do meio físico e métodos/técnicas geofísicas utilizadas para sua obtenção, (Elis 1993).	87
Tabelas 3.9 – Proposta de representação de mapas geotécnicos em pequena escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).	105
Tabelas 3.10 - Proposta de representação de mapas geotécnicos em média escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).	106
Tabelas 3.11 - Proposta de representação de mapas geotécnicos em grande escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).	107
Tabela 3.12 - Classes de declividade definidas em função das recomendações do uso e restrições e/ou problemas esperados, (Instituto Geológico 1993).	120
Tabela 3.13 - Intervalos “ideais” para uma carta de declividade de multifinalidades.	121
Tabela 3.14 - Tipos de atributos e fatores de ocupação, com ordem de importância (Zuquette & Gandolfi 1990a).	124
Tabela 3.15 - Relação entre atributos e classes de aptidão da carta para fundações, (Zuquette 1993).	128
Tabela 3.16 - Relação entre atributos e classes da carta para escavabilidade, (Zuquette 1993).	129
Tabela 3.17 - Classes de adequabilidade à localização de áreas preferenciais para instalação de aterro sanitário (baseada em Instituto Geológico 1995 e IPT 1995).	136
Tabela 5.1 - Coluna estratigráfica da Região Metropolitana de Belém. Pt= profundidade do topo, E=espessura do pacote sedimentar.	159
Tabela 5.2 – Perfil geológico simplificado para as Lateritas Imaturas da Ilha de Outeiro (Costa <i>et al.</i> 1991a).	165

Tabela 5.3 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ).	198
Tabela 5.4 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ).	200
Tabela 5.5 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ).	201
Tabela 5.6 - Associação entre a geologia da Área Metropolitana de Belém e os Materiais Naturais de Construção Civil.	211
Tabela 5.7 – Produção de materiais de construção civil levantados pela DNPM.	220

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABGE -	- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT -	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CSIRO	- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
EESC/USP	- Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo
$e_o$	- Índice de vazios natural
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HRB	- <i>Highway Research Board</i>
IAEG	- <i>International Association of Engineering Geology</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	- Instituto Geológico do Estado de São Paulo
IP	- Índice de Plasticidade
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A
LL	- Limite de Liquidez
LP	- Limite de Plasticidade
n	- Porosidade (%)
NA	- Nível d'água
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PUCE	- <i>Pattern, Units, Components, Evaluation</i>
SE	- Superfície específica
SECTAM	- Secretária Executiva de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SPT	- <i>Standart Penetration Test</i>
SUCS	- Sistema Unificado de Classificação de Solos
UFPA	- Universidade Federal do Pará

UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSM	-Universidade Federal de Santa Maria
UNESCO	- <i>United Nations Education, Scientific and Cultural Organization</i>
USP	- Universidade de São Paulo
$W_{ót.}$	-Umidade Ótima (%)
$\gamma_d$	-Massa Específica Seca ( $\text{g/cm}^3$ )
$\gamma_s$	-Massa Específica dos Sólidos ( $\text{g/cm}^3$ )
$\gamma_{d \text{ máx.}}$	-Massa Específica Aparente Seca Máxima ( $\text{g/cm}^3$ )

## RESUMO

COSTA, T.C.D. 2001. *Análise Crítica das Metodologias Gerais de Mapeamento Geotécnico Visando Formulação de Diretrizes para a Cartografia no Trópico Úmido e Aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000*. Belém. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências 268p. 2v. (Tese de Doutorado).

A presente tese traz, em seu escopo, a partir da análise crítica das principais metodologias nacionais e internacionais de cartografia geotécnica (IAEG, Australiana, Francesa, EESC-USP, IPT, IG-UFRJ e IG-SP) a sistematização de um conjunto de diretrizes para a elaboração de mapas e cartas geotécnicas no Trópico Úmido Brasileiro. Apresenta também o mapeamento geotécnico, na escala 1:50.000, da Região Metropolitana de Belém, no Estado do Pará, formada pelos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba. Metodologicamente, baseou-se nas diretrizes acima citadas, sendo apresentados onze produtos cartográficos: mapa de documentação da Região Metropolitana de Belém (na escala 1:50.000), mapa de documentação da área central de Belém (na escala 1:10.000), mapa de declividade, mapa geológico, mapa de materiais inconsolidados, mapa de faixas de proteção permanente dos corpos d'água, mapa de áreas institucionais e unidades de conservação, mapa de áreas de várzea e terra firme, mapa de uso do solo, carta de áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção e carta de áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário.

Palavras-chave: Geotecnia, Mapeamento Geotécnico, Região Metropolitana de Belém, Planejamento Urbano, Planejamento Regional, Meio Ambiente.

## ABSTRACT

COSTA, T.C.D. 2001. *A critical Analysis of the General Methodologies of Geotechnical Mapping aimed at the Formulation of Cartographic Rules for the Humid Tropics and the Application of a Scale of 1:50 000 in the Metropolitan Area of Belém*. Belém : Geosciences Center, Federal University of Pará, 268p. 2vols. (Doctor Thesis).

This thesis brings within its scope the critical analysis of the main national and international methodologies of geotechnical cartography (IAEG, Australian, French, EESC-USP, IPT, IG-UFRJ and IG-SP), as well as the classification of a set of rules for the elaboration of geotechnical maps and charts in the Brazilian Humid Tropics. It also presents geotechnical mapping at the scale of 1:50 000, of the Metropolitan Region of Belém, in the State of Pará, comprising the municipalities of Belém, Ananindeua and Marituba. The methodology is based on the above-mentioned cartographic (conventions/ rules), and is presented in the form of eleven cartographic items: a documentary map of the Metropolitan Region of Belém, at a scale of 1:50 000; a documentary map of the central area of Belém, at a scale of 1:10 000; a gradient map; a geological map; a map of unconsolidated materials; a soil use map; a map of institutional areas and conservation units; a map of floodplain and mainland areas; a map of zones of permanent protection of water bodies; a chart of the preferential areas for the exploration of natural construction materials; and a chart of the preferential areas for the installation of sanitary landfills.

Keywords: Geotechnics, Geotechnical Mapping, Metropolitan Region of Belém, Urban Planning, Regional Planning, Environment.

## 1 - INTRODUÇÃO

Numa tese sobre mapeamento geotécnico, torna-se indispensável determinado nível de reflexão sobre a capacidade desse instrumento dar sua parcela de contribuição à sobrevivência e mesmo perpetuação da espécie humana. Ao centrar o pensamento de modo dialético nessa questão— como em tudo na vida — busca-se dar sentido as ações implementadas pelos geólogos de engenharia.

O gênero *Homo* tem seus primeiros registros sobre a Terra a partir de 2,33 milhões de anos atrás - no Plioceno, datando de 1,6 milhão de anos atrás - no Quaternário- as primeiras evidências do *Homo sapiens*. Deste modo, pode-se constatar que, do ponto do Sistema Solar (4,7 bilhões de anos), da Terra (4,5 bilhões de anos), do surgimento da vida (1,6 bilhões de anos) e dos mamíferos (360 milhões de anos), a espécie humana ainda engatinha na história geológica do planeta, deve-se assim no mínimo encarar as perspectivas de perpetuação do homem na Terra com máxima cautela, uma vez que a existência humana quando comparada ao contexto do Sistema Terra mal começou.

Embora nossa espécie habite a terra a 1,6 milhão de anos, até 500 anos atrás o homem havia utilizado apenas timidamente os recursos naturais disponíveis no Planeta; a maior parte da existência humana foi como nômade, coletor e, não raramente, entregue à sorte, sendo caçado por animais mais fortes, velozes e muitas vezes mais numerosos. A natureza, nesse sentido, apresentava-se inóspita. Nestes tempos a dinâmica do meio ambiente impedia uma maior proliferação da espécie humana e ameaçava mesmo sua sobrevivência. Como reação à natureza e como forma de sobreviver a ela, os homens organizaram-se no trabalho social e por meio dele buscaram e buscam até hoje garantir sua sobrevivência e perpetuação.

A história da luta entre o homem e a natureza é, senão outra, a história do trabalho, forma pelo os homens se unem com o objetivo de potencializar suas energias, para a partir daí, fazer frente a superior energia e ao poder dos animais, das doenças, do clima, das florestas, das águas, etc.. De adversária, num primeiro momento, a natureza passa no passado recente a fornecedora aparentemente, inesgotável de recursos naturais, indispensáveis à proliferação desenfreada da espécie humana. Há apenas 500 anos atrás a imensa maioria dos recursos naturais do Planeta encontrava-se intacto, nesse cenário tinha-se: todos os oceanos, África, América do Sul, América do Norte, Oceania, Polo Norte e Antártica como terras totalmente virgens onde o homem com

diminuto poder de intervenção nos processos do meio físico e biológico, muito pouco interferia na dinâmica desses meios.

Foi com a revolução industrial, há apenas 150 anos atrás que o homem adquiriu capacidade de acumular e gerar energia em magnitudes únicas na história biológica do planeta, o que se reflete num aumento exponencial da população humana, que num curtíssimo período, chega a valores de hoje. São 6 bilhões de indivíduos, Figura 1.1, que lutam desenfreadamente por alimento, moradia, vestimenta e uma série de contingências sócio-culturais que se tornaram indispensáveis a organização contemporânea das sociedades humanas.

Tragicamente, há apenas 30 anos atrás a espécie humana, em especial os grupamentos com maior capacidade de organização de trabalho e maior habilidade de atuar frente à natureza e aos outros homens (países ditos desenvolvidos), - os quais mais exploraram e beneficiaram-se dos recursos naturais disponíveis no planeta - depararam-se com a impensada idéia, até o momento, de que os recursos naturais que vinham sendo explorados e utilizados como se fossem inesgotáveis tinham seu uso futuro comprometido, o que certamente poderia comprometer, a sobrevivência e perpetuação do *Homo sapiens*. Marco dessa mudança de paradigma é a conferência sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, quando os estados nacionais desenvolvidos assumem a necessidade de estabelecer nova relação entre os homens e o Planeta Terra - único habitat disponível para a espécie humana.

Como se pode perceber nesse brevíssimo relato, há muito pouco tempo o homem habita o Planeta e apenas agora começa a estabelecer novas relações de convívio com o resto da vida na Terra, deixando de relacionar desenvolvimento/progresso com aniquilamento de outras formas de vida e intervenção inconseqüente nos processos do meio físico. Essa reflexão faz com que se proceda com cautela e cautela maior é exigida ao tratar-se das relações do homem com a Amazônia, um dos últimos redutos ambientais do Planeta onde, associada a natureza exuberante tem-se um povo pobre e não raramente desassistido de muitos dos avanços utilizados de modo corrente em grande parte do Brasil e em alguns pontos da mesma Amazônia.

Com essa perspectiva, esta tese busca num primeiro momento levantar conceitos que orientem a ação de algumas atividades de engenharia de modo a estabelecer um convívio entre as atividades indispensáveis à manutenção e melhoria de nossa qualidade de vida (aterros sanitários, materiais naturais de construção, estradas, etc.) e as limitações do meio físico, tentando assim dar

sua tímida parcela de contribuição ao convívio harmônico entre o homem e o meio ambiente, de modo a lutar pela perpetuação da vida em nosso Planeta.

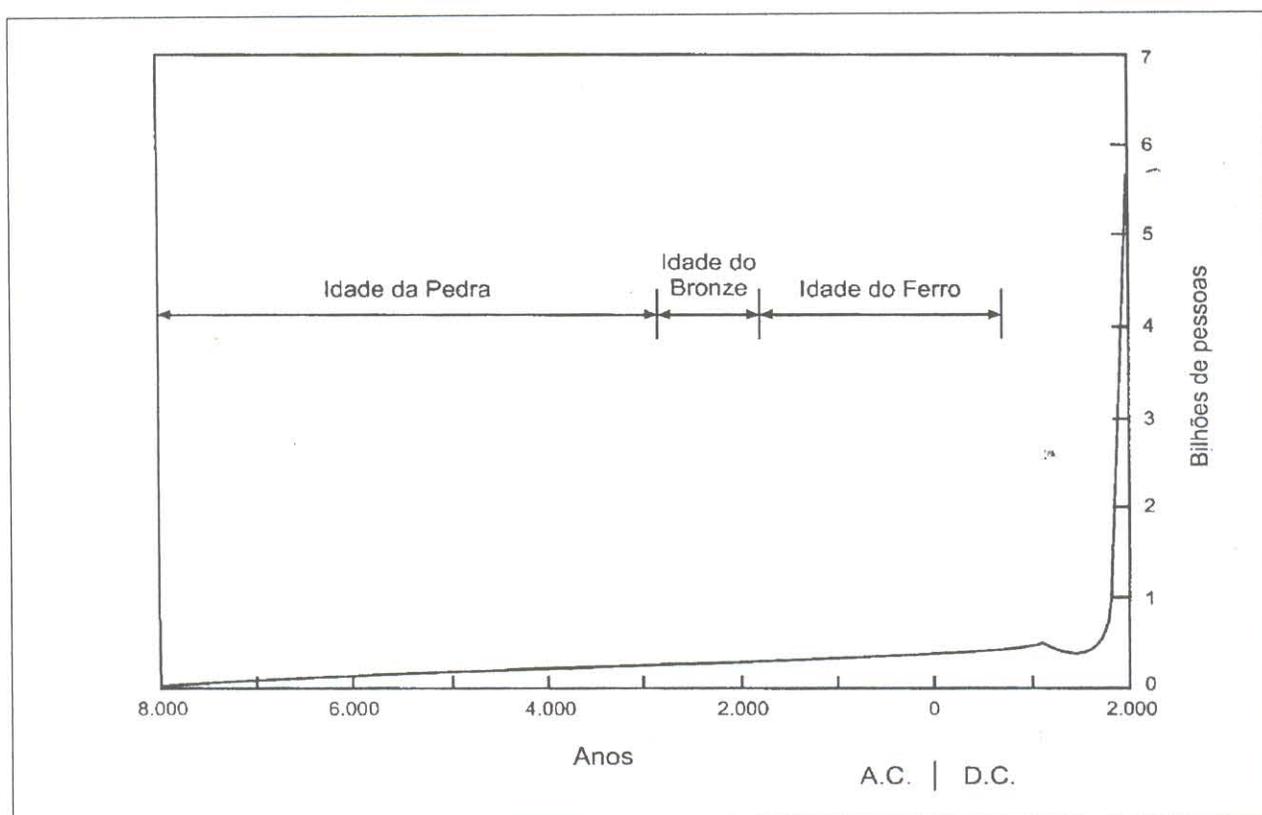


Figura 1.1 – Crescimento populacional da espécie humana. (Coch<sup>1</sup> apud ABGE, 1998)

<sup>1</sup> COCH, N.K. 1995. *Geohazards natural and human*. New Jersey : Printice-Hall. 418p.

## 2 - ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS GERAIS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

### 2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo discutirá várias metodologias gerais de mapeamento geotécnico na perspectiva de definir atributos do meio físico, formas de obtenção dos mesmos, métodos de agrupamento, avaliação e análise, bem como os vários produtos cartográficos. No desenvolvimento dessa discussão, buscou-se focar as condições sócio econômicas e o meio físico do trópico úmido brasileiro.

Na avaliação que nos propomos, algumas questões foram de fundamental importância na análise de cada metodologia, tendo-se sempre em mente os seguintes questionamentos:

- que produtos cartográficos são gerados ?;
- existe interesse na confecção desse material para o trópico úmido ?;
- havendo interesse, como foram produzidos ?;
- existe possibilidade de gerar tais documentos nas condições sócio-econômicas e do meio físico estudadas ?;
- como executá-los para o trópico úmido ?;
- de forma direta ou com adaptação?;
- quais as influências da adaptação às condições reinantes ?;
- qual a qualidade do produto gerado ? e
- por quanto tempo terá validade ?.

Um mapa geotécnico deve mostrar as relações espaciais de solos, rochas, água superficial e subterrânea, características do relevo, processos geodinâmicos e clima, devendo refletir as condições geotécnicas e permitindo determinar a influência do ambiente na obra, prevendo como esta irá se relacionar com o ambiente e vice-versa. Essa concepção da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) é refletida na concepção atual de impacto no meio físico, correntemente aplicada no Brasil como pode ser observado no conceito da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (IPT 1992 - p. 07- ABGE & IPT 1995 - p. 157, respectivamente) o que, na realidade,

reflete a legislação vigente sobre estudos de impacto ambiental do Brasil – Resolução 01/86, do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA:

"art.6º - O estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades:  
I - diagnóstico ambiental da área de influência do projeto; completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:  
a - o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;"

Quanto ao papel da cartografia geotécnica, as metodologias estabelecem que os mapas geotécnicos não substituem as investigações locais, mas auxiliam no projeto racional da investigação local e na interpretação dos resultados.

Os mapas geotécnicos, como todo mapa, são modelos simplificados dos fatos, nunca podendo, portanto, representar inteiramente a complexidade dos vários fatores geológicos dinâmicos. Assim, o grau de simplificação irá depender principalmente da finalidade e da escala do mapa, da importância relativa dos fatores geotécnicos específicos ou relacionados, da precisão das informações e das técnicas de representação usadas.

Ao avaliar as metodologias, é notório que a cada aplicação que, porventura vier a se fazer desta ou daquela metodologia, será antes necessário selecionar um conjunto de feições geológicas de interesse para a área proposta ou para a atividade que se pretende realizar. Por exemplo, na Região Metropolitana de Belém, não faz sentido algum levantar informações sobre atividade vulcânica e escorregamento de encosta. O mesmo não se aplicando a outras regiões do planeta e mesmo do estado do Pará, onde o relevo de serras torna uma avaliação quanto aos movimentos de massa fundamental.

A questão da viabilidade de aplicação na Região Amazônica de metodologias elaboradas em outros países e em outras regiões do Brasil é um assunto que merece ser melhor discutido o que é feito a seguir.

A descrição de solos e rochas depende, em grande parte, da área em questão e dos objetivos a que se propõe a cartografia geotécnica.

Em uma análise sobre a viabilidade de descrever solos e rochas na Amazônia, deve-se avaliar primeiramente a existência de mapas bases na área a ser estudada. O trabalho do IBGE (1991) ilustra a cobertura de mapas topográficos na Amazônia produzidos pelo IBGE e pelo Exército Brasileiro, constando-se que apenas algumas capitais apresentam cobertura 1:50.000 e 1:25.000 (Belém, Manaus, São Luís, Boa Vista), sendo a imensa maioria do território Amazônico mapeado apenas na escala 1:100.000.

Outra questão fundamental, na análise de viabilidade acima citada, está vinculada à existência de sensores remotos. Na Região Metropolitana de Belém, não observam-se grandes dificuldades, tendo a cidade de Belém os seguintes recobrimentos aerofotogramétricos: 1:4.000 (1967), 1:8.000 (1972), 1:25.000 (1972), 1:40.000 (1977) 1:2000 e 1:10.000 (1998). A mesma riqueza de dados, certamente, não é observada longe das capitais estaduais, encontrando-se em geral recobrimento na escala 1:60.000 (Zuquette 1987).

Quanto às imagens de satélite, toda a região do trópico úmido é recoberta pelo satélite Landsat; entretanto, a alta densidade de nuvens na área faz com que poucas cenas sejam aproveitáveis; para se ter idéia dessa limitação na Região Metropolitana de Belém de 1972, ano de início de operação dos satélites da série Landsat até 2000, apenas 4 imagens apresentam índices de cobertura de nuvens aceitáveis, para as passagens dos satélites desta série. Esse sensor remoto torna possível trabalhos na escala 1:50.000 e menores, permitindo, portanto, apenas avaliações regionais.

Estas questões levantadas têm caráter mais geral, entretanto, a discussão sobre a viabilidade de descrição de solos e rochas depende, em grande parte, da área em questão e dos objetivos a que se propõe o mapeamento.

Muitas das caracterização hidrogeológicas de uma área irá depender da existência de poços realizados para água subterrânea, de sondagens de simples reconhecimento e rotativas. A disponibilidade dessas informações está diretamente vinculada ao nível de ocupação demográfica da área a ser estudada, sendo fato também que as limitações do meio físico - como enchentes, escorregamento de encostas e subsidências - são frequentemente observadas nas cidades de médio e grande porte, além de áreas rurais altamente impactadas.

Assim, as empresas de exploração de água subterrânea e de geotecnia da Amazônia devem ser visitadas para que se possa realizar um banco de dados, o qual é fundamental para definição das feições geológicas de interesse para a cartografia geotécnica. Entretanto, essas

informações são muitas vezes extraviadas ou não fornecidas pelas empresas executoras, perdendo-se importante acervo sobre o meio físico do País, o que torna urgente a elaboração de legislação que permita o armazenamento sistemático de relatórios de poços executados para água subterrânea e sondagens de simples reconhecimento nas prefeituras, os quais poderão ser consultados pela comunidade em geral, contribuindo assim para um maior conhecimento do meio físico e uso mais racional dos bens naturais indispensáveis a espécie humana e à melhoria da qualidade de vida.

Fora das cidades de médio e grande porte os dados de poços e sondagens são extremamente erráticos. A Tabela 2.1 apresenta os municípios da Amazônia que apresentam uma população urbana com mais de 20 mil habitantes (IBGE 1996), os quais, segundo o Artigo 182 da Constituição Federal, são responsáveis pela elaboração de Planos Diretores Urbanos.

O mapeamento geotécnico no trópico úmido tem que ser realizado visando sempre a melhor avaliação do meio físico, identificando de forma clara as informações necessárias a uma correta avaliação do objeto em estudo, as informações utilizadas para elaboração dos trabalhos e as limitações decorrentes do processo de mapeamento, tais como a impossibilidade de avaliação "in loco" de locais de difícil acesso, impossibilidade de realização de um número de amostras necessárias para uma correta determinação estatística das propriedades geotécnicas, etc., o que contribuirá para que essas limitações sejam consideradas no processo decisório e para que sejam corretas e eficientemente superadas em tempos mais favoráveis.

A seguir avaliaremos algumas das metodologias mais importantes da cartografia geotécnica no exterior e no Brasil.

## 2.2 - METODOLOGIA DA IAEG

A metodologia da IAEG foi preparada para a UNESCO pela Comissão de Mapas Geotécnicos (Geologia de Engenharia) da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) e publicada em 1976.

A metodologia busca mostrar a distribuição dos fenômenos geológicos específicos e as características das rochas e solos, mostrando de que maneira afetam as obras de engenharia nos mais diferentes terrenos.

Tabela 2.1 - Municípios da Amazônia com população urbana superior a 20 mil habitantes (IBGE 1996), os quais segundo o Artigo 182 da Constituição Federal são obrigados a elaborar Planos Diretores Urbanos. Azul: de 20 a 50 mil, azul claro: 50 a 100mil, vermelho: 100 a 500 mil e preto: superior a 500 mil habitantes.

Estados	Municípios	População	Estados	Municípios	População
Pará	Dom Eliseu	20095	Maranhão	São Mateus do Maranhão	23548
	Óbidos	20731		Lago da Pedra	21979
	São Miguel do Guamá	20926		Grajaú	22769
	Tomé-Açu	21998		Presidente Dutra	24709
	Salinópolis	22403		São José de Ribamar	26725
	Igarapé-Mari	22967		Zé Doca	28035
	Oriximiná	23540		Coroatá	32146
	Alenquer	23640		Coelho Neto	32943
	Xinguara	24915		Chapadinha	33648
	Barcarena	25698		Pinheiro	37004
	Jacundá	25973		Balsas	37595
	Vigia	26121		Barra do Corda	38029
	Rodon do Pará	27151		Pedreiras	44112
	Santa Izabel do Pará	27260		Açailândia	47881
	Conceição do Araguaia	30881		Santa Inês	58235
	Breves	34763		Codó	67754
	Cametá	35508		Bacabal	70015
	Capanema	43916		Caxias	90369
	Parauapebas	45649		Timon	100704
	Paragominas	47789		Imperatriz	215218
Tucuruí	47972	São Luís	762172		
Redenção	53339	Roraima	Boa Vista	150442	
Altamira	54235	Amazonas	Tabatinga	23504	
Bragança	54632		Coari	30096	
Itaituba	62219		Manacapuru	40246	
Abaetetuba	63696		Itacoatiara	43346	
Ananindeua	95630		Tefé	47698	
Castanhal	106665		Parintins	49748	
Marabá	123378		Manaus	1150193	
Santarém	180189		Acre	Cruzeiro do Sul	32659
Belém	851705	Rio Branco		201480	
Amapá	Santana	65513	Roraima	Ouro Preto do Oeste	26138
	Macapá	209663		Pimenta Bueno	26686
Tocantins	Colinas do Tocantins	22717	Rondônia	Jaru	30003
	Paraíso do Tocantins	31157		Rolim Moura	30950
	Porto Nacional	36862		Guajará-Mirim	31263
	Gurupi	62972		Vilhena	39991
	Palmas	82535		Cacoal	46811
	Araguaína	98546		Ariquemes	51801
Maranhão	Cururupu	20392	Roraima	Ji-Paraná	80783
	Itapecuru Mirim	21891		Porto Velho	238421

Nasceu pelo reconhecimento por parte da UNESCO/IAEG da necessidade de padronização de princípios, sistemas e métodos, com o intento de facilitar a cooperação internacional na solução dos problemas.

O metodologia não se propôs a dar instruções detalhadas quanto à forma de executar o mapeamento, o que em nossa visão já representa uma limitação a elaboração de diretrizes para uma cartografia geotécnica no trópico úmido, não entretanto uma limitação da metodologia. A metodologia se propôs ainda, a oferecer uma síntese da experiência acumulada da cartografia geotécnica até 1976. Um relatório com o estado da arte da cartografia geotécnica no mundo até 1976 foi publicado no IAEG *Bulletin*, Nº 3 e 4.

O Brasil influenciou muito pouco na elaboração da metodologia da IAEG, em 1976, a cartografia geotécnica no Brasil, ainda não tinha se desenvolvido, existindo apenas os trabalhos de Haberlehner (1966), que discute os princípios do mapeamento geotécnico, Heine (1966) que elaborou um levantamento geotécnico no Estado da Guanabara em escala 1:5 000 e Grehs (1967), que aborda a importância do geólogo na prevenção de escorregamentos, mapeando a cidade de Santa Cruz do Sul, no Rio Grande do Sul, além de Grehs (1970 a b) e Grehs (1971).

Em 1973 Coulon realiza o mapeamento geotécnico das Folhas Morretes e Montenegro - RS, com base em um mapa geológico detalhado da região, constituindo-se em uma marco da cartografia geotécnica no País. Nos anos seguintes, até 1976, temos um claro crescimento quantitativo e qualitativo dos trabalhos sobre o tema, o que é evidenciado pelas publicações de Prandini (1974), Prandini *et al.* (1974 a b) e Prandini (1976). Esse é o resumo das publicações brasileiras, portanto bastante modesto para influir na elaboração da metodologia da IAEG, embora de fundamental importância para o desenvolvimento do tema no Brasil nos anos que se seguiram.

Outra questão é que a maioria dos membros da Comissão de Mapas Geotécnicos (da Checoslováquia, do Reino Unido, da U.S.S.R., da Iugoslávia, da França, da República Federal da Alemanha e dos Estados Unidos da América) e material bibliográfico utilizado eram europeus e norte americanos. Esse fato, por si só, já chama a atenção para uma questão óbvia, qual seja, que o guia preparado para a UNESCO refletia a experiência acumulada até 1976 na Europa e na América do Norte, continentes onde a cartografia geotécnica já tinha mais de meio século de existência, encontrando-se já em elevado grau de maturidade.

A metodologia da IAEG pode ser subdividida em três tópicos: conceituação, técnicas de aquisição/interpretação dos dados e apresentação dos dados em mapas geotécnicos. No organograma da Figura 2.1, pode-se ter uma idéia de como foi organizada.

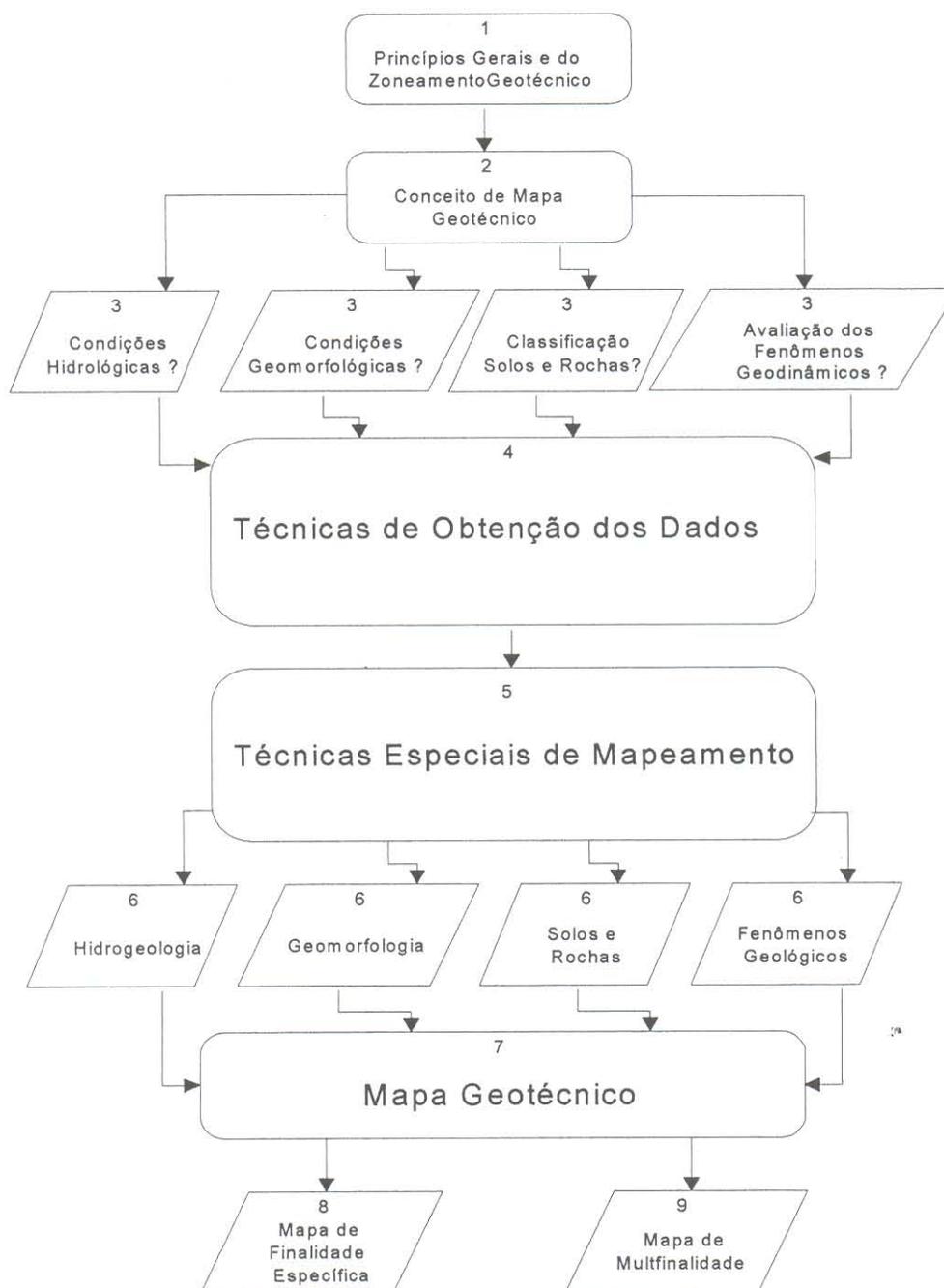


Figura 2.1 – Organograma geral da proposta metodológica da IAEG.

## 2.2.1 - Princípios - conceituação

Nesse tópico define-se e classifica-se: mapa geotécnico, solos e rochas para a cartografia geotécnica, condições hidrogeológicas e geomorfológicas de interesse para a cartografia geotécnica, avaliação dos fenômenos geodinâmicos, os princípios do zoneamento geotécnico e os princípios gerais da cartografia geotécnica, Figura 2.1.

O mapa geotécnico seria “um tipo de mapa geológico, o qual fornece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico de significado no planejamento e uso da terra, em projetos e na construção e manutenção de obras civis e de mineração” (IAEG 1976).

### 2.2.1.1 - Classificação dos mapas

Os mapas geotécnicos podem ser classificados de acordo com a finalidade, conteúdo e escala.

De acordo com a finalidade:

- Finalidade Especial – contêm informações sobre um dado aspecto da geotecnia ou para aplicação em um finalidade específica.
- Multifinalidade – apresentam informações sobre vários aspectos da geotecnia e são elaborados para serem utilizados em uma variedade de planejamentos e atividades de engenharia.

De acordo com o conteúdo são divididos em quatro grupos:

- Mapas Analíticos – exibem detalhes ou avaliam individualmente os componentes do ambiente geológico. Seu conteúdo, em geral, é expresso no título, como por exemplo: mapa de juntas, mapa de graus de intemperismo e mapa de risco (hazard) sísmico.
- Mapas Gerais – podem ser de dois tipos, os quais podem ser combinados em pequenas escalas. O primeiro é representado por mapas que descrevem os principais componentes do ambiente geotécnico; e, o segundo, avalia e classifica as unidades

territoriais individuais com base na uniformidade de suas condições geotécnicas (Mapa de Zoneamento Geotécnico).

- Mapas Auxiliares – apresentam dados fatuais. Por exemplo: Mapa de Documentação e Mapa de Contornos Estruturais.
- Mapas Complementares – são mapas de dados básicos. Por exemplo: geológico, tectônico, geomorfológico, pedológico, geofísico e hidrogeológico.

De acordo com a escala:

- Grande escala: 1:10.000 e maiores.
- Escala média: entre 1:10.000 e 1:100.000.
- Pequena escala: 1:100.000 e menores.

Avaliando essa subdivisão feita pela IAEG observa-se que os mapas de finalidade especial e os mapas analíticos são conceitualmente iguais. O mapa de juntas por exemplo contém informações sobre um dado aspecto da geotecnia, assim pode ser classificado como um mapa de finalidade especial. Esse mesmo mapa entretanto avaliam individualmente um componente do ambiente geológico – portanto também pode ser classificado como mapa analítico.

Os mapas de multifinalidades e os mapas gerais também são, do ponto de vista conceitual, semelhante uma vez que, ambos podem apresentar informações sobre uma variedade de aspectos da geotecnia. O mapa de zoneamento geotécnico pode, deste modo, ser considerado um tipo de mapa de multifinalidade.

Para a metodologia, uma questão na classificação de solos e rochas para fins de mapeamento é definir quais as feições geológicas que estão estreitamente relacionadas com as propriedades físicas de interesse para a geotecnia como resistência, deformabilidade, durabilidade e permeabilidade. Considerando que nenhum método ou técnica havia sido desenvolvido até 1976 que fosse capaz de determinar estas propriedades em grandes áreas, com dados quantitativos suficientes, de modo rápido e barato, sugeriu assim que fossem utilizadas para tanto as propriedades geológicas que podem ser correlacionadas às propriedades de interesse para a geotecnia. Nesse sentido, a geologia, ao organizar os materiais em geometrias (estratigrafia), pode ser um poderoso elemento sistematizador das propriedades geotécnicas no espaço.

### 2.2.1.2 - Unidades de mapeamento de solos e rochas

A Metodologia definiu uma hierarquia de unidades de mapeamento, a saber: Tipo Geotécnico, Tipo Litológico, Complexo Litológico, Suite Litológica.

A definição de unidades de mapeamento apresentada pela metodologia divide com critérios objetivos as unidades geotécnicas mapeáveis, as quais são associadas à precisão das propriedades geotécnicas que serão avaliadas – procedimento esse nem sempre seguido no Brasil. Outra questão que chama atenção está vinculada aos pesos desproporcionais dados aos solos e as rochas, fato já levantado por Zuquette (1987).

A classificação apresentada tem um caráter nitidamente litológico, não propondo uma caracterização de solos para fins de engenharia, o que representa uma grande lacuna quando da aplicação dessa metodologia para as condições do trópico úmido e da maioria do Brasil. Uma adaptação eficiente dessa metodologia às condições predominantes na Amazônia passa necessariamente pela definição de unidades de mapeamento de materiais inconsolidados (solos e sedimentos transportados) associada à escala de mapeamento, às propriedades que podem ser representadas e à precisão da informação fornecida. É importante ressaltar que, de 1976 aos dias atuais, foi produzido pelos inúmeros associados da IAEG no mundo todo, uma infinidade de trabalhos, que certamente fornecem material para tal tarefa. No Brasil destaque especial é dado ao trabalho de Rodrigues (1996) que discorre sobre a evolução de critérios de caracterização dos materiais inconsolidados no mapeamento geotécnico na região centro leste do Estado de São Paulo, avaliando toda a experiência da Escola de Engenharia de São Carlos-USP adquirida até aquele momento.

### 2.2.1.3 - Avaliação dos fenômenos geodinâmicos

São conceituados como feições geológicas do ambiente, resultantes de processos geológicos ativos no tempo atual. As feições que devem ser representadas são:

- erosão e deposição
- processo eólico;
- movimento de encostas;
- formação de condições cársticas;

- difusão (*suffusion*);
- variações no volume do solo;
- atividade sísmica e
- atividade vulcânica.

A metodologia destaca também a importância de se mostrar as feições e as condições favoráveis ao seu desenvolvimento com a intensidade e seqüência de ocorrência.

Condições geológicas favoráveis a movimentos de encostas (IAEG):

- rochas duras cobrindo rochas moles. Ex: basalto sobre argilito ou arenito cobrindo folhelho;
- rochas moles e duras se alternando em declives;
- sedimentos inconsolidados sobre substrato rochoso impermeável;
- rochas não deformadas sobre rochas cataclasadas e
- surgência de água subterrânea.

Condições favoráveis à erosão excessiva (IAEG):

- rochas moles de baixa permeabilidade;
- taludes íngremes ou moderadamente íngremes ;
- vegetação rala;
- alta pluviosidade concentrada em pequenos períodos do ano.

Os fatores intensificadores do processo erosivo são: desmatamento, desenvolvimento urbano e supercultivo (cultivação e pastagem excessiva).

Tipos de erosão:

- encostas sulcadas e ravinadas;
- margens de rios;
- linhas de praia;
- erosão eólica (dunas).

#### 2.2.1.4 - Princípios do zoneamento geotécnico

Os mapas geotécnicos gerais podem apresentar as informações em termos de zoneamento geotécnico.

O grau de homogeneidade de cada zona (unidade) depende da finalidade e escala:

- escalas pequenas: em nível de uniformidade geral dos principais elementos do ambiente geológico como estruturas geotectônicas ou feições geomorfológicas regionais;
- grandes escalas: na avaliação da uniformidade dos arranjos estruturais e composição das unidades de solos e rochas, sobre as condições hidrogeológicas e fenômenos geodinâmicos.

#### 2.2.1.5 - Unidades territoriais taxonômicas para finalidade geral:

- Regiões: baseadas na uniformidade dos elementos estruturais geotécnicos individuais;
- Áreas: baseadas na homogeneidade das unidades geomorfológicas regionais;
- Zonas: baseadas na homogeneidade litológica e arranjo estrutural do complexo de litofáceis de rochas e solos;
- Distritos: onde as condições hidrogeológicas e os fenômenos geodinâmicos são uniformes.

Quanto aos mapas de finalidade específica (estrada, túneis, barragem), estes devem ser baseados na análise dos fenômenos geológicos e nos parâmetros geotécnicos relacionados à atividade específica.

Caso sejam utilizados os mesmos princípios para confecção dos mapas, poder-se-á comparar mapas de escalas e tipos diferentes.

### **2.2.2 - Técnicas especiais para levantamento geotécnico**

As técnicas propostas são fotogeologia, métodos geofísicos (resistividade e sísmica), sondagens e técnicas de amostragens, e ensaios "in situ" e de laboratório.

A fotogeologia, usualmente utilizada entre 1:10.000 e 1:30.000, permite mapear:

- elementos estruturais do terreno (acamamento, falhas e fraturas);
- reservas naturais;
- percolações, fontes, rios e lagos;
- dolinas, fontes;
- variação da profundidade do nível d'água e manto de intemperismo;
- solo;
- estabilidade de taludes;
- drenagens;
- material de construção;
- água subterrânea;
- seleção de rotas;
- lugares para reservatórios e barragens.

#### 2.2.2.1 - Métodos geofísicos

Usa resistividade e o método sísmico, em superfície ou em sondagens, para obter no geral:

- valores para certas propriedades físicas de rochas e solos e sua variação na área mapeada;
- determinação da profundidade do limite entre rochas e solos de diferentes propriedades físicas, nível d'água, além de limites verticais (como falhas entre rochas diferentes).

O método de resistividade vai indicar a profundidade do substrato rochoso, o nível d'água e outras variações litológicas.

O método sísmico irá determinar o topo ou base intemperizada, delimitando áreas intemperizadas ou fraturadas.

#### 2.2.2.2 - Sondagens e técnicas de amostragem

A metodologia sugere sondagens a percussão ou rotativas e outras, amostragem indeformada e deformada de rochas e solos, e/ou ensaios "in situ".

No caso de rocha, amostras indeformadas para cada tipo litológico.

O padrão e o espaçamento das sondagens são flexíveis e definidos pelas condições geológicas e só raramente deve-se determinar uma grade para execução das sondagens, acompanhada da profundidade a ser obtida pela investigação geotécnica. Do mesmo modo, a amostragem deve ser definida pelas condições geológicas e não por um sistema rígido.

#### 2.2.2.3 - Ensaio "in situ" e laboratório

A metodologia estabelece os seguintes ensaios:

Ensaio de laboratório que não dependem da umidade natural:

- análise granulométrica;
- limites de liquidez e plasticidade;
- peso específico seco e saturado;
- massa específica dos sólidos;
- porosidade (índice de vazios);
- mineralogia;
- petrografia;
- compactação.

Propriedades que devem ser determinadas em ensaios com amostras indeformadas e umidade natural

- consistência;
- ângulo de atrito interno e coesão;
- compressibilidade;
- permeabilidade;
- resistência à compressão simples;
- resistência à tração (rocha).

Propriedades geotécnicas a serem determinadas em Ensaio "in situ"

- compressibilidade de solos e rochas;
- resistência ao cisalhamento dos solos;
- radioatividade natural;
- resistividade;

- potencial espontâneo;
- pressão piezométrica;
- permeabilidade;
- transmissibilidade;
- resistência a penetração dinâmica e estática.

### **2.2.3 - Apresentação de dados nos mapas geotécnicos**

Para a metodologia, os mapas de multifinalidade podem ser analíticos e gerais.

Os mapas analíticos exibem um detalhe de um componente individual do ambiente geológico, enquanto os gerais podem ser aplicados a diversas finalidades em obras civis, por exemplo; surge assim a questão o mapa de intensidade e modelo de juntas que pode ser utilizado tanto em túneis como em estabilidade de taludes, e representa um detalhe do substrato rochoso (componente individual do ambiente geológico), seria um mapa analítico ou geral.

Essa divisão proposta relaciona os vários tipos de mapas e gera confusões quando da separação de cada produto cartográfico, seria melhor dividi-los em gerais e específicos, pois não há diferença entre um mapa de persistência e modelos de juntas e um mapa de estabilidade de taludes, uma vez que ambos podem ser utilizados de forma geral como por exemplo para avaliar o planejamento urbano, ou para avaliações específicas como estabilidade de talude dependendo apenas da necessidade do usuário.

Os mapas de multifinalidade gerais podem ser de dois tipos: no primeiro todos os componentes do ambiente geológicos são representados; no segundo são representados em zonas definidas a partir da uniformidade das condições geotécnicas (mapa de zoneamento). No sentido exposto, o termo “mapa de multifinalidade geral” é uma redundância que apenas gera falta de entendimento e confusão, uma vez que separa produtos cartográficos iguais (ver item 2.2.1.1).

No mapa de zoneamento de pequena escala a zona (unidade) representa uma área de uniformidade geral dos principais componentes do ambiente geológico.

Quando no mapa de multifinalidade geral de média escala existirem mais de dois tipos de complexos rochosos ou de solos, devem ser representados em três dimensões com isolinhas de espessura ou números.

## 2.3 - SISTEMÁTICA DE MATHEWSON E FONT

Este trabalho (Mathewson & Font 1973) avalia as deficiências dos sistemas de cartografia geotécnica dos Estados Unidos até 1973 e propõe um método de ordenamento das informações geológicas para fins de planejamento e uso do solo, o qual, devido a sua qualidade e atualidade, é aqui descrito e analisado.

### 2.3.1 - O processo de planejamento

O processo de planejamento deve ser estruturado com base em um conjunto de metas e objetivos que venham desencadear um programa, o qual a partir de sua aplicação deve realimentar as metas e os objetivos anteriormente propostos.

A meta representa o produto final ideal, enquanto os objetivos são as partes específicas e detalhadas do plano. A função do mapeamento geotécnico (geologia e geotecnia) é estabelecida durante a formulação das metas.

A meta fundamental da geologia seria proteger a saúde, o bem-estar e a segurança da população, contra os danos causados por processos geológicos. Os objetivos são mais específicos e podem incluir:

- 1 - mapear e definir áreas onde as condições de solo, rocha e água sejam impróprias para uma urbanização segura;
- 2 - localizar, avaliar e identificar áreas de recursos valiosos;
- 3 - localizar, avaliar e testar métodos adequados para depósito de detritos de forma segura e higiênica.

As metas e os objetivos são dificultados ou facilitados pelas restrições e oportunidades que existem na área planejada.

As restrições são os fatores que limitam o plano urbano; as oportunidades são os fatores que facilitam a implantação do plano. Esses fatores podem ser divididos, em geral, em duas classes:

- 1 - classe de abastecimento com:
  - mão de obra qualificada, originalmente em áreas administrativas;

- recursos naturais;
- disponibilidade financeira.

2 - classe estrutural, é inerente às estruturas físicas, sócio-econômicas e políticas de toda a comunidade urbana. As restrições estruturais observadas na profissão de geólogo foram duas:

- o geólogo, via de regra, tem permanecido profissionalmente distante do mundo político; como resultado, as informações geológicas para planejamento não são requeridas por planejadores e homens públicos;
- as soluções geológicas para problemas ambientais são, muitas vezes, politicamente inviáveis de aplicação porque as publicações, artigos e apresentações, muitas vezes são somente relatos de problemas existentes, porém, sem soluções, ou são redigidos de forma ininteligível numa tal linguagem geológica que o planejador não consegue entender.

Como o conjunto de boas políticas é a essência do planejamento, os autores entendem que as políticas com bases geológicas deveriam esforçar-se para:

- definir e desenvolver o potencial de recursos;
- preservar a qualidade do meio ambiente dentro das restrições locais;
- maximizar o uso eficaz do solo: minimizar os riscos de vida e danos à propriedade causados por fatores geológicos. As políticas são estratégias para atingir as metas e objetivos desejados. São formuladas pelo setor público e privado de cada comunidade e dependem do ambiente físico da comunidade. Assim, pode ser formulada a intenção da política estadual ou federal, mas deve ser adaptada ou rejeitada pela comunidade no decorrer do processo de planejamento. Algumas afirmações políticas gerais constam nos seguintes exemplos:

a - risco geológico - a urbanização em áreas perigosas deveria ser proibida ou severamente limitada pela introdução de rígidas normas de segurança e do meio ambiente;

b - adequação dos terrenos para habitação - o governo exigirá que os construtores e corretores imobiliários devam mostrar ao comprador a adequabilidade do terreno para sua nova casa; e,

c - os códigos de edificações que deveriam ser estabelecidos de modo que a estrutura da casa seja adequada para o entorno geológico do terreno. Tal informação deveria estar arquivada junto a cada lote para o qual foi solicitada aprovação para a licença.

Os programas, que são resultados finais das recomendações políticas, são os mecanismos através dos quais são atingidas as metas e os objetivos da comunidade urbana. A continuação desses programas é responsabilidade dos cidadãos, dos políticos eleitos e nomeados e dos funcionários públicos.

### **2.3.2 - As restrições ao planejamento**

Das restrições observadas nos Estados Unidos, destacamos as que julgamos hoje enfrentadas pelo mapeamento geotécnico no Brasil, como o fato da geologia ambiental ou geotecnia ambiental - muito próxima da cartografia geotécnica - se apoiar muito mais nas linhas clássicas da geologia descritiva do que num profundo "background" extraído das ciências aplicadas. Esse tipo de abordagem, muitas vezes, apresenta apenas relatos da existência de problemas, sem mostrar suas soluções, o que faz com que não sejam utilizadas pelas partes envolvidas no planejamento.

Outra questão é a linguagem geológica, não compreendida por planejadores urbanos, consultores de planejamento, funcionários públicos e a comunidade em geral, para os quais é confusa.

Essas questões são muito próximas do que se observa no Brasil, fazendo-se necessário refletir sobre elas, para que a cartografia geotécnica possa ser utilizada como uma ferramenta eficaz no planejamento.

### **2.3.3 – Responsabilidades do geólogo de engenharia e a elaboração de mapas geotécnicos**

Objetivando melhor utilizar o conhecimento geológico nos programas de administração do uso do solo a um menor custo foi definido que o planejador necessita:

- receber a informação geológica em termos de "adequabilidade de uso" e não em termos de descrições ou de processos geológicos;
- esta informação deve estar numa forma que ele possa aplicar diretamente às suas políticas de administração do uso do solo.

Para avaliar o meio físico em um programa de administração do uso do solo, seriam necessários, no mínimo, três diferentes profissionais: o planejador, o geólogo e o engenheiro, o que gera limitações financeiras. Entretanto, a profissão de geólogo de engenharia combina a engenharia civil (mecânica dos solos, das rochas, hidrogeologia, análise de custos, projetos, construção e planejamento) com a geologia (física, estrutural, hidrogeológica, geoquímica, sedimentologia e estratigrafia), formando um especialista.

O papel específico do geólogo de engenharia no planejamento do uso do solo seria avaliar a adequabilidade do solo para o uso mais seguro e econômico possível. Os resultados devem ser apresentados em termos das limitações do meio físico que, então, são avaliados pelo planejador em termos de ambiente sócio econômico.

A Figura 2.2 esquematiza a elaboração de mapas geotécnicos (mapas para planejamento do uso do solo) a partir de informações geológicas. Os quais são divididos em quatro tipos:

1 - Mapas de observação ou mapas de 1ª ordem - mostram os resultados técnicos dos estudos gerais envolvendo topografia, geologia, solos e hidrogeologia. Cada fator deve ser determinado e avaliada sua influência para a comunidade.

2 - Mapa de engenharia (geotécnicos) ou mapas de 2ª ordem - destinam-se ao uso do engenheiro, planejador ou empreiteiro, que tratam diretamente com os tipos de materiais do solo em termos de projetos de construção. Em caso de um dos nove mapas propostos (Figura 2.2) não ser elaborado, deve-se realizar uma discussão quanto a sua influência ou não para o planejamento da comunidade em questão.

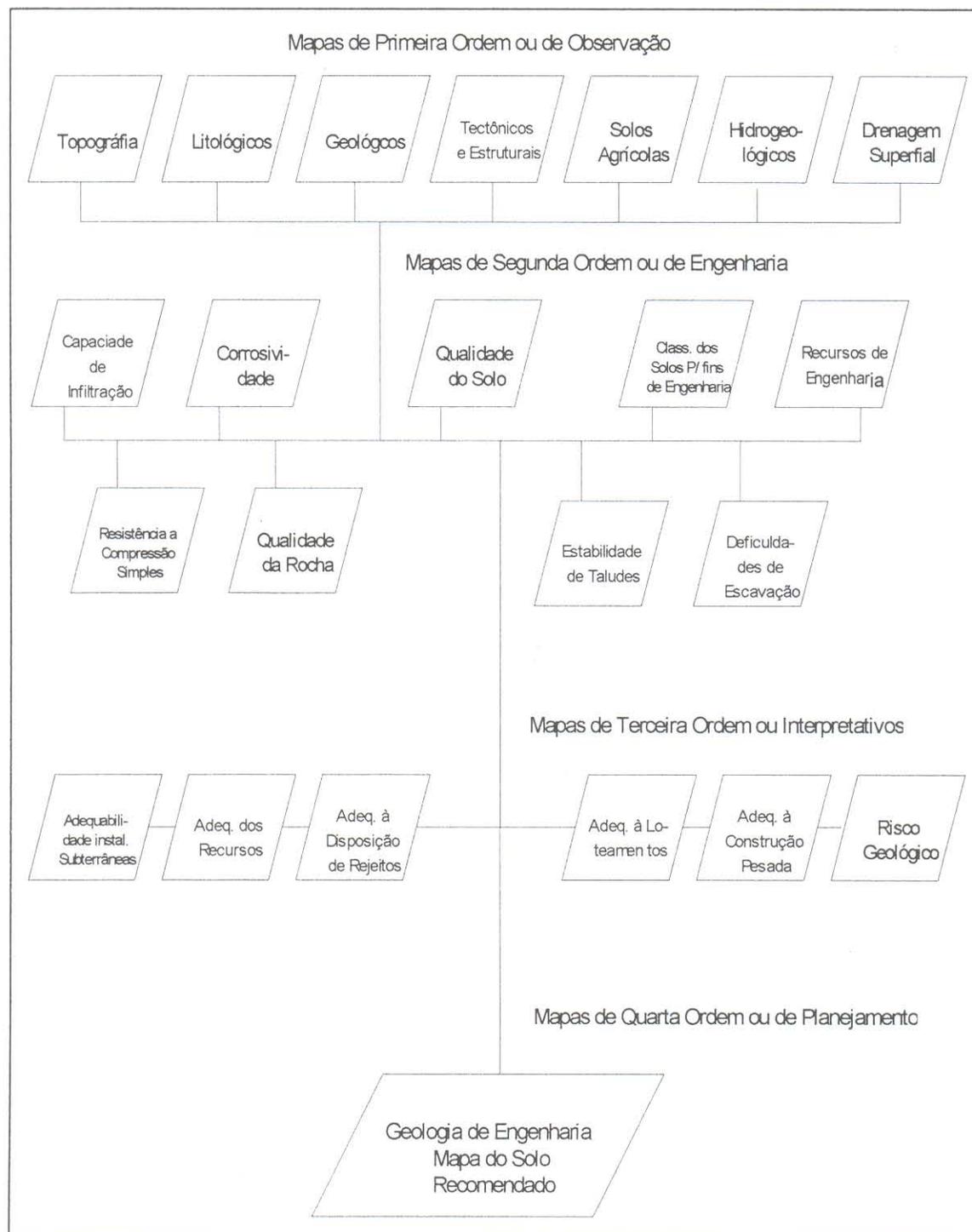


Figura 2.2 - Organograma de elaboração de mapas geotécnicos (mapas para planejamento do uso do solo) a partir de informações geológicas. (Mathewson & Font 1973).

3 - Mapas de interpretação ou mapas de 3ª ordem - são elaborados a partir dos mapas de observação e de engenharia; mostram a adequabilidade de uma área para uso específico do solo ou determinam os riscos ecológicos existentes ou em potencial. Destinam-se ao público em geral e devem estar a sua disposição.

4 - Mapas de planejamento ou mapas de 4ª ordem - apresentam recomendações geotécnicas para uso do solo, são o produto final de um estudo completo. Reúnem todas as informações prévias e destinam-se ao planejador do uso do solo, ao arquiteto, ao empreiteiro e ao público.

Os mapas de 1ª e 2ª ordem devem ser preparados de modo a funcionarem como um base técnica contínua para futuros estudos que servirão para a atualização dos mapas de 3ª e 4ª ordem.

Este trabalho apresenta algumas críticas direcionadas aos profissionais de geologia de engenharia quanto a sua capacidade de intervir e contribuir para o processo de tomada de decisão na sociedade, o que se materializou no Brasil em algumas cidades com a aceleração dos processos geológicos como em Santos, São Vicente, Cajamar (SP), Petrópolis(RJ), Salvador(BA), etc.; entretanto, ainda hoje não entrou em pauta regular de tomadas de decisão dos poderes executivos federal, estaduais e municipais. Tal observação se aplica na Amazônia quanto a formação dos profissionais de geologia que no presente tem seus currículos voltados ao mapeamento geológico básico, portanto distantes do desenvolvimento de habilidades técnicas que os possibilitem atuar de forma eficiente no planejamento urbano e regional.

A hierarquização dos mapas utilizada por Mathewson & Font (1973), embora resumida, é abrangente e mais completada que a proposta de IAEG (1976), não abordando, entretanto, os parâmetros que devem ser utilizados no auxílio da tomada de decisão quanto a localização de determinada atividade. Citamos como exemplo que parâmetros são utilizados para classificação dos solos para fins de engenharia e como essa classificação irá influenciar na definição da adequabilidade a loteamentos. Tal hierarquização funciona apenas como uma forma geral de sistematização das informações geológicas e geotécnicas necessárias ao planejamento e aos tipos de produtos cartográficos que devem ser gerados para esse fim.

Essa forma de sistematização das informações é muito bem captada pela metodologia da EESC e, por conseguinte, pelo Instituto Geológico de São Paulo, que elaboraram uma hierarquização das informações geológicas e geotécnicas e, a partir daí, definiram as adequabilidades frente as atividades antrópicas.

Outra questão fundamental é que os mapas primeiro e segunda ordem devem ser concebidos como uma base contínua de dados técnicos a ser atualizada periodicamente, e que as cartas de adequabilidade devem ser redefinidas com o surgimento de novos dados.

Uma questão que não nos é clara é se o planejador deve receber as informações em termos de adequabilidade de uso e não em termos de descrição ou processo. Embora informações na forma de descrição e quanto aos processos estejam presentes nos mapas de 1ª e 2ª ordem, parece-nos conveniente informar na legenda dos mapas de adequabilidade os critérios que facilitam ou dificultam determinada atividade, como, por exemplo, acrescentar ao termo inadequado a aterro sanitário o nível d'água ou permeabilidade ou a presença de área de recarga, ou pelo menos em termos de propriedade problemática como realizado pelo Instituto Geológico (1995), o que, em nossa avaliação, imprime ao termo adequabilidade maior coerência. Outro exemplo seria acrescentar ao termo inadequado a loteamentos - rochas a 0,5- 1,0m de profundidade ou apenas profundidade das rochas, informação essa que melhor subsidia a tomada de decisão quanto a realização ou não da atividade ou na definição das medidas que deverão ser tomadas para superar essa limitação nas fases: projeto, implantação e operação da atividade.

O espírito da proposta de organização das informações por seu caráter abrangente e sistematizador, não apresenta restrições quanto a elaboração de uma metodologia de cartografia geotécnica para o trópico úmido ou para qualquer região do Brasil; isso evidentemente quanto a formulação de uma concepção geral, mesmo porque o artigo não se propõe a tal fim e não vai além.

## 2.4 - METODOLOGIA FRANCESA

A presente metodologia foi elaborada por Sanejouand (1972) do *Laboratoire Central des Pont et Chaussées* que realizou um balanço dos diferentes tipos de mapas geotécnicos elaborados na França com vistas a delinear princípios que deveriam reger a cartografia geotécnica e os problemas a serem resolvidos naquele País.

### 2.4.1 - Classificação das cartas francesas

A metodologia classifica as cartas geotécnicas segundo:

#### a - Escala

- 1:50.000 a 1:100.000 - com objetivo de fazer o esquema de planejamento correspondente ao estudo dos solos para áreas metropolitanas;
- 1:25.000 a 1:10.000 - estudos de solos para planejamento urbano;
- 1:10.000 a 1:5.000 - estudo de solos para planejamento urbano visando elaboração do plano de ocupação de solos.

#### b - Conteúdo e Forma

- Cartas analíticas (cartas de fatores) - representa um ou alguns dos fatores necessários em um estudo geotécnico, representa uma síntese parcial dos dados. Ex: carta hidrogeológica e a carta de formações superficiais. São divididas em dois grupos:
  - 1 - Cartas de fatores "normais" - são estabelecidas normalmente no desenvolvimento do estudo geotécnico, e são freqüentemente a base para as cartas sintéticas. Ex: Carta de iso-valores de SPT.
  - 2 - Cartas de fatores "especiais" - não se diferenciam quanto a forma da carta de fatores "normais", são, no geral, elaboradas a partir do tratamento destas para resolver problemas concretos particulares. Ex: carta do topo de uma formação considerada como nível de fundação preferencial.

Em todos os trabalhos deve ser elaborado o mesmo conjunto de carta de fatores "normais". As cartas de fatores "especiais" vão depender dos problemas a serem resolvidos, do gênero de realização considerado e do contexto geológico.

As cartas de fatores "normais", em geral, não são utilizadas pelos urbanistas, pois para sua compreensão é necessário conhecimentos mínimos das ciências da terra.

- Cartas sintéticas - são a síntese dos diferentes fatores visando sua utilização prática, delimitam a partir das características dos solos zonas homogêneas quanto a adequabilidade de

determinada atividade. Por isso, podem ser chamadas de carta de aptidão. Ex: carta de aptidão à fundação ou de materiais naturais, mais utilizadas.

As cartas de aptidão a fundação são classificadas quanto a rigidez do zoneamento:

- solos de fundação bons, médios e maus, baseadas na classificação dos solos, em um pequeno número de categorias definidas *a priori*. Neste caso, o zoneamento pode ser:
  - a - unicamente horizontal: determina-se os tipos geográficos pertencentes a uma mesma categoria, que se representa sobre a carta por meio de uma mesma cor ou de uma mesma figura característica;
  - b - horizontal e vertical: classifica-se nestas categorias definidas *a priori*, sejam as camadas de solos de espessuras constantes, ou seja, os níveis de terrenos correspondentes às diferentes possibilidades de fundação.
- Carta de zoneamento geotécnico - separa zonas onde as categorias geotécnicas são suficientemente semelhantes.

#### **2.4.2 - Fatores considerados na elaboração das cartas geotécnicas**

Os fatores que devem ser considerados na elaboração das cartas geotécnicas são:

- natureza e propriedades das rochas;
- hidrogeologia;
- geomorfologia;
- geodinâmica externa;
- geodinâmica interna;
- materiais naturais;
- modificações do meio físico causadas pela ação do homem ou suscetíveis de serem causadas por ele.

##### **2.4.2.1 - Carta de documentação**

Para o correto levantamentos dos fatores é necessário usar um método de estudo, o qual pode ser dividido em dois grupos:

- Métodos pontuais: realizados a partir de amostras, sondagens, piezômetros, etc.

- Métodos mais contínuos: levantamentos geomorfológicos, fotointerpretação, etc.

O trabalho de cartografia deve iniciar com uma revisão geral, nessa fase todas as informações que podem ser representados de forma cartográfica devem ser sintetizados em cartas como sondagens, estradas, escavações, etc.; esse procedimento irá indicar a precisão do estudo geotécnico. As cartas devem ser detalhadas, cada ponto documentado deve ter representado sua natureza, profundidade, os ensaios realizados e até sua confiabilidade (para sondagens antigas em particular).

A carta de documentação funciona como repertório de informação geotécnica disponível. O armazenamento das informações existentes sobre a forma de relatórios apresenta dificuldade de acessibilidade e conduz a perda de informação. A utilização de banco de dados geotécnicos em computadores por esse motivo é sugerido pela metodologia, por permitir remediar esses problemas.

#### 2.4.2.2 - Natureza e propriedades das rochas

O estudo dos solos e rochas quanto a sua natureza, estado, propriedades mecânicas e sua extensão é o fundamento do estudo geotécnico. São estes os critérios básicos que permitirão prever a aptidão à tal utilização (solo de fundação, materiais de empréstimo, etc.) dos terrenos de um determinada zona. Esses estudos condicionam certos fatores como hidrogeologia e geodinâmica externa.

##### A - Método de Estudo

Inicialmente distingue-se as formações superficiais das formações do substrato rochoso. A profundidade do estudo do substrato rochoso vai depender do nível de utilização que se prevê deste.

O esquema de estudo é satisfatório para escalas de estudos suficientemente grandes e para formações geológicas não muito complexas. A complexidade das formações geológicas, a escala da carta, e os meios que se dispõe, vão ditar o nível de tarefas possíveis de realizar.

A representatividade dos dados dos ensaios de identificação ou mecânicos vai depender da precisão da análise de fácies e do número de ensaios realizados.

Para escalas inferiores a 1:25.000 tem-se o problema de reagrupamento dos níveis estratigráficos, dentro da ótica da engenharia: os critérios de reagrupamento não foram definidos pela metodologia, entretanto, é ressaltado que não há razões para que os limites estratigráficos (cronológicos) universais coincidam com os limites das formações portadoras de comportamentos geotécnicos diferentes. Os limites das unidades geotécnicas podem perfeitamente não coincidir com os limites da escala estratigráfica universal.

A questão é estabelecer de maneira clara os critérios que permitem definir em diferentes escalas as unidades geotécnicas, o que passa por critérios de homogeneidade.

#### B- Natureza, Estado e Comportamento Geotécnico das Rochas

O comportamento geotécnico das rochas se dá em função de sua natureza e de seu estado.

O comportamento das rochas pode ser estudada por ensaios mecânicos para definir sua compressibilidade e resistência ao cisalhamento. Essas propriedades dependem da natureza e estado da rocha. Os ensaios que permitem essas medidas são:

- resistência a compressão simples;
- triaxial;
- odômetro;
- cisalhamento;
- pressiômetro e
- esclerômetro.

Entretanto, não se pode dizer que se possa prever com precisão as propriedades mecânicas das rochas a partir dos ensaios efetuados pelo estudo de sua natureza e de seu estado.

#### C - Homogeneidade Mecânica e Homogeneidade Geotécnica

A homogeneidade mecânica é possível nas grandes escalas, entretanto, não é sempre possível, pois certas formações são muito heterogêneas ou apresentam uma contínua variação de suas características.

Com a diminuição da escala, os corpos continuam sendo cartografados, com o reagrupamento dos corpos que tem em comum certas características de natureza e de estado, entretanto, não são mais mecânicamente homogêneos.

Quanto a relação entre o conhecimento das características das rochas (natureza e estado) e a previsão do comportamento geotécnico necessário a um determinado nível de planejamento duas questões são apresentadas:

- qual precisão, sobre o comportamento geotécnico das rochas os usuários terão necessidade nos diferentes estágios dos estudos de planejamento?
- o que é resolvido pela definição precisa das questões a serem tratadas praticamente no diferentes estágios do planejamento (conhecer as etapas do planejamento);
- com que precisão, os estudos geológicos das rochas, permitirão prever suas propriedades mecânicas ?
- esta questão é resolvida - a exceção dos estudos regionais - com base nas características geológicas e nas propriedades mecânicas das rochas de diferentes origens e que permitem estabelecer as leis ligadas aquelas e a estas.

Conhecido para cada tipo genético de rocha, os critérios que permitem prever suas propriedades geotécnicas em diferentes graus de precisão, poder-se-á elaborar uma classificação geotécnica das rochas. Isso permitirá reagrupar ou desagrupar as unidades geotécnicas em diferentes escalas.

Nessa questão colocada pela metodologia francesa chamamos atenção para a proposta da IAEG (1976), que evolui bastante nesse sentido ao associar as unidades taxonômicas ou a homogeneidade litológica a precisão das propriedades geotécnicas, um caminho mais promissor, pois, analisa o meio físico sem se preocupar com um modelo preestabelecido, no caso uma classificação para rochas, que num país com as dimensões da França já apresenta dificuldades de sistematização imaginemos quiçá uma classificação para um país com as dimensões do Brasil. Vale ressaltar que, em 1981, a IAEG propôs os principais critérios a serem utilizados na descrição e classificação de rochas para fins de geologia de engenharia.

Concordamos que a escala de trabalho é definidora do nível de homogeneidade, entretanto, existem ocorrências geológicas que podem ser representadas com a mesma precisão em grandes escalas e em escalas médias, como por exemplo terrenos, graníticos isotrópicos ou terrenos submetidos a intensa laterização. Outra questão está vinculada ao peso diferenciado dado as rochas em relação aos solos, aspecto já abordado quando tratamos da classificação da IAEG (Item 2.2.1.2).

### 2.4.3 - Hidrologia

A metodologia separa os seguintes aspectos que devem ser levantados no estudo hidrogeológico:

- Profundidade do lençol: deve-se estudar sua evolução por um longo período de tempo.
- Sentido e velocidades de escoamento do fluxo do lençol.
- Composição química da água subterrânea e sua agressividade a qual pode exercer influência sobre as técnicas de construção adotadas e, por conseguinte, sobre o custo das obras (escolha do cimento, principalmente).
- Determinação da ordem de grandeza dos aquíferos (extensão e percolação).
- Quimismo das águas.
- Fontes de alimentação do lençol.
- Possibilidades de realimentação.
- Proteção contra a poluição.

Embora a metodologia reconheça que a presença ou não de água utilizável seja um fator geológico influente sobre a utilização dos terrenos, esse problema não faz parte - em geral - do estudo geotécnico, constituindo um estudo a parte.

#### 2.4.3.1 - Método do estudo hidrogeológico

Para escalas de 1:25.000 e maiores - identificar os principais lençóis e observar seus regimes, o que é feito com a instalação de piezômetros; quanto ao número destes e o período de observação variam muito, em escalas semelhantes, segundo os trabalhos avaliados por Sanejouand. Um ano, entretanto, é um período de observação considerado mínimo. Os estudos mais complexos apresentam cartas do lençol em isóbatas e isopiezométria.

Com relação as condições de jazimento das águas subterrâneas e mesmo quanto às suas propriedades químicas, pode-se obter informações por meio da observação dos fenômenos que caracterizam diretamente as condições hidrogeológicas, em particular, a geomorfologia, a hidrogeologia de superfície (cursos d'água, baixadas úmidas, fontes), o conhecimento geológico

do local estudado, a vegetação e as culturas existentes; além do levantamento de dados disponíveis em arquivos públicos e privados.

A representação cartográfica dos estudos hidrogeológicos dependerá da escala. Nas menores, por exemplo, devem ser apresentados os lençóis subterrâneos - classificados segundo a natureza, a agressividade presumida e a indicação da profundidade média dos topos dos lençóis. Para escalas maiores esses dados serão precisados por meio de isóbatas e cartas piezométricas de determinados períodos. Quanto a precisão o valor de um ponto não deve ser superior a equidistância das curvas de iso-valor, o lençol deve ser representado com suas variações ao longo do tempo.

#### **2.4.4 - Geomorfologia**

Trata-se do estudo das formas do relevo, ligado às formações superficiais, ou seja melhor estudar, portanto, a natureza e as propriedades das rochas próximas da superfície, contribuindo assim para o estudo das formações superficiais.

Os levantamentos geomorfológicos são utilizados nos trabalhos franceses como indicativos que orientarão os estudos posteriores, desempenhando assim papel importante em pequenas escalas (1:50.000 e 1:100.000). Em escalas maiores (1:5000 a 1:20.000) esse estudo é, evidentemente, mais detalhado.

A metodologia, entretanto, aponta para a necessidade de uma classificação geomorfológica (das formas de relevo) acompanhada de uma definição do significado geotécnico destas formas, o que é feito no Brasil em vários trabalhos como descrito por Rodrigues (1996).

## **2.4.5 - Geodinâmica externa e geodinâmica interna**

### 4.4.5.1 - Geodinâmica externa

É compreendida pela metodologia como a disciplina que investiga o meio natural sob a ação da erosão e da sedimentação. Os fenômenos geodinâmicos externos considerados importantes para a metodologia são:

- instabilidade de encostas;
- escorregamentos e
- dissolução de rochas cársticas.

Tais fenômenos dependem da natureza e do estado das rochas, das características morfométricas, das condições hidrogeológicas e dos agentes de alteração.

A metodologia reconhece a importância da elaboração de uma classificação dos fenômenos geológicos mais importantes (similar a elaborada por Fornasari Filho *et al.* 1992), considerando a colaboração dos geomorfólogos imprescindível.

### 2.4.5.2 - Geodinâmica interna

Diz respeito aos fenômenos sísmicos e vulcânicos. Em regiões com atividade sísmica consiste em cartografar zonas de igual sismicidade e definir as características tectônicas da zona estudada.

## **2.4.6 - Materiais naturais de construção**

O estudo dos materiais naturais de construção é importante no planejamento, uma vez que locais destinados para extração de materiais são incompatíveis com muitas atividades como loteamento - por exemplo - outra questão é que em projetos urbanísticos deve-se indicar o volume e o local dos jazimentos, o que é útil para o planejador.

Os materiais naturais de construção podem ser representados por cartas que devem conter a localização de explorações existentes ativas ou desativadas, suas extensões e a natureza dos

jazimentos, esse documento pode ser considerado uma carta de aptidão. Um dado que iria enriquecer a proposta da metodologia seria incorporar informações sobre áreas potenciais a explorar e as propriedades dos materiais de construção, além de vias de acesso, topografia e nível d'água.

#### **2.4.7 - Modificações do meio natural causadas pela ação do homem**

Esse item é dividido em dois aspectos:

a - modificações introduzidas no meio natural pela ação do homem. São exemplos:

- as cavidades subterrâneas (estradas, minas) as quais podem provocar fenômenos de abatimento.

b - previsão de modificações suscetíveis de serem causadas indiretamente pela ação futura do homem. Entre elas figuram:

- mudança nas zonas urbanizadas;
- mudança nas condições hidrogeológicas, a qual é importante sobre os fenômenos geológicos (instabilidade de encostas, dissolução), o que torna necessário um estudo especial, assim como de sua possível evolução.

#### **2.4.8 - Cartas de aptidão**

##### **2.4.8.1 - A necessidade de cartas de síntese**

A metodologia aponta necessidades técnicas e práticas a favor da realização de cartas de síntese.

Em função da interdependência dos fatores, esses são estudados separadamente, entretanto, cada fator não tem apenas seu interesse intrínseco, tem também, importância para outros fatores sobre os quais influi, daí a necessidade de colocar em evidência as relações existentes entre eles. Sob esse ponto de vista uma coleção de cartas não é suficiente. A representação de vários fatores numa mesma carta é inviabilizada uma vez que apenas um deles ocuparia várias cartas. Por isso se recorre às zonas homogêneas (carta de zoneamento), em

relação a um conjunto de fatores, região onde as relações entre esses fatores são da mesma natureza. Este zoneamento é independente da utilização que será feita da carta.

Outra limitação levantada pela metodologia francesa quanto à utilização de várias cartas de fatores é que os planejadores não conseguem utilizá-las, uma vez que para tanto faz-se necessário possuir certa especialização no domínio das ciências da Terra - que em geral eles não possuem. A metodologia observa ainda que:

- nos casos (raros) onde urbanistas participam da elaboração da carta geotécnica, as cartas de síntese, na forma de cartas de aptidão, tem sido realizadas;
- nos casos onde não foram produzidas cartas de síntese (cartas de aptidão) a influência do estudo geotécnico no planejamento é muito limitada.

#### 2.4.8.2 - Carta de zoneamento e cartas de aptidão

As cartas de síntese executadas à época da elaboração da metodologia são as cartas de aptidão de solos de fundações e as cartas de materiais naturais, podendo-se confeccionar outros tipos de cartas como as cartas de aptidão dos solos a terraplenagem, profundidade de exploração das águas subterrâneas, etc..

##### 2.4.8.2.1 - A insuficiência da noção de carta de aptidão

Os critérios de zoneamento, por serem independentes dos problemas a serem tratados referem-se unicamente as condições naturais, separando assim zonas homogêneas em relação as características do meio avaliado e obrigatoriamente não confrontando-as às diversas atividades humanas, qualquer que seja esta. O que deve ser feito em uma etapa posterior quando da análise de viabilidade de determinada atividade.

As cartas de aptidão são características de uma dada escala, porque as questões a serem resolvidas nos diversos estágios do planejamento são diferentes, o que faz com que tenha-se um número pequeno de cartas de aptidão nas grandes escalas - por serem seus problemas bem definidos - e tenha-se um número elevado nas escalas pequenas. Nesse sentido, a carta de zoneamento seria recomendada implicitamente pela metodologia para resolução de problemas em pequenas escalas uma vez que nessas escalas os problemas são mais gerais e mal definidos.

As etapas para realização de cartas de síntese, preconizados pela metodologia são:

- realização de um carta de zoneamento geotécnico com as características naturais do meio analisado.
- realização eventual de uma ou várias cartas de aptidão, com base na carta de zoneamento geotécnico, para permitir a solução de um ou vários problemas bem definidos.

#### 2.4.8.2.2 - Problemas metodológicos do zoneamento geotécnico

A cada escala da carta geotécnica corresponde a uma carta de zoneamento geotécnico, trata-se de estabelecer uma hierarquia dos fatores em função da escala nos diferentes estágios dos estudos geotécnicos acentuar-se-á os fatores que servem de critérios de zoneamento.

Pronta a carta de zoneamento a definição da aptidão das zonas quanto às diversas utilizações possíveis, será realizada por um especialista em geologia de engenharia. Esta questão em nossa avaliação representa um complicador, caso o mapeamento geotécnico pare no zoneamento geotécnico, uma vez que os planejadores e o público em geral não apresentam conhecimento na área das geociências. Tornando portanto obrigatório que, após a realização da carta de zoneamento sejam elaboradas cartas de aptidão de interesse para o planejamento. Outra questão que avaliamos como elemento que dificulta a aplicação da metodologia esta relacionado à definição das propriedades do meio físico que são potencializadoras ou não de determinada atividade. A metodologia remete essa questão à experiência cotidiana do especialista de geologia de engenharia o que tende a estimular a geração de cartas de aptidão diferentes para resolução de um mesmo problema, uma vez que, cada profissional ressalta os atributos que mais influenciam sua realidade particular.

## 2.5 - METODOLOGIA AUSTRALIANA (PUCE - Pattern, Units, Components and Evaluation)

A cartografia na Austrália se iniciou nos anos 50 – século passado, com vários sistemas de análise dos terrenos. As avaliações do meio físico detiveram-se inicialmente na resolução de problemas ligados à agricultura, sendo em seguida utilizadas também para fins de engenharia e planejamento regional.

O primeiro método de sistema de análise dos terrenos foi desenvolvido em 1953 (Finlayson & Buckland 1987), sendo planejado pelo CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). Este trabalho tomou a geomorfologia como fator de classificação, apoiado na idéia, de que litologias semelhantes, com clima e tectônica parecidas deveriam ter um comportamento semelhante.

Esse sistema inicial contribuiu para a posterior proposição do sistema de análise dos terrenos mais largamente utilizado na Austrália denominado de PUCE (Grant & Finlayson 1978, Finlayson 1984). O sistema PUCE abreviatura de Pattern, Units, Components and Evaluation, foi utilizado inicialmente como auxílio na construção de uma rede estradas, chamada de "estradas de boi", em áreas pouco desenvolvidas da Austrália durante os anos 60 do século passado.

A fase de classificação do sistema PUCE e sua nomenclatura numérica correspondente são apresentados por Grant (1975 a b) e citadas por Finlayson (1981).

A metodologia australiana se apoia no conceito básico de que qualquer terreno pode ser classificado com base em seus atributos básicos: topografia (vertentes), natureza e estrutura do material, processo erosivo, vegetação e uso atual do solo; todos esses atributos são levantados considerando seu uso em sistemas computacionais.

Os procedimentos metodológicos se iniciam com a interpretação de fotografias aéreas, seguida por etapa de campo. Nesse processo se determinam: declives, solos, vegetação e outros fatores requeridos para a classificação dos terrenos em províncias, padrões de terreno, unidades do terreno e componentes do terreno (Tabela 2.2), onde são descritas além das classes de terreno suas características, fontes de informação e escala de trabalho. Alguns trabalhos expressam bem essa metodologia como os de Grant & Finlayson (1978), Finlayson (1981) e Finlayson & Buckland (1987).

O sistema PUCE tem sido utilizado como base para avaliações e/ou estimativas para várias finalidades (descritas em maior detalhe por Grant & Finlayson 1978), em vários locais além do território australiano, como na Papua Nova-Guiné e Quênia (Finlayson & Buckland 1987).

Essa metodologia apresenta fácil aplicabilidade, mesmo com recursos limitados e pessoal reduzido, é possível desenvolver trabalhos rápidos e eficientes. Outros aspectos de grande relevância que deve ser destacado esta associado as similaridades entre as regiões para onde essa metodologia foi concebida e as característica da Amazônia como regiões com baixa densidade demográfica, extensão continental.

Tabela 2.2 - Classes de terrenos da Metodologia Australiana - PUCE (Grant 1975 a b, Finlayson 1981, Finlayson & Buckland 1987)

<b>CLASSES DE TERRENO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS</b>	<b>FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>ESCALA</b>
<b>Província</b>	- Uniformidade geológica (grupo, formação, etc.)	- Mapas geológicos, fotos aéreas, outras imagens	1:250.000 ou menores
<b>Padrão de Terreno</b>	- Paisagens uniformes - Amplitude de relevo - Padrão e densidade de drenagem uniforme - - Associações de solo e formações naturais de vegetação	- Mapas geológicos, geomorfológicos, fotos aéreas ou outras imagens	1:250.000 a 1:100.000
<b>Unidades de Terreno</b>	- "Landforms" uniformes - Associação característica de solos; - Cobertura vegetal característica	- Estudos de fotos aéreas e outras imagens	1:100.000 a 1:25.000
<b>Componente do Terreno</b>	- Tipo de encosta uniforme - Associação de solos característica - Associação vegetal característica	- Estudos de fotos aéreas e mapas de isocontornos	1:25.000 ou maior

## 2.6 - METODOLOGIA DA EESC-USP

A Metodologia da EESC (Zuquette 1987 e 1993) leva em consideração as condições sócio-econômicas do País e foi baseada nos princípios que regem as outras metodologias existentes. No levantamento das informações, se propõe a utilizar técnicas e métodos que sejam simples, baratos e objetivos. A aplicação da proposta deve utilizar um número reduzido de profissionais especializados, com habilidade de trabalho em escalas diversas (1:50.000-1:10 000 e 1:100 000-1:250 000).

### 2.6.1 - Fundamentos gerais

Segundo Zuquette & Gandolfi (1990 a), deve-se respeitar as seguintes características:

- apresentar o menor custo possível, para não concorrer com a investigação específica;
- aplicar-se à diversidade do meio físico e à grande extensão territorial;
- fornecer dados úteis (por exemplo, a profundidade do substrato rochoso);
- permitir o acréscimo de informação;
- servir a multifinalidades, tais como: obras de engenharia, saneamento, agroindústrias, etc.;
- fornecer informações úteis à proteção do meio ambiente;
- auxiliar no desenvolvimento de projetos específicos (por exemplo, irrigação);
- fornecer aos administradores públicos dados relativos à orientação da ocupação do solo;
- realizar amostragem dirigida dentro da região e na unidade considerada homogênea (áreas-chaves).

Para áreas com maior densidade de ocupação, a elaboração de mapas geotécnicos deve agrupar os dados já existentes e prever possíveis problemas causados por ocupação indevida. Os mapas poderão ser utilizados para analisar as tendências da ocupação, bem como manter e fiscalizar as formas corretas de utilização do meio físico.

A proposta metodológica é baseada em um grupo de atributos do meio físico considerados básicos, registrados em mapas e cartas interpretativas associadas a memoriais descritivos. As relações entre os atributos e as técnicas de obtenção e seus registros podem ser analisados na Tabela 2.3. É necessário que a avaliação, a análise e o registro de tais atributos permitam sua utilização pelos mais diversos usuários.

O planejamento geotécnico, como subsídio ao planejamento urbano, pode fornecer informações para:

- localização de autopistas;
- planejamento para desenvolvimento regional;
- local para disposição de rejeitos industriais e domésticos;
- suprimento de águas;
- fundações;
- seleção de áreas para indústrias;
- pesquisa de possíveis jazidas minerais;
- sistematização adequada de drenagem;
- adaptação de edificações à topografia;
- áreas de recreação e
- loteamentos.

Os trabalhos de mapeamento geotécnico são baseados fundamentalmente em informações pré-existentes e fundamentais para cada região. Os documentos envolvidos são de quatro classes: mapas básicos fundamentais, mapas básicos opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas.

### **2.6.2 – Mapas básicos fundamentais**

Os mapas básicos fundamentais são utilizados em qualquer região e normalmente neles são representados os componentes do meio físico. Dentre estes, tem-se:

- a) - Mapa topográfico: é sobre ele que serão plotadas todas as informações. E também permite a confecção da carta de declividade.

Tabela 2.3 - Relação entre os vários atributos e as formas de obtenção (Zuquette & Gandolfi (1990a).

ATRIBUTOS	MÉTODO DE OBTENÇÃO	DOCUMENTO DE REGISTRO
1 - TIPO DE MATERIAL (inconsolidado ou rochoso) -distribuição em áreas características	-Fotointerpretação -Trabalho de campo -Ensaio de laboratório (granul., limites adsorção azul de metileno-mineralogia, micrografia, etc..)	-Mapas de substrato rochoso e/ou materiais inconsolidados
2 - NATUREZA E PERFIL DA UNIDADE -relação espacial -características	-Trabalhos prévios -Trabalhos de campo (cortes, tradagens, sondagens alternativas, poços e outros) -Ensaio de campo	-Mapas de substrato rochoso e/ou materiais inconsolidados e tabelas
3 - ESPESSURA DOS MATERIAIS	-Trabalho de campo -Sandagens alternativas	Mapa de materiais inconsolidados
4 - PROFUND. DO NA	-Idem 1,2 e 3	Mapas de águas ou materiais inconsolidados
5 - DECLIVIDADE E SENTIDO	-Mapa topográfico -Trabalho de campo -Fotogrametria	Carta de declividade
6 - PERMEABILIDADE, DRENABILIDADE E DRENAGEM	-Através das informações obtidas nos itens anteriores -Estimativas através de índices de vazios, granulometria e outros. -Observações de campo	Mapa específico ou memoriais
7 - EXPANSIVIDADE	-Mineralogia -Ensaio alternativo (adsorção de azul de metileno - reação com solução orgânica) -C.T.C.	Memoriais
8 - COMPRESSIBILIDADE	-Através de correlações com índices básicos -Observações de campo	Memoriais
9 - RESISTÊNCIA	-Por meio de correlações com índices básicos -Observações de campo	
10 - CORROSIVIDADE	-Ensaio específico	Memoriais
11 - ÁREAS COM HIDROMORFISMO E ENCHENTES	-Fotointerpretação -Trabalhos prévios	Mapa
12 - MOVIMENTOS DE MATERIAIS	-Fotointerpretação -Trabalhos de campo -Trabalhos prévios	Mapa
13 - FORMAS E COMPRIMENTO DAS ENCOSTAS	-Fotointerpretação -Trabalhos de campo -Mapas diversos	Memoriais e mapa
14 - DADOS CLIMÁTIVOS (evapotransp., pluv. e temp.)	-Trabalhos prévios específicos	Mapa de dados
15 - VEGETAÇÃO NATURAL IMPOSTA	-Fotointerpretação -Trabalhos prévios -Trabalhos de campo	Mapa
16 - AÇÃO ANTRÓPICA	-Fotointerpretação -Trabalhos de campo	Mapa
17 - ÁREAS DE RECARGA	-Fotointerpretação -Trabalhos de campo -Trabalhos prévios	Mapa
18 - SALINIZAÇÃO (potencial)	-Trabalhos específicos	Memorial
19 - C.T.C (capacidade de troca catiônica)	-Ensaio específico (químico)	Memorial
20 - BACIAS HIDROGRÁFICAS	-Mapas topográficos -Fotointerpretação	Mapa
21 - GRAU DE ALTERAÇÃO	-Observação macroscópica -Observação microscópica -Adsorção do azul de metileno	Memorial
22 - FRATURAMENTO ESTRUTURAL	-Fotointerpretação -Trabalhos de campo	Mapa do substrato rochosos

## b) - Mapa geológico

Contém a representação bidimensional dos materiais que compõem o substrato rochoso e por vezes os materiais inconsolidados que, em alguns casos, são produzidos em folhas separadas.

### b.1) - Mapa do substrato rochoso

Os mapas geológicos registram em geral unidades litoestratigráficas, agrupando por vezes conjuntos de litologias que em muitos casos não apresentam as mesmas propriedades geotécnicas, o que torna portanto inevitável o seu complemento para que seja útil ao mapeamento geotécnico. Os mapas do substrato rochoso são de grande importância para a análise de quase todos os tipos de ocupação do meio físico.

### b.2) - Mapa de materiais inconsolidados

É também conhecido como mapa das formações superficiais e representa os materiais que estão sobre o substrato rochoso. Quando não retratam as características dos materiais com o detalhe necessário para o uso em geotecnia devem ser refeitos. Esses mapas devem conter informações como: perfis típicos de alteração, espessura de cada horizonte de solo, presença de matacões, ocorrência de minerais expansivos, propriedades geotécnicas dos material inconsolidado, profundidade no nível d'água, etc..

## c) - Mapa das águas

Fornece informações sobre as condições hidrológicas (superficial) e hidrogeológicas (subsuperficial).

Com o mapa de águas superficiais pode-se conhecer o tipo e o sistema da rede de drenagem, bacias e sub-bacias, possibilidade de escoamento superficial, áreas inundáveis e outras características hidrológicas pertinentes. As características hidrogeológicas de interesse são principalmente os aquíferos, sejam livres ou confinados, porosos ou fraturados, os principais

tipos litológicos responsáveis pelo armazenamento, as áreas de recarga, a profundidade e a espessura do material armazenador, as condições de perfuração e os materiais que apresentam dificuldades para sondagens em cota superior à do aquífero.

É necessário conhecer ou até inferir as características químicas das águas, o que ajudará a prever sua utilização para fins potáveis, de irrigação e industriais.

### 2.6.3 - Mapas básicos opcionais

São considerados básicos opcionais, todos os mapas que contenham informações do meio físico, com exceção dos mapas considerados básicos fundamentais. Alguns mapas básicos opcionais podem ser considerados “fundamentais”, como é o caso do mapa geomorfológico em regiões de altas declividades. Os tipos mais comuns de mapas básicos opcionais são:

a) - Mapa pedológico.

No Brasil, em geral, estes mapas encontram-se em escalas variando de 1:500.000 a 1:100.000. Neles estão representados os materiais inconsolidados para profundidades em torno de 3 metros. Fornecem informações dos solos como: gênese, rocha matriz, composição mineralógica, porosidade e estrutura, análise granulométrica, massas específicas aparentes e real, textura, estimativa da permeabilidade, C.T.C., etc..

b) - Mapa geomorfológico

Normalmente apresenta características como morfologia, morfogênese e a morfocronologia, sendo a primeira a mais utilizada na cartografia geotécnica. São vários os tipos de mapas geomorfológico e dentre eles destacamos:

c) - Mapa morfológico/morfométrico ou de declividade

Este mapa representa o relevo, através de seus perfis, de suas inclinações, de suas quebras, bem como de dados sobre suas dimensões. No mapeamento geotécnico usa-se principalmente a carta clinométrica, obtida através da interpretação do mapa topográfico, sendo sugeridas 5 classes de declividade tanto para a situação urbana quanto para a regional, Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classes de declividade propostas para o planejamento urbano e regional, (Zuquette 1987).

PLANEJAMENTO URBANO	PLANEJAMENTO REGIONAL
0-2%	0-2%
2-5%	2-10%
5-10%	10-15%
10-15%	15-20%
>15%	>20

Para as condições urbanas, esta carta permite observar e analisar preliminarmente as situações de cortes, de aterros e de movimentação de materiais que normalmente são exigidos em obras civis. Porém, sua maior importância diz respeito às limitações das possíveis ocupações.

c) - Mapas climáticos

Estes mapas exibem as variações relativas à pluviosidade, à evapotranspiração, ao escoamento, à temperatura, à insolação e a outros fatores que compõem ou alteram as condições climáticas de uma região.

d) - Mapa de ocupação atual ou prevista

Ajuda na previsão e determinação do comportamento da ocupação que ocorrerá na região. Exibe as áreas que são de uso público, as de proteção das nascentes, as de recarga de aquíferos, as linhas de túneis responsáveis pelo conduto de líquidos, as áreas em que já há projetos para ocupação etc.. Estas informações, em geral, encontram-se em vários documentos, mas para serem utilizadas pelo mapeamento geotécnico recomenda-se a elaboração de uma única carta denominada carta de restrições ambientais.

#### 2.6.4 - Mapas auxiliares

O mapa auxiliar mais conhecido e útil para o mapeamento geotécnico é o mapa de documentação ou de dados.

Nele são registrados os pontos onde foi possível obter alguma informação (qualitativa ou quantitativa), assim como a fonte de obtenção da informação. São também registrados os locais onde é possível analisar o perfil, os afloramentos, os pontos de amostragem, as sondagens (de diversos tipos), as pedreiras etc..

### 2.6.5 - Cartas derivadas ou interpretativas

São as cartas obtidas com base em interpretações realizadas sobre as informações contidas nos mapas; contém informações sobre os terrenos para uma ou mais finalidades e são destinadas ao uso direto pelos usuários.

São exemplos de cartas interpretativas, as de zoneamento geotécnico específico (aptidão) e geral, de planejamento geral e de condições construtivas entre outras. Zuquette (1993) apresentou complementos à proposta de 1987, tratando com maior detalhe a elaboração das cartas interpretativas, em escalas iguais ou maiores que 1:50 000, para diversos fins. A Tabela 2.5 exibe as cartas interpretativas propostas por Zuquette (1987 e 1993).

Tabela 2.5 - Cartas interpretativas propostas por Zuquette (1987, 1993).

ZUQUETTE (1987)	ZUQUETTE (1993)
de Fundações	para Fundações
de Escavabilidade	para Escavabilidade
para Estabilidade de Taludes	de Potencial de Movimento de Massa
para Irrigação	para Irrigação
de Erodibilidade	de Potencial à Erosão
De Deposição de Rejeitos Sépticos	Disposição de Resíduos
de Materiais de Construção	de Potencial Mineral e de Materiais para Construção Civil
para Obras Várias	para Estradas
para Obras Enterradas	para Estocagem Subterrânea
de Restrições Ambientais	-
de Orientação (Zoneamento)	-
-	de Potencial a Corrosividade
-	de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas
-	de Escoamento Superficial e Infiltração
-	de Potencial de Ocupação Agrícola

Na Tabela 2.6, pode-se analisar a importância das cartas interpretativas na implantação de diversas formas de ocupação, segundo Zuquette & Gandolfi (1990a).

Tabela 2.6 - Importância dos fatores relacionados à ocupação, (Zuquette & Gandolfi 1990a).

U R B A N O	Fatores Relacionados a Ocupação	Fundações	Escavabilidade	Erodibilidade	Obras Enterradas	Depos. Fossas	Rejeitos		Materiais para Construção	Problem. Ambientais	Irrigação	Estabilidade de Taludes
							Tanques Sépticos	Aterro Sanitário				
	Ocupação											
R	Parque habitacional	1	1	0	0	0	0	0	0	0		0
B	Loteamentos	1	1	0	0	0	0	0	1	0		0
A	Equipamentos Públicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
N	Parques Industriais	1	1	1	0			0	1	0		0
O	Centros Comerciais	0	0	2	0				1	0		0
R	Estradas		1	0				0	0		0	
E	Linhas de Transmissão	0		2								2
G.	Pólos Industriais	0			0			0	1	0		0
	Turismo			0	0	0	0	0		0		0
R	Agricultura			0						0	0	
U	Pecuária			0				0		0		
R	Hortifrutigranjeiros			0		0	0			0	0	
A	Agroindustria	0		1	0			0		0		
L												
	Pólos Industriais Específicos	0	0	1	0			0	2	0		0

Obs: 0-Fundamento Proibitivo, 1-Fundamento circunstancial e 2-Analisar com cuidado.

Os documentos podem ser classificados quanto à escala e finalidade, estando associados às classificações um número mínimo de observações, conforme é mostrado na Tabela 2.7.

As informações podem ser apresentadas em: mapas das condições geotécnicas, mapas de zoneamento geotécnico geral e mapas de zoneamento geotécnico específico ou carta de aptidão.

Alguns autores como Souza (1992), Mio (1992), Gruber (1993) e Aguiar (1995) que testaram a metodologia de Zuquette fizeram algumas críticas e dentre elas destaca-se a necessidade de reavaliar o número mínimo de amostras proposto na Tabela 2.7, bem como os ensaios que devem ser realizados para caracterizar geotécnicamente uma unidade.

Tabela 2.7 - Classificação dos documentos quanto a finalidade e escala, associado ao número de observações mínimas, (Zuquette & Gandolfi 1990a).

FINALIDADE	ESCALA	NÚMERO DE OBSERVAÇÕES MÍNIMAS			ÁREAS- CHAVES*	
		QUANTITATIVAMENTE		QUALITATIVAMENTE	(20 km <sup>2</sup> )	
		Cristalino	Sedimentar	Geral	Escala/Pontos observados	
Básico regional	1:250.000	1/15 km <sup>2</sup>	1/15 km <sup>2</sup>	1/20 km <sup>2</sup>	1:50.000	1/2km <sup>2</sup>
Regional orientativa à distribuição das formas de ocupação e da fase de inventário de projetos	1:100.000	4/10 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup>	1/10 km <sup>2</sup>	1:25.000	1/km <sup>2</sup>
	1:50.000	6/5 km <sup>2</sup>		1/5 km <sup>2</sup>	Em locais considerados extremos dentro de cada unidade definida como homogênea qualitativa	
Urbana	1:25.000	3/ km <sup>2</sup>	2/ km <sup>2</sup>	1/ km <sup>2</sup>		

(\*) Observações:

1 - Quando uma área considerada homogênea (unidade) e/ou muito extensa, pode-se selecionar mais de uma área-chave.

2 - No caso de áreas homogêneas (unidade), com extensão inferior a 90 Km<sup>2</sup> nos trabalhos em escalas entre 1:500.000 e 1:200.000, não deve ser selecionada área chave e a UNIDADE deve ser analisada como tal.

3 - Nos trabalhos em escalas entre 1:100.000 e 1:75.000, as áreas homogêneas (unidades), com extensão próxima a 90 Km<sup>2</sup> podem ser analisadas com o auxílio de uma área-chave.

4 - O número de pontos a serem observados são válidos para áreas onde a faixa de declividades > 20% não ocorre em mais de 20% do total da área.

5 - A proposta de amostragem quantitativa é válida quando dirigida em unidades inicialmente consideradas homogêneas segundo critérios quantitativos de acordo com essa metodologia.

Os trabalhos de campo tem por finalidade reconhecer as unidades previamente definidas (num contexto geológico-geotécnico) e verificar e confirmar os limites das zonas homogêneas quanto às propriedades geológico-geotécnicas. Essas atividades relacionadas a fotointerpretação definem as unidades geotécnicas preliminares e direcionam a amostragem, bem como a reanálise de pontos obscuros.

A amostragem ultimamente tem tido como critérios: as unidades geotécnicas preliminares e o perfil típico de alteração de cada unidade, na perspectiva de melhor compreender a variação das propriedades geotécnicas espacialmente (variação vertical e horizontal). O conceito de perfil

típico de alteração foi incluído no estudo de materiais inconsolidados, por permitir uma caracterização mais representativa das unidades cartografadas, exigindo menor volume de material amostrado e por oferecer maior confiabilidade na definição da unidade de terreno que representa, o que possibilita: economia de recursos, facilidade na interpretação dos resultados e diminuição da quantidade de ensaios.

Na fase pós-campo, as amostras coletadas são submetidas aos seguintes ensaios:

- Granulometria conjunta, segundo a norma ABNT-NBR 6502/80;
- ensaio mini-MCV e perda de massa por imersão para solos tropicais, segundo Nogami & Villibor (1980 e 1995);
- Massa específica dos sólidos e
- Azul de metileno, segundo Fabbri (1994).

A metodologia em seus últimos trabalhos não tem utilizado as classificações de solos tradicionais, baseadas no LL (Limite de Liquidez) e no IP (Índice de Plasticidade), em função das limitações que vem apresentando quando aplicadas a solos tropicais, uma vez que foram desenvolvidas para climas temperados (Nogami & Villibor 1980, Carvalho *et al.* 1985, Gobara *et al.* 1986, Ignatius 1988 e Nogami & Villibor 1995).

A classificação da fração fina dos solo utilizando o corante Azul de Metileno (Pejon 1992 e Fabbri 1994) e a classificação MCT (Nogami & Villibor 1980) vem sendo utilizados em muitos trabalhos nos últimos anos com o propósito de suprir as deficiências apresentadas pelas classificações tradicionais.

## 2.7 - METODOLOGIA DO IG-SP

O Instituto Geológico (IG) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, iniciou sua atuação na cartografia geotécnica de forma sistemática com o trabalho "Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Sorocaba (SP)". A metodologia aplicada no primeiro trabalho teve continuidade nos municípios de Itú e Campinas, aos quais seguiu-se o trabalho "Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico da porção média da Bacia do Rio Piracicaba, São Paulo" (Instituto Geológico 1990, 1991, 1993 e 1995 -

respectivamente). Esta série de trabalhos está inserida dentro do Programa "Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas".

O último trabalho do Instituto Geológico mapeou 7 municípios na escala 1:50.000 (Americana, Hortolândia, Jaguariúna, Nova Odessa, Paulínia e Sumaré), mesma escala dos trabalhos anteriores representando - até o momento - o último esforço metodológico desse importante grupo de trabalho.

Os trabalhos do Instituto Geológico têm como objetivo elaborar diretrizes e recomendações para a organização dos diferentes tipos de uso e ocupação, para a mitigação de impactos e conflitos gerados pela ocupação inadequada do meio físico e para a orientação do poder público municipal e estadual no planejamento de seu território. Representando uma postura amadurecida - quando comparada à região Amazônica - de Estado e municípios na gestão dos recursos do meio físico, sendo entretanto resultado do intenso e muitas vezes descriterioso uso dos recursos naturais.

Em função dos objetivos propostos o último produto cartográfico gerado é um Mapa de Diagnóstico do Meio Físico, o qual exhibe unidades de diagnóstico com características específicas, as quais se associam a determinados usos. Nesse mapa são destacados quanto à gestão dos recursos naturais: a potencialidade mineral, cujo diagnóstico visa orientar o poder público e a iniciativa privada com respeito ao aproveitamento de bens industriais (argila, para cerâmicas vermelha e refratária, e brita); a potencialidade de água subterrânea, envolvendo a caracterização de zonas de melhor produtividade, exploração intensiva e vulnerabilidade natural dos aquíferos à poluição. Outros temas específicos destacados são: áreas aptas para disposição de lixo doméstico; susceptibilidade à erosão; áreas degradadas por problemas de mineração e/ou geotécnicos; áreas de proteção ambiental.

Os produtos são gerados com a intenção que funcionem como um instrumento de gestão territorial, ao estabelecer um zoneamento do território, separando e hierarquizando unidades, diferenciadas segundo critérios relativos ao meio físico, aspectos sócio-econômicos e legislativos relacionados a ocupação do meio natural.

Os mapas oferecem vários tipos de leitura, dependendo do enfoque e dos problemas em análise. Numa primeira leitura, destacam-se as potencialidades naturais que o meio físico apresenta, bem como as suas fragilidades. Uma leitura mais aprofundada leva ao conhecimento

das unidades geotécnicas, suas características e inter-relações com os diferentes usos, sustentando o planejamento e a gestão dos recursos naturais.

### **2.7.1 - Metodologia**

A metodologia aplicada é constituída por quatro etapas complementares: inventário, diagnóstico, prognóstico e divulgação, Figuras 2.3, 2.4 e 2.5.

I - INVENTÁRIO. Compreende a caracterização dos componentes do meio físico com a elaboração de mapas básicos os quais apresentam os parâmetros do meio físico e análise espacial do uso e ocupação do solo (Figura 2.3).

II - DIAGNÓSTICO. Envolve a formulação das aptidões do meio físico com a elaboração de mapas interpretativos, representam as qualidades significativas do meio físico relativas as potencialidades e susceptibilidades e mapas de síntese - representa a análise integrada dos diversos fatores levantados (Figura 2.4).

III - PROGNÓSTICO. Contém recomendações e diretrizes gerais específicas para orientar a interferência e ocupação do meio físico, assim como resolver conflitos existentes (Figura 2.5).

DIVULGAÇÃO. Compreende a divulgação dos resultados junto à comunidade e a adoção de esforços para que o trabalho seja utilizado no máximo de seu potencial (Figura 2.5).

### **2.7.2 - Geologia**

Os estudos geológicos básicos são realizados para subsidiar o planejamento da ocupação do meio físico, pois com base no mapa geológico são obtidos os mapas que mais diretamente se aplicam às soluções ambientais por exemplo: os mapas hidrogeológico, de produtividade similar, de vulnerabilidade natural de aquíferos à poluição, de potencialidade mineral, de materiais inconsolidados.

Do mapa geológico são retiradas as seguintes informações: identificação dos diferentes tipos de rochas, suas relações (unidades litoestratigráficas) e as deformações (tectônica) que sofreram. Desta forma é estabelecida a história geológica da área de estudo com o objetivo de obter informações sobre suas conseqüências para o presente.

## METODOLOGIA INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO - INVENTÁRIO

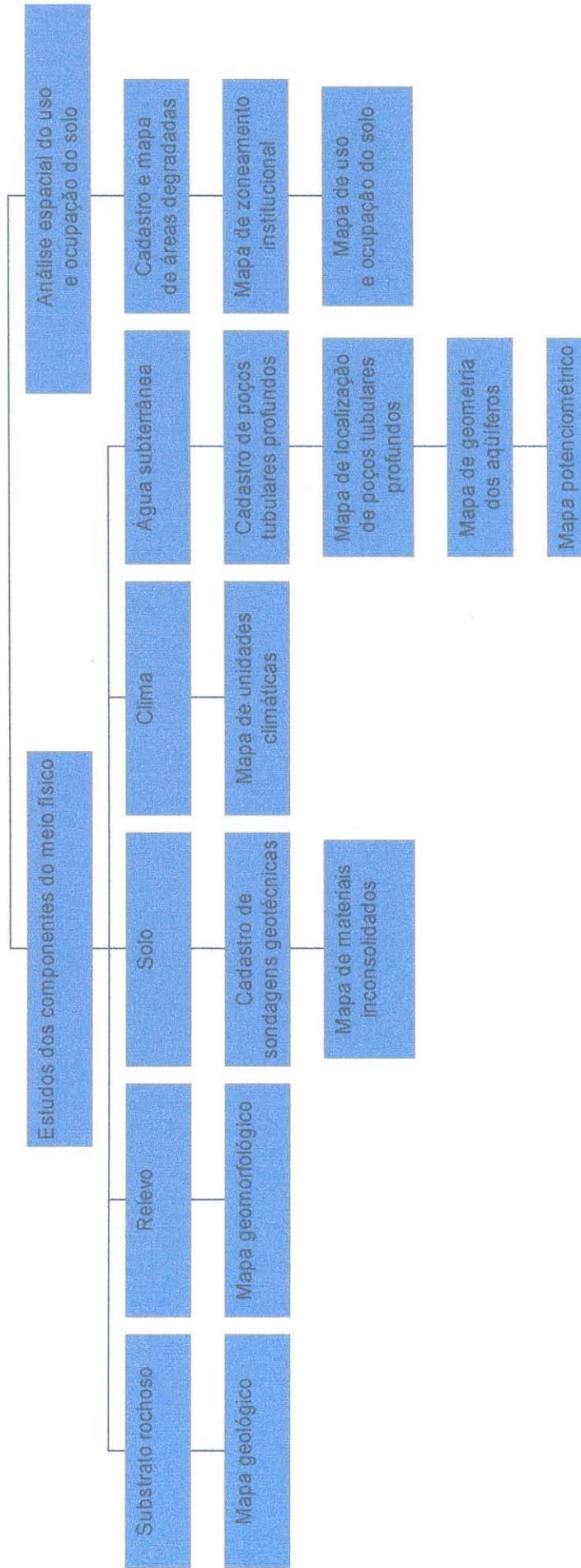


Figura 2.3 - Organograma do inventário do meio físico, (Instituto Geológico 1995).

# METODOLOGIA DO INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO - DIAGNÓSTICO

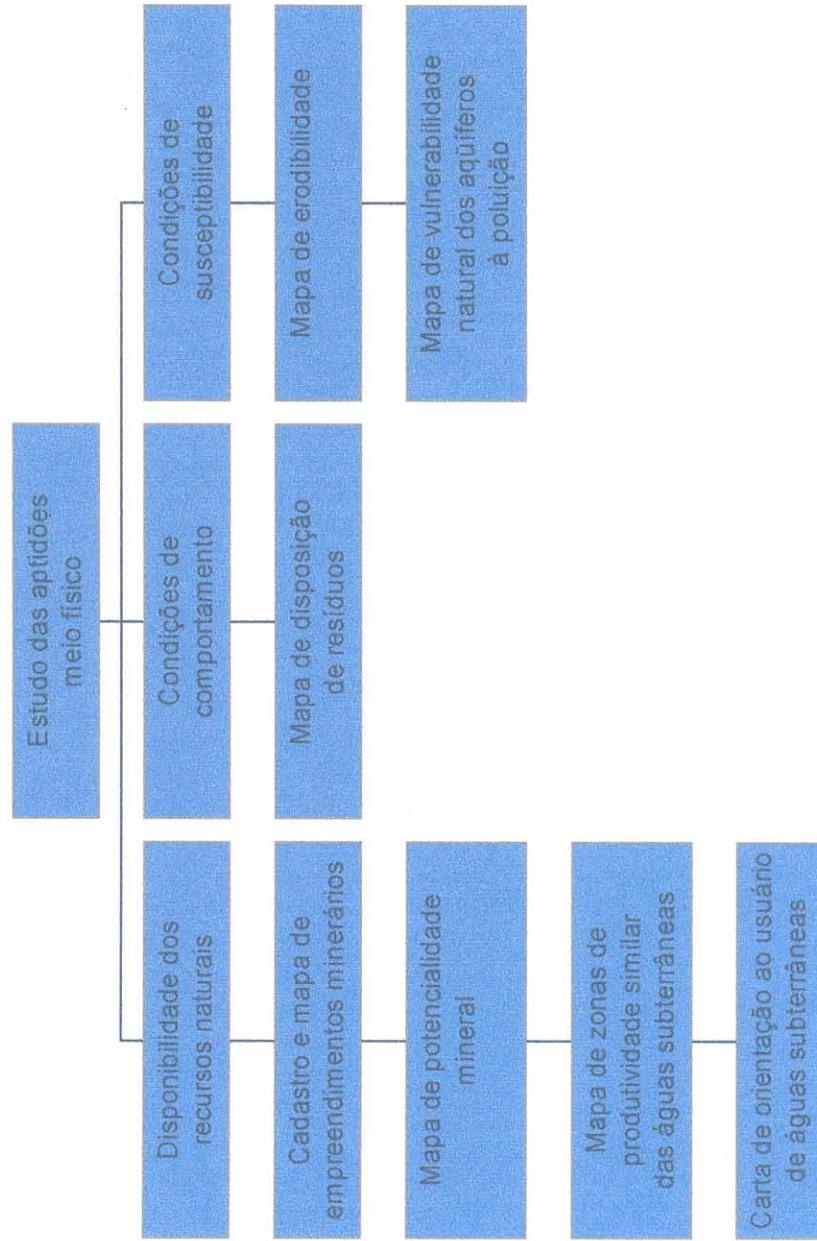


Figura 2.4 - Organograma do diagnóstico do meio físico, (Instituto Geológico 1995).

# METODOLOGIA DO INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO - PROGNÓSTICO E DIVULGAÇÃO

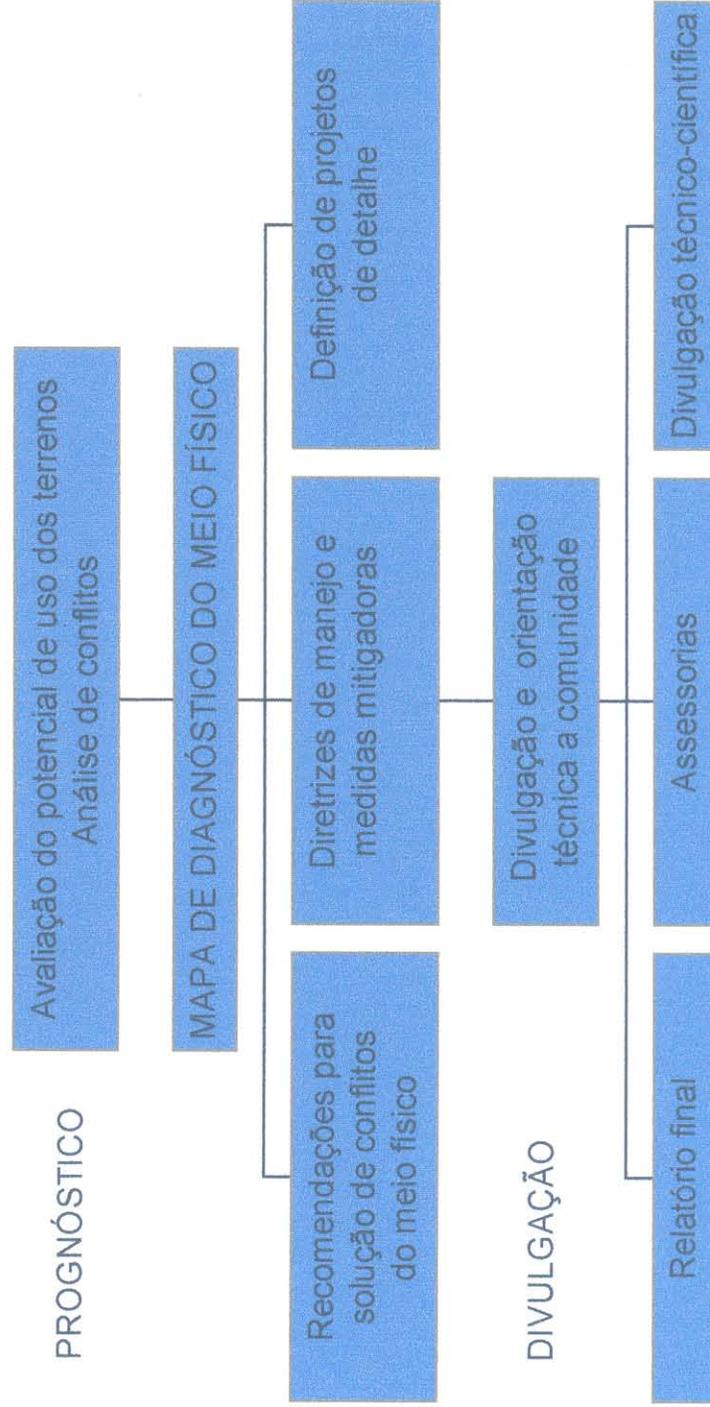


Figura 2.5 - Organograma do diagnóstico do meio físico e da divulgação do produto final, (Instituto Geológico 1995).

A descrição da geologia segue os seguintes passos:

- estruturas e tectônica;
- unidades litoestratigráficas;

Os dados geológicos são apresentados na forma de mapa geológico. A descrição geológica utilizada prioriza o uso de termos geológicos nada diferindo dos mapas geológicos tradicionais.

Acreditamos que a forma mais interessante de apresentar essas informações seja na forma de mapas do substrato rochoso com dados com sua profundidade de ocorrência, descontinuidades (xistosidade, acamamentos, falhas ou fraturas, etc.. com pouca ou nenhuma resistência a tração), agrupando os tipos litológicos não em função de sua origem mais de suas propriedades geotécnicas. Outra questão é a linguagem desses mapas que os torna compreensíveis basicamente apenas por geólogos.

### **2.7.3 - Geomorfologia**

A geomorfologia consiste em identificar e caracterizar os diferentes tipos de relevo (unidades de relevo), segundo a distribuição, formas, tipologia e intensidade dos processos geomórficos atuantes responsáveis por esse modelado. É analisado, também, a distribuição e correlação dos solos, do substrato rochoso e do uso e ocupação do terreno com suas respectivas unidades de relevo e sua interação com a morfodinâmica.

As informações geomorfológicas são apresentadas em mapas com as características das unidades de relevo com as seguintes informações:

- tipo de relevo (colinas, morro, morrotes, etc.);
- morfografia (contém as formas de relevo observadas, densidade e padrão da drenagem);
- morfometria (amplitude, comprimento da rampa, declividade e altitude expressas em metros);
- caracterização litológica (litologia(s) associada(s) a unidade de relevo);
- pedologia (exibe os solos associados as unidades de relevo);
- dinâmica superficial (mostra os processos da dinâmica externa atuantes de interesse: assoreamento, erosão, instabilidade de encostas, dolinas, etc..)

#### **2.7.4 - Climatologia**

As informações são apresentadas na forma de unidades climáticas apresentadas em mapas, as quais são estabelecidas com base em informações como controles climáticos, regime total mensal mês mais chuvoso etc..

#### **2.7.5 - Hidrogeologia**

Esta fase é iniciada com um cadastro qualitativo (em um conjunto de dados informatizado) de poços profundos, o qual contém informações sobre:

- características construtivas;
- natureza geológica do aquífero;
- produtividade e uso

A partir do tratamento e interpretação dos dados cadastrados são elaborados os mapas:

- da Geometria dos Aquíferos;
- Potenciométrico;
- de Zonas de Produtividade Similar;
- de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos.

#### **2.7.6 - Recursos minerais**

Nesta etapa é realizada uma análise do setor mineral da área avaliada, quanto às potencialidades e à situação legal e ambiental do setor. Observa-se se há conflito entre a questão ambiental e a disputa pelo uso do solo em função de outras formas de ocupação (como a urbana, por exemplo). A metodologia em função das áreas que vem trabalhando tem tratado apenas dos bens minerais não-metálicos, mais especificamente os bens minerais de uso imediato na construção civil, os quais apresentam baixo valor agregado e grandes volumes produzidos, geralmente, nas proximidades de áreas urbanas.

A metodologia apresenta proposta de solução dos problemas relativos ao aproveitamento dos recursos minerais existentes no município, o que varia de caso para caso.

### **2.7.7 - Geotecnia**

Os estudos geotécnicos têm por objetivo a elaboração de produtos que apresentem dados e informações que sejam representados de uma forma prática e objetiva, para subsidiar a etapa de integração geral dos dados para fins de planejamento territorial.

Inicia com o cadastramento das sondagens de simples reconhecimento em banco de dados geotécnicos desenvolvido pelo Instituto Geológico. São, em seguida elaborados os seguintes mapas: de materiais inconsolidados, erodibilidade, áreas degradadas por problemas geotécnicos e de mineração e por fim o mapa de disposição de resíduos sólidos domésticos.

### **2.7.8 - Uso e ocupação do solo**

Essa fase é iniciada com uma análise histórica da forma de intervenção no território, produzindo-se um diagnóstico dessa intervenção o qual é associado à legislação vigente durante a ocupação, o que indica os elementos para o enfrentamento adequado e eficiente dos problemas ambientais do território estudado. Esse trabalho é materializado em dois documentos cartográficos:

- Mapa de uso e ocupação solo: regiões urbanizadas, grandes equipamentos urbanos, áreas industriais, mata, capoeira, reflorestamento, campo e/ou pastagem, áreas agrícolas/granjas etc.;
- Mapa de zoneamento institucional: apresenta áreas: exclusivamente industrial, uso urbano misto, área de expansão urbana, rural, proteção, sem informação etc..

### **2.7.9 - Diagnóstico do meio físico**

Os mapas de diagnóstico do meio físico apresentam unidades definidas com base na análise da geologia, do relevo e das fragilidades do terreno, predominando na qualificação das unidades um ou outro parâmetro, ou a integração de dois ou mais parâmetros. Neste mapa são apresentadas as aptidões dos terrenos, segundo:

- potencial mineral (argila para refratários, argila para cerâmica vermelha, brita, e demais materiais naturais de construção civil);
- as zonas com melhor potencial para exploração de água subterrânea;
- as áreas mais adequadas para disposição de resíduos sólidos doméstico;
- as áreas de proteção ambiental;
- as áreas degradadas por problemas de mineração e/ou geotécnicos.

## 2.8 - METODOLOGIA DO IPT

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (Prandini *et al.* 1991) as cartas geotécnicas são expressões práticas do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas postos pelo uso e ocupação do solo, devendo:

- prever o desempenho da interação entre ocupação e o meio físico bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso do território;
- orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar deseconomias e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Segundo a metodologia do IPT, a cartografia geotécnica pode apresentar-se sob diversas denominações, conforme o objetivo e alcance do seu conteúdo e também, segundo a própria natureza dos terrenos em estudo e dos desafios inerentes às formas propostas de ocupação.

Classifica as cartas geotécnicas em:

- cartas geotécnicas: são as cartas geotécnicas propriamente ditas, que expõem as limitações e potencialidades dos terrenos e estabelecem as diretrizes de ocupação frente a uma ou mais formas de ocupação;
- cartas de risco (geológico) : são documentos onde prepondera avaliação de dano potencial à ocupação, frente a uma ou mais características ou fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo (a própria atividade posta em risco ou atividade assim conflitante);
- cartas de susceptibilidade: quando é destacado um ou mais fenômenos ou comportamentos indesejáveis pressupondo ainda, uma dada forma de uso do solo;

- cartas de atributos ou parâmetros (geológicos, geotécnicos): quando restringe a apresentação da distribuição geográfica de características de interesse (atributos, parâmetros geotécnicos), a uma ou mais formas de uso e ocupação.

A metodologia propõe que os impactos ambientais devem ser considerados dentro dos objetivos da cartografia geotécnica na análise do meio físico e como fator de ponderação na avaliação de custos/benefícios de um determinado empreendimento.

A proposta metodológica se baseia em 4 fases complementares, a saber: formulação de uma hipótese, análise fenomenológica e desempenho, mapeamento e compatimentação, e representação.

### **2.8.1 - Formulação de uma hipótese/modelo inicial orientativo**

A etapa inicial consiste em uma identificação objetiva, (primeira aproximação) dos recursos e problemas existentes ou esperados, valendo-se, para tal, do conhecimento da dinâmica de ocupação local (auxiliado pelo conhecimento do uso do solo no local e em áreas correlatas). Tal procedimento envolve o conhecimento das solicitações e transformações inerentes às formas de uso do solo e dos elementos fundamentais dos processos e comportamentos da geologia, geomorfologia e da geotecnia local.

Tal etapa deve proporcionar o esboço de um primeira configuração fisiográfica dos terrenos, já do ponto de vista de seu uso, e deve resultar em um primeiro ensaio de compartimentação frente aos problemas e recursos esperados.

### **2.8.2 - Análise fenomenológica e de desempenho**

Consiste em executar uma análise e identificação das causas e do desenvolvimento (mecanismo e evolução) dos fenômenos ou situações geradoras dos problemas pré-detectados, estabelecendo-se para cada determinado problema as características fisiográficas de interesse para a ocupação (intervalos clinométricos, tipos litológicos, tipos pedológicos, famílias de estruturas, feições hidrográficas).

Este passo pressupõe conhecimentos inerentes ao campo da geotecnia (geologia de engenharia, mecânica dos solos, mecânica das rochas), hidrogeotecnia, dinâmica externa etc., e eventual execução de ensaios e análises laboratoriais e em "*in situ*".

### 2.8.3. Mapeamento e compartimentação

Esta etapa é composta de três passos.

1 - Estabelecimento das principais evidências acessíveis à investigação, nesse ponto são considerados imprescindíveis conhecimentos no campo das geociências em termos de litologia, estruturas, intemperismo/pedogênese (geopedologia), geomorfologia e demais conhecimentos que permitam fixar critérios de correlação, extrapolação e interpolação, que resultem na configuração espacial da distribuição das características de interesse ao entendimento e a solução de um problema específico a ser resolvido, no geral, oriundo da interação inadequada entre homem/meio físico.

2 - Realizar uma busca orientada das informações e das expressões geográficas das características de interesse, através de operações de coleta e análise de informações disponíveis (cartográficas, bibliográficas e, não menos importantes, informações de profissionais e moradores), reconhecimento/mapeamento, com recursos de sensoriamento remoto, levantamentos de campo e, eventualmente, investigações "*in situ*" e laboratoriais. Os estudos orientados do meio físico devem percorrer normalmente, os campos da geologia, geomorfologia, geopedologia, geotecnia e climatologia, com ênfase ao intemperismo/pedogênese, modelo/sistemas de relevo, técnicas de investigação (métodos diretos e indiretos), pluviometria (séries históricas, registro, distribuição e previsão).

3 - Determinação de compartimentos (unidades territoriais) homogêneos segundo a maior probabilidade (expectativa) de ocorrência de problemas (eventualmente riscos), ou, mais restritamente, quanto às características de interesse (atributos e parâmetros), ou, ainda, mais interpretativa, unidades homogêneas quanto à aptidão a determinada forma de uso e ocupação. Neste último caso, com maior ênfase, a definição de unidades homogêneas incorpora indispensáveis orientações específicas de uso e recomendações de práticas minimizadoras de efeitos indesejáveis.

Tal passo pede, além dos conhecimentos de geologia de engenharia, a experiência no trato das técnicas, obras e medidas legais afetas aos processos de uso e ocupação do solo, envolvendo os campos de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, direito fundiário, urbano e ambiental.

#### **2.8.4 - Representação**

Última etapa do mapeamento propõe-se a apresentar os resultados de modo a dar acesso facilitado ao público interessado: técnicos de outras especialidades, administradores públicos e privados e, desejavelmente, qualquer cidadão interessado

#### **2.8.5 - Avaliação**

A presente descrição da metodologia do IPT foi baseada em trabalho de Prandini *et al.* (1991) onde os técnicos dessa instituição resumem até aquela data a experiência desse Instituto na elaboração de cartas geotécnicas, a maioria delas solicitada por órgãos governamentais interessados em resolver problemas ligados à ocupação desordenada do espaço urbano (Santos, São Paulo, Cuiabá, Campo Grande etc.).

A metodologia na realidade não apresenta uma única forma de executar o mapeamento geotécnico existindo na realidade um série de princípios que norteiam a resolução - em geral bastante eficiente - de problemas de ocupação, fruto da experiência e competência dos profissionais que realizam esse mapeamento. Ao contrário da metodologia da EESC-USP e do IG-SP, esta metodologia não busca desenvolver métodos que possam ser aplicados a diferentes localidades, uma vez que está orientada para resolver problemas a partir do momento em que estes forem acontecendo.

Dentre os trabalhos realizados pelo IPT podem ser consultados: IPT (1978), IPT (1980), Prandini *et al.* (1982), IPT (1984), Ávila *et al.* (1987 a b), Prandini *et al.* (1990), Prandini *et al.* (1991), Nakazawa *et al.* (1991) e Bitar *et al.* (1992); que também apresentam os conceitos e diretrizes utilizados na confecção das cartas e mapas produzidos por este Instituto, para várias localidades.

## 2.9 - METODOLOGIA DO IG-UFRJ

O IG-UFRJ tem, predominantemente, desenvolvido trabalhos na cidade do Rio de Janeiro e em outras áreas próximas em escalas desde 1:50.000 até maiores que 1:10.000; trabalhos esses associados a movimentos de massa e processo de ocupação. A base metodológica, utilizada por esse centro de pesquisa foi sistematizada por Barroso *et al.* (1986, 1987 e 1993).

Para esses autores os mapas geológicos-geotécnicos, Figura 2.6, são confeccionados a partir do mapa geológico tradicional detalhado, acrescidos de informações diversas como: topografia, geomorfologia, locais de exploração de materiais de construção etc..

Os autores associam cada unidade geológica ou tipo litológico a propriedades e ou características geotécnicas dos materiais (exemplo solos orgânicos: baixa capacidade de suporte a fundação, lençol freático próximo a superfície, alta compressibilidade, etc.). As unidades geológicas ou tipos litológicos podem também ser livremente associadas a fontes potenciais de exploração de materiais naturais de construção (matacões de granito: brita) ou a limitação a ocupação, associando forma de ocorrência dos tipos litológicos a topografia (na caso de corpos granítico/migmatíticos na forma de morros).

## 2.10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da avaliação das metodologias internacionais, depreende-se que as mesmas apresentam bases para padronização de princípios, sistemas e métodos, proporcionando o ordenamento das informações geológicas/geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo. Estabelecem também quais os tipos de problemas que podem ser abordados e quais produtos cartográficos precisam ser gerados para tal fim. Entretanto, não fornecem indicações detalhadas quanto à forma de executar o mapeamento.

As três principais metodologias brasileiras de cartografia geotécnica tem seus princípios assentados nas metodologias internacionais apresentando, entretanto, instruções detalhadas quanto às formas de obtenção dos vários produtos cartográficos, preenchendo assim, a lacuna deixada pelas metodologias internacionais.

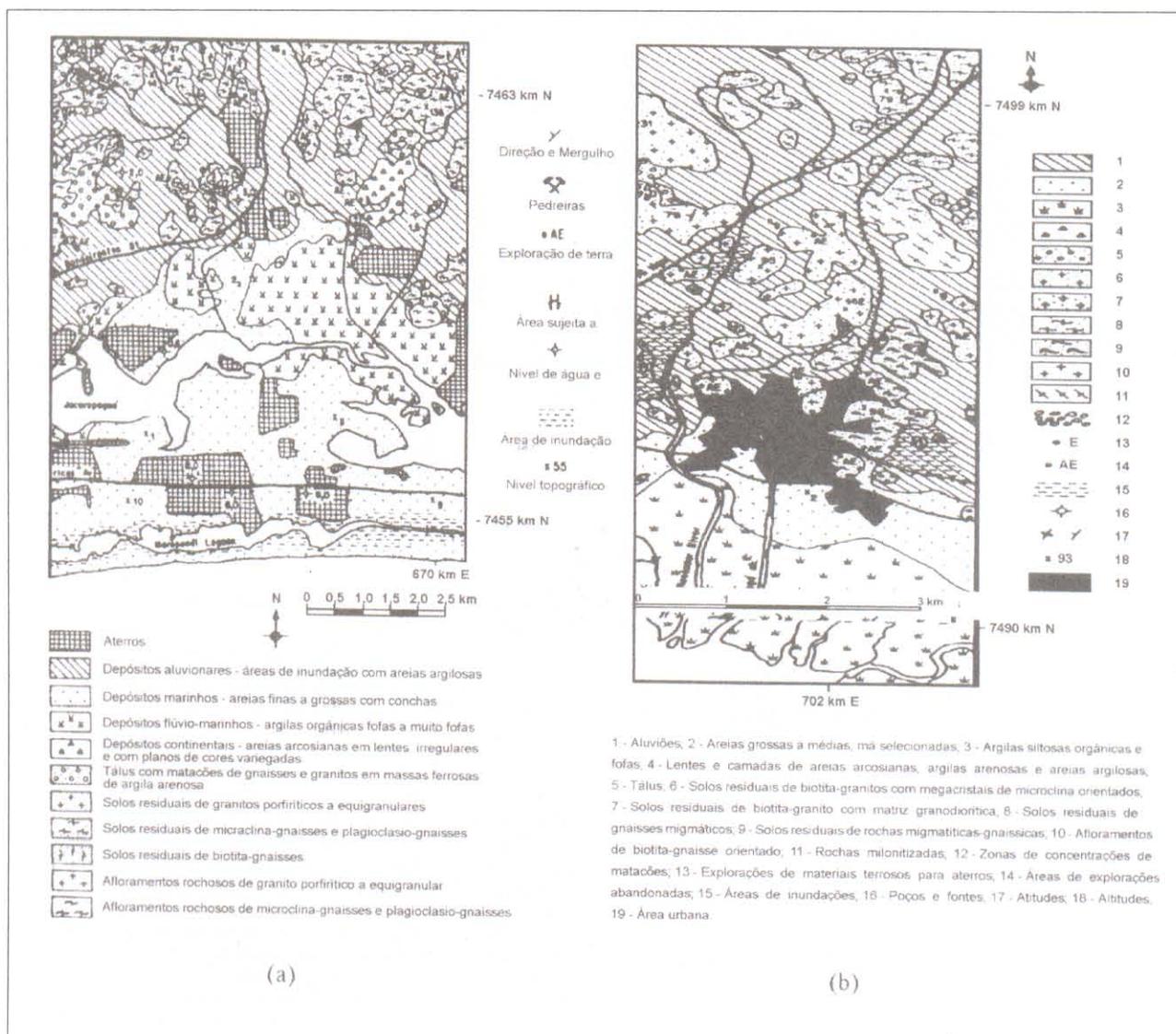


Figura 2.6. Exemplo de mapa geológico-geotécnico da Área de Jacarepaguá (a) e parte do município de Magé (b). Elaborado segundo a metodologia do Departamento de Geologia da UFRJ (Barroso *et al.* 1986 *apud* ABGE 1998).

As três metodologias nacionais podem ser agrupadas em dois grupos: o primeiro representado pela metodologia do IPT, a qual se iniciou a partir de situações específicas, tais como os problemas de instabilização de encostas observados nas cidades de Santos(SP) e Petrópolis (RJ). Nessas áreas, o intenso e desordenado processo de ocupação gerou conflitos na inter-relação homem/meio físico, conflitos estes que necessitaram de respostas efetivas e imediatas, face ao problema instalado, apresentando forte interação com o risco geológico.

O segundo grupo é representado pelas metodologias desenvolvidas pela EESC-USP e pelo IG-São Paulo, as quais centraram suas atenções na cartografia geotécnica como ferramenta de auxílio na tomada de decisão no planejamento urbano e regional, buscando assim prever a interação entre as atividades humanas e o meio físico.

Na discussão das metodologias, buscou-se definir os principais atributos do meio físico, suas formas de obtenção, métodos de agrupamento, avaliação e análise dos mesmos, bem como os vários produtos cartográficos gerados. No desenvolvimento das discussões, procurou-se focar as condições sócio-econômicas e do meio físico do Trópico Úmido Brasileiro. Para tanto, foram consideradas na Amazônia Legal as cidades com mais de 20.000 habitantes na área urbana, observando-se que apenas 9 municípios possuem população urbana entre 100 e 500mil habitantes e 3 municípios (capitais de estado: Belém, São Luís e Manaus) com população urbana superior a 500 mil habitantes. Isso demonstra que, embora a Amazônia apresente dimensões continentais, a população encontra-se muito concentrada, diminuindo - deste modo - o raio geográfico das políticas de gerenciamento urbano.

Na avaliação das várias metodologias, observou-se que todas partem de um inventário do meio físico produzindo um conjunto de mapas iniciais, seguido por uma fase de diagnóstico a qual consiste em produzir mapas das várias propriedades pertinentes aos componentes do meio físico e que servem para caracterizá-lo. Esse diagnóstico é seguido de uma fase de prognóstico, que consiste em confrontar as várias características do meio físico frente aos processos tecnológicos produzidos por uma determinada atividade o que torna possível delimitar áreas equipotências e equiprobemáticas a essa atividade. Isso pode ser feito de duas formas: através de mapas de adequabilidade à determinada atividade ou através de um mapa de zoneamento geral, vide organograma da Figura 2.7.

A leitura crítica das metodologias internacionais e nacionais deram a base necessária a formulação das diretrizes para a cartografia geotécnica do trópico úmido (Capítulo 3). As metodologias internacionais permitiram a padronização de princípios, sistemas e métodos. Assim se fez, para proporcionar o ordenamento das informações geológicas e geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo; já para a elaboração das instruções detalhadas quanto a forma de executar o mapeamento, usou-se as metodologias nacionais.



Figura 2.7 - Padrão geral de ordenamento das informações geológico-geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo, das metodologias internacionais de cartografia geotécnica.

### 3 - FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO TRÓPICO ÚMIDO

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

As diretrizes apresentadas buscam mostrar a distribuição dos fenômenos do meio físico ressaltando as características das rochas e solos, espera, a partir daí, demonstrar de que maneira afetam as obras de engenharia nos mais diferentes terrenos.

Como todo procedimento metodológico tenta padronizar princípios, sistemas e métodos, com o intento de facilitar a comunicação, e por conseguinte, a cooperação entre os profissionais que atuam na cartografia geotécnica, na solução de problemas reais e potenciais, tomando-se como guia a proposta metodológica da IAEG, acrescida das principais metodologias internacionais.

Ressalta-se, também que o uso dos mesmos princípios no mapeamento geotécnico torna possível comparar mapas de escalas diferentes e tipos diferentes.

#### 3.2. - ASPECTOS GERAIS

O mapeamento geotécnico é um ferramenta que atende às necessidades modernas dos Estudos de Impacto Ambiental, no que concerne ao meio físico e algumas de suas interações com o meio sócio-econômico, por mostrar as relações espaciais de solos, rochas, água subterrânea, características do relevo e processos geodinâmicos; além de refletir as condições geotécnicas e permitir determinar a influência do ambiente na obra, prevendo como a obra irá influenciar no ambiente e como este irá influenciar na obra.

Os mapas geotécnicos auxiliam no projeto racional da investigação local e na interpretação dos resultados, constituindo ferramenta indispensável a um projeto técnico, econômico e ambientalmente eficiente, como na escolha de traçado de obras lineares (gasodutos, oleodutos, estradas, ferrovias etc.), localização de cemitérios, aterros, loteamentos etc..

Os mapas geotécnicos, como todos os outros mapas, são modelos simplificados dos fatos, nunca podendo, portanto, representar inteiramente a complexidade dos vários fatores dinâmicos

do meio físico. Assim o grau de simplificação irá depender principalmente da finalidade e da escala do mapa; da importância relativa dos fatores geotécnicos específicos ou relacionados; da precisão das informações e das técnicas de representação usadas.

Quanto ao significado do termo mapa geotécnico aqui é compreendido como um processo visando o levantamento, avaliação e análise dos atributos do meio físico (água, solos, rochas e ar) e algumas de suas interações como o meio sócio econômico (vias de acesso, regiões urbanizadas, áreas de conservação, comunidades indígenas etc.), visando sua utilização em engenharia, planejamento urbano e regional, meio ambiente e outros. Devendo satisfazer as condições abaixo:

- Retratar de forma clara as informações necessárias à avaliação das propriedades geotécnicas envolvidas no planejamento regional, na seleção de áreas para uma dada finalidade e na seleção de métodos mais adequados a serem aplicados em obras civis e em mineração (IAEG, 1976).
- Ser a melhor ferramenta na previsão das prováveis situações do meio físico e algumas de suas interações com o meio sócio econômico, conduzindo também para o melhor entendimento da situação proposta, além de sugerir as medidas preventivas necessárias.
- Apresentar as informações de maneira tal que facilite o entendimento dos profissionais usuários e, principalmente, o público em geral.

A Tabela 3.1 exibe os principais atributos do meio físico que devem ser representados em mapas geotécnicos, com suas formas de obtenção e viabilidade de aplicação no trópico úmido brasileiro (baseada em Sanejouand 1972, IAEG 1976 e Zuquette & Gandolfi 1990a com modificações).

Os mapas geotécnicos devem incluir seções cruzadas interpretativas, textos explicativos e legendas.

O mapeamento geotécnico tem que ser realizado visando sempre a melhor avaliação do meio físico, identificando de forma clara as informações necessárias a uma correta avaliação do objeto em estudo, as informações utilizadas para elaboração dos trabalhos e as limitações decorrentes do processo de mapeamento como impossibilidade de avaliação "in loco" de locais de difícil acesso, impossibilidade de obtenção de um número de amostras necessárias para uma correta determinação estatística das propriedades geotécnicas etc.; devem sempre ser

devidamente documentadas o que contribuiria para que essas limitações sejam consideradas no processo decisório e para que sejam correta e eficientemente superadas em tempos mais favoráveis.

Tabela 3.1 – Atributos do meio físico representados nos mapas geotécnicos, formas de obtenção e viabilidade de aplicação no trópico úmido brasileiro. (continua)

Feições Geológicas nos Mapas Geotécnicos	Formas de Obtenção	Viabilidade de Aplicação
<b>Rochas e Solos</b>		
distribuições, arranjo estratigráfico e estrutural, idade, gênese e litologia	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto - trabalhos de campo	viável
tipo de material (inconsolidados ou rochosos): - distribuição em áreas características	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto - trabalhos de campo - Ensaios de laboratório	viável
natureza do perfil da unidade - relação espacial - característica	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto - trabalhos de campo - Ensaios de laboratório	viável
espessura do material	- revisão bibliográfica - trabalhos de campo	viável
estado físico	- ensaios de laboratório - sensoriamento remoto	viável a depender do detalhe
grau de alteração	- revisão bibliográfica - trabalhos de campo - ensaio de alterabilidade	viável
grau de fraturamento	- sensoriamento remoto - trabalho de campo	viável
propriedades mecânicas e físicas	- ensaios "in situ" e de laboratório	viável a depender do detalhe
Expansividade	- revisão bibliográfica - mineralogia - ensaios alternativos (adsorção de azul de metileno)	viável
compressibilidade	- revisão bibliográfica - observações de campo	com restrições
resistência	- revisão bibliográfica - trabalhos campo	com restrições
<b>Condições hidrogeológicas</b>		
- distribuição da água subterrânea	- sensoriamento remoto - mapa dos aquíferos - geofísica - trabalhos de campo - poços - sondagens diversas	viável a depender da disponibilidade de dados
- condições de infiltração	- ensaio de permeabilidade de campo e laboratório - trabalhos de campo	viável a depender do detalhe
- composição das águas	- análises químicas - trabalhos de campo	viável a depender do detalhe

(continua)

Feições Geológicas nos Mapas Geotécnicos	Formas de Obtenção	Viabilidade de Aplicação
<b>Condições hidrogeológicas</b>		
- Profundidade do nível de água e suas variações de flutuação	- sistematização de poços e sondagens em geral - sensoriamento remoto - trabalhos de campo - geofísica	viável a depender da disponibilidade de dados principalmente nas cidades de médio e grande porte
- Regiões de água confinada e níveis piezométricos	- sistematização de poços e sondagens em geral - sensoriamento remoto - trabalhos de campo - geofísica	viável a depender da disponibilidade de dados principalmente nas cidades de médio e grande porte
- direção e velocidade do fluxo subterrâneo	- geofísica - análise de poços e sondagens - trabalhos de campo - sensoriamento remoto	viável a depender da disponibilidade de dados principalmente nas cidades de médio e grande porte
- fontes e percolações em horizontes com cargas de água individuais - rios, lagos com seus limites	- sensoriamento remoto - trabalhos de campo	viável
- Propriedades hidroquímicas - pH - Salinidade - Corrosividade	- análises químicas - trabalhos de campo	viável a depender do detalhe
- Presença de bactérias	- análises químicas - trabalhos de campo	viável a depender do detalhe
- Outros poluentes - Graxas - Combustível - etc.	- análises químicas - trabalhos de campo	viável a depender do detalhe
distribuição da capacidade de água nas rochas	- mapeamento do substrato rochoso - geofísica - sondagens - avaliação de poços	Viável apenas nas cidades de médio e grande porte
áreas de recarga	- sensoriamento remoto - sondagens e poços - geofísica	Viável
topo do aquíferos	- revisão bibliográfica - sondagens - geofísica	viável
proteção dos aquíferos contra a poluição	- revisão bibliográfica - sondagens - geofísica	viável
coeficiente de armazenamento	- ensaio de bombeamento - ensaios de laboratório	Viável apenas nas cidades de médio e grande porte
bacias hidrográficas	- mapas topográficos - sensoriamento	viável
fontes, rios, lagos com seus limites	- sensoriamento remoto - trabalhos de campo	viável
intervalos de ocorrência de enchentes	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto - trabalhos de campo - dados históricos -	Viável com certa limitação

(continua)

<b>Feições Geológicas nos Mapas Geotécnicos</b>	<b>Formas de Obtenção</b>	<b>Viabilidade de Aplicação</b>
<b>Condições geomorfológicas</b>		
superfície topográfica	- compilação de mapas topográficos	Viável a depender da escala dos levantamentos realizados
declividade e sentido	- mapa topográfico	viável
forma e comprimento das encostas	- mapas topográficos - sistema de informações geográficas - fotointerpretação	viável
elementos importantes da paisagem	- sensoriamento remoto	viável
<b>Ar</b>		
dados climáticos (evapotranspiração, pluviometria, temperatura, etc.	- revisão bibliográfica	viável
<b>Fenômenos geodinâmicos</b>		
erosão e deposição	- mapeamento dos materiais inconsolidados, uso e ocupação do solo, vegetação, águas superficiais, geomorfológico e topografia	viável
fenômeno eólico	- sensoriamento remoto	viável
movimentos de massa	- sensoriamento remoto	viável
formação de condições cársticas	- sensoriamento remoto - trabalhos de campo - geofísica	viável
subsidências	- sensoriamento remoto - trabalhos de campo - geofísica	viável
variação de volume do solo	- trabalhos de campo - ensaios de laboratório	viável
dados de fenômenos sísmicos inclusive falhas ativas	- relatórios sismológicos	viável
<b>Outros</b>		
Vegetação	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto	viável
acessos, proximidade de habitações, reservas militares, áreas de conservação, etc.	- revisão bibliográfica - sensoriamento remoto	viável

### 3.3 - PRINCÍPIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E ROCHAS PARA MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Para a metodologia, uma questão na classificação de solos e rochas para fins de mapeamento é definir quais as feições geológicas que estão estreitamente relacionadas com as propriedades físicas de interesse para a geotecnia como resistência, deformabilidade, durabilidade e permeabilidade. Até o momento nenhum método ou técnica foi desenvolvido que fosse capaz de determinar estas propriedades em grandes áreas com dados quantitativos suficientes de modo

rápido e barato. Assim sendo, utilizou-se as propriedades geológicas, sugerindo-se as feições geológicas exibidas na Tabela 3.2 (elaborada com base em IAEG 1976, com modificações), as quais são correlacionáveis às propriedades de interesse para a geotecnia. Na Tabela 3.2 é feita também uma avaliação quanto ao seu uso no trópico úmido e possíveis formas de obtenção dessas feições.

Tabela 3.2 – Feições geológicas correlacionáveis com propriedades geotécnicas, uso no trópico úmido brasileiro e viabilidade de obtenção (baseada em IAEG 1976).

<b>Feições Geológicas</b>	<b>Propriedades Geotécnicas Correlacionáveis</b>	<b>Uso no Trópico Úmido</b>	<b>Viabilidade de Obtenção</b>
composição mineralógica	- densidade específica - limites de Atterberg - índice de plasticidade	- caracterização visual tátil - petrografia	viável
distribuição granulométrica	- peso específico - porosidade	- ensaio granulometria conjunta - amostragem com anel de parede fina	viável
estado físico dos solos e rochas			
umidade, grau de saturação ( <i>saturation moisture content</i> ), consistência, grau de intemperismo e alteração e juntas	- resistência - deformação - permeabilidade - durabilidade	- ensaio de umidade solo e rocha - amostragem com anel de parede fina - classificação de campo grau de intemperismo - ensaios de alterabilidade - sensoriamento remoto - trabalho de campo - sondagens de simples reconhecimento	viável

A natureza (mineralogia, textura, estrutura) pode ser estudada por meio de diversos ensaios: análises mineralógicas e químicas.

O estado (compacidade, conteúdo de água, fraturamento) pode ser caracterizado por diferentes grandezas: conteúdo de umidade natural, peso específico do solo, índice de vazios, consistência, grau de saturação e índice de fissuramento.

A natureza e o estado das rochas são determinados pela gênese e história posterior.

### 3.4 - UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS E ROCHAS

Para definição da hierarquia das unidades de mapeamento, utilizou-se de modo indicativo a mesma divisão proposta pela IAEG, as quais acham-se hierarquizadas abaixo:

- Tipo Geotécnico (correlacionada a camada ou corpo) – tem que ter uniformidade litológica e de estado físico, pode ser caracterizado por valores determinados estatisticamente derivados de determinações individuais de propriedades mecânicas e físicas e mostrados em mapas de grande escala.
- Tipo Litológico (correlacionado a membro) – tem que ser homogêneo no que trata da composição, textura e estrutura, mas pode ser não uniforme quanto ao estado físico. Os valores das propriedades mecânicas devem ser dados em termos de faixas de variação das propriedades. São representados em mapas de grandes escalas e - quando possível - em médias escalas.
- Complexo Litológico (correlacionado à formação) – compreende um grupo de tipos litológicos relacionados geneticamente, desenvolvidos sobre mesmas condições geológicas e paleogeográficas; tem o arranjo espacial dos tipos litológicos uniformes, podendo não ser uniforme quanto ao estado físico e características litológicas. Não é possível definir as propriedades físicas para o complexo litológico como um todo, o que deve ser feito apenas em termos gerais; informações das propriedades físicas mais precisas podem ser fornecidas para tipos litológicos individuais. É mapeado em médias e pequenas escalas.
- Suite Litológica (correlacionada a grupo) – compreende muitos complexos litológicos, formados sob condições tectônicas e paleogeográficas similares; apresenta características litológicas comuns que definem uma unidade de mapeamento e permitem distingui-la de outra suite. Somente algumas propriedades geotécnicas gerais podem ser definidas. São sempre mapeadas em escalas pequenas.

Essa classificação sofreu críticas por privilegiar as rochas em detrimento aos solos, uma vez que esses materiais apresentam pequenas espessuras nas regiões temperadas quando comparadas às regiões tropicais. Entretanto, os solos são, por definição, o resultado da decomposição das rochas a partir do intemperismo físico, químico e biológico podendo-se, em um primeiro momento, separar as rochas e os solos a elas associados mais os sedimentos

transportados e, num segundo momento, pode-se introduzir conceitos como o de *landforms*, os quais certamente serão responsáveis por limites entre as unidades de materiais inconsolidados bem diferentes daqueles obtidos a partir das unidades do substrato rochoso e sedimentos transportados.

Não se deve esquecer, entretanto, o efeito uniformizador que tem o processo de lateritização em ambiente tropical úmido, o que pode gerar solos iguais para litologias diferentes.

### 3.5 - CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

As condições hidrogeológicas são um importante fator no comportamento geotécnico das rochas e na utilização dos terrenos. As águas subterrâneas exercem papel primordial no desenvolvimento de certos fenômenos geológicos como: instabilidade de encostas, fenômenos de dissolução, de abatimento e expansão de certas rochas.

Estas afetam o uso da terra, planejamento, seleção de locais e custo, durabilidade e segurança das estruturas. Afetam também o intemperismo, movimento de encostas, difusão química e mecânica, desenvolvimento de condições cársticas, variação de volume por expansão ou compactação e colapso de solos.

A água subterrânea influi nos métodos de construção principalmente nos dependentes de escavações onde a existência de fluxo de água, forças de percolação e pressão, estão associadas a instabilizações e erosão. As propriedades químicas da água são também fundamentais para a estimativa da agressividade dos processos corrosivos.

As informações hidrogeológicas, que devem ser representadas nos mapas geotécnicos, são as apresentadas na Tabela 3.1, acompanhadas de análise quanto a prováveis formas de obtenção e uso no trópico úmido. Deste modo, podem ser elaborados mapas hidrogeológicos com várias informações úteis à engenharia, ao planejamento e ao meio ambiente como: - área de recarga/descarga, principais aquíferos, isopotenciais (nível piezométrico), direções principais de fluxo, nível d'água estático, nível d'água dinâmico, vazão de bombeamento etc..

Em mapas de pequenas escalas, as informações hidrogeológicas devem ser representadas por números e símbolos.

Em mapas de média escala o nível da água pode ser representado por contornos e suas variações e flutuações por números.

A profundidade da água confinada e o nível piezométrico podem ser mostrados em contornos.

Em regiões montanhosas, o nível da água pode ser representado apenas por números, assim como outros fatores.

Em mapas de grande escala, as condições hidrogeológicas são representadas por linhas de mesmo valor com as flutuações conhecidas mostradas numericamente.

### 3.6 - CONDIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS

O estudo da geomorfologia para fins de cartografia geotécnica, pode ser abordado em dois aspectos: morfométrico e morfogenético.

Quanto ao aspecto morfométrico (declividade) refere-se à influência da inclinação dos terrenos nas suas possibilidades de utilização e sobre os fenômenos de instabilidade.

Quanto ao aspecto morfogenético está relacionado à análise das formas do terreno, o que possibilita determinar sua gênese, às vezes à gênese das formações (rochas) nas quais encaixam-se.

O conhecimento da gênese das formações superficiais (condições paleogeográficas) permite prever sua extensão, estrutura e propriedades geotécnicas. O conhecimento da gênese das formas permite colocar em evidência a existência de antigos fenômenos dificilmente decifráveis por outros métodos e que exercem influência sobre as propriedades geotécnicas atuais das rochas.

Assim, deve-se cartografar, quando necessário, os processos ativos da paisagem no terreno atual, além da configuração das encostas e a formação dos vales e terraços. Sempre que for possível deve-se também prever se há ameaça às feições geomorfológicas tais como erosão lateral dos bancos dos rios, movimento das dunas, colapso de zonas cársticas ou enfraquecidas.

### 3.7 - AVALIAÇÃO DOS FENÔMENOS GEODINÂMICOS

Os fenômenos geodinâmicos são aqui compreendidos em termos de processos do meio (ABGE & IPT 1995) ou seja como uma "sucessão de fenômenos que ocorrem, num determinado

tempo e espaço, no próprio meio físico e cujas alterações impostas pelo homem poder gerar impactos e afetar a qualidade ambiental". Os processos do meio físico que devem ser representadas são:

- processos atmosféricos:
  - circulação da água no ar;
  - circulação de partículas e gases na atmosfera
- processo da hidrosfera:
  - escoamento das águas na superfície;
  - inundação;
  - movimentação das águas de subsuperfície;
- processos da litosfera:
  - endógenos:
    - potencialização e desencadeamento de sismos
  - exógenos
    - intempéricos
      - cárstificação;
      - circulação de gases no ar e solo;
      - expansão de solo e rocha;
      - interações físico-químicas na água, no solo e na rocha;
    - movimento de massa
      - corrida de massa;
      - deposição de sedimentos ou partículas;
      - erosão eólica;
      - erosão pela água;
      - escorregamento;
      - movimento de bloco;
      - rastejo de solo;
      - subsidência.

Deve-se, ainda, mostrar as feições e as condições favoráveis ao desenvolvimento dos processos geodinâmicos com sua intensidade e seqüência de ocorrência.

Quanto à forma de representação das feições geodinâmicas:

- pequenas escalas: dados pontuais na forma de símbolos;
- médias escalas: áreas de ocorrência com limites, se possível;
- grandes escalas: limites atuais das feições geodinâmicas individuais e possíveis estruturas internas.

### 3.8 - TÉCNICAS PARA LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O mapeamento geotécnico deve fornecer além das informações litoestratigráficas e estruturais: descrição e qualificação das propriedades geotécnicas e físicas das rochas e solos; espessura e extensão das formações geológicas, das condições hidrogeológicas e dos fenômenos geodinâmicos.

O principal problema do levantamento e interpretação das informações geotécnicas não depende da técnica de mapeamento geológico e geotécnico, residindo sim na variação das características das rochas e dos solos, as quais são freqüentemente gradacionais, podendo variar tanto na vertical quanto na horizontal.

#### 3.8.1 - Procedimentos gerais de mapeamento geotécnico

No mapeamento geológico os dados são levantados na literatura, em fotografias aéreas e levantamentos de campo, com amostragem para ensaios de laboratório além de ensaios "in situ", testes geofísicos e sondagens; o conjunto dessas informações é adicionado a mapas topográficos, traçando-se os limites estruturais e estratigráficos entre as unidades definidas na mesma escala ou em menores. Diferencia-se do mapeamento geotécnico por não realizar descrições das rochas e solos para fins de engenharia, mapear as condições hidrogeológicas e os processos geodinâmicos, o que envolve direcionar todos estes procedimentos, com ensaios "in situ" e de laboratório, testes geofísicos e sondagens de baixo custo, às atividades humanas, ou seja, saindo das características intrínsecas ao meio ambiente e confrontando esses elementos (atributos) do meio físico aos procedimentos tecnológicos necessários à implementação das várias atividades humanas ou simplesmente levantando e sistematizando as propriedades de interesse a determinada atividade.

O estudo dos solos, rochas e águas quanto à sua natureza, estado, propriedades mecânicas e sua extensão é o fundamento do estudo geotécnico. São estes os critérios básicos que permitirão prever a aptidão à tal utilização (solo de fundação, materiais de empréstimo, etc.) dos terrenos de um determinada zona. Esses pontos condicionam e sistematizam os fatores do meio físico.

Inicialmente distingue-se as formações superficiais das formações do substrato rochoso. A profundidade do estudo do substrato rochoso vai depender do nível de utilização que se prevê deste.

Esse esquema é satisfatório para escalas de estudos suficientemente grandes e para formações geológicas não muito complexas. A complexidade das formações geológicas, a escala da carta e os meios que se dispõe vai ditar o nível de tarefas possíveis de realizar.

A representatividade dos dados dos ensaios de identificação ou mecânicos depende da precisão da análise de fácies e do número de ensaios realizados.

Os limites das unidades geotécnicas podem perfeitamente não coincidir com os do mapeamento geológico vinculados a escala estratigráfica universal.

A escala de trabalho, no geral, define o nível de homogeneidade da unidade a ser mapeada; entretanto existem ocorrências de solos e rochas que podem ser representadas com a mesma precisão de grandes escalas em escalas médias – como, por exemplo, terrenos graníticos isotrópicos ou terrenos submetidos a intensa laterização ou grandes extensões de derrames basáticos.

O problema de precisão do levantamento geotécnico em diferentes escalas está ligado à:

- precisão da determinação das características dos jazimento das unidades de rochas e materiais inconsolidados (extensão, espessura e limites das unidades);
- precisão das características de natureza, estado e propriedades das unidades de rochas e materiais inconsolidados.

Para ambas as questões, a precisão se apresenta em dois níveis: da observação (ou da medida) e da interpolação (ou da extrapolação).

Quanto à precisão das características do jazimento devem ser determinados os limites das camadas e suas espessuras, assim estabelecidas:

- a espessura das camadas é definida por meio de observações pontuais em afloramentos, furos de sondagens e métodos geofísicos que têm a vantagem de avaliar grandes porções do terreno (observação contínua);

- os limites superficiais das camadas (em planta) são definidos por meio de observações contínuas como sensoriamento remoto e trabalhos de campo;
- limites da extensão lateral em profundidade: são utilizados os mesmos métodos para determinação da espessura

Na síntese dos diferentes tipos de dados o conhecimento intuitivo da equipe encarregada do estudo associado aos métodos de interpolação mais rigorosos como a estatística clássica ou a geoestatística (SIG's) devem ser utilizados.

Além dos fenômenos aleatórios dos valores medidos (propriedades geotécnicas), que se observam até na escala de uma determinada obra, podem aparecer os fenômenos de variabilidade, ou seja variações não aleatórias no espaço das propriedades geotécnicas dos solos e rochas.

A variabilidade e a dispersão dependem das condições dos solos e rochas; pode-se, portanto prevê-las qualitativamente, a partir de uma sistematização que leve em consideração as unidades de mapeamento tanto de solos quanto de rochas.

As medidas devem permitir diferenciar uma fácies de outra, o que implica numa precisão suficiente. No tratamento dos dados produzidos pela mecânica dos solos, deve-se utilizar os métodos estatísticos clássicos. Entretanto, os mesmos podem levar a imprecisões significativas fora da realidade, assim é sugerido o emprego de métodos como a análise de tendências e a geoestatística.

#### 3.8.1.1 - Descrição geotécnica das rochas e solos

Textos simples devem ser utilizados, suplementados por termos descritivos selecionados, sempre que possível evitando termos técnicos que dificultam a comunicação entre o geólogo de engenharia e os atores envolvidos no planejamento. Deve-se descrever cor, granulometria, textura, descontinuidades, alterabilidade, grau de intemperismo, propriedades de resistência, coeficiente de permeabilidade e outros termos indicativos das características de engenharia que forem necessários, além do grau de isotropia e homogeneidade das massas de solos e rochas.

#### 3.8.1.2 - Mapeamento de rochas e solos para fins de engenharia

As unidades geotécnicas devem ser definidas com base em propriedades de engenharia, as quais podem não estar relacionadas aos limites estratigráficos e estruturais, embora isso seja

esperado; um exemplo é quando um mesmo grau de intemperismo atua de forma diferente em vários tipos de rochas, produzindo solos com as mesmas propriedades.

As unidades de mapeamento devem ter certo grau de homogeneidade e ser definidas com base nas suas propriedades físicas. O limite de cada unidade e o método para traçá-lo depende, principalmente, da finalidade para qual o mapeamento está sendo realizado, o que definirá a escala de trabalho. A Tabela 3.3 exhibe as unidades de mapeamento com os métodos mais adequados de mapeamento ( traçado do limite) e de caracterização (IAEG 1976).

Tabela 3.3 - Unidades taxônomicas com os métodos mais adequados de mapeamento (traçado do limite) e métodos de caracterização (baseada em IAEG 1976).

<b>Unidade Taxonômica</b>	<b>Métodos de Mapeamento</b>	<b>Métodos de Caracterização</b>	<b>Escala</b>
Suite litológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpretação dos mapas geológicos existente</li> <li>- Mapeamento de reconhecimento</li> <li>- Fotogeologia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação do provável comportamento das rochas para conhecimento das propriedades e dos tipos litológicos</li> </ul>	Pequena (1:100.00 ou menor)
Complexo Litológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapeamento da área com análise das fácies para o grupo geneticamente relacionado aos tipos litológicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação geofísica no campo.</li> <li>- Amostragem e sondagens sistemáticas</li> <li>- Ensaio de laboratório e no campo das propriedades índices e físicas.</li> <li>- Investigação petrográfica</li> <li>- Avaliação do comportamento das rochas para o conhecimento das propriedades e dos tipos litológicos</li> </ul>	Pequena a Média (Entre 1:100.000 e 1:10.000)
Tipo Litológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapeamento detalhado da área.</li> <li>- Investigação petrográfica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação petrográfica detalhada</li> <li>- Ensaio geofísico de campo</li> <li>- Determinação sistemática das propriedades índices em laboratório</li> <li>- Ensaio de laboratório e "in situ" das propriedades mecânicas e outras propriedades das rochas</li> </ul>	Média a Grande (Geralmente 1:10.000 ou maior e quando possível entre 1:10.000 e 1:100.00)
Tipo Geotécnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação detalhada do estado físico das massas de solo e rochas dentro do tipo litológico mapeado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testes "in situ" das propriedades mecânicas e outras propriedades das rochas</li> <li>- Ensaio sistemáticos de laboratório das propriedades mecânicas e físicas.</li> </ul>	Grande (1:10.000 ou maior)

### 3.8.1.3 - Mapeamento das condições hidrogeológicas

Deve-se registrar e mapear as informações de superfície como fontes, percolações permanentes e intermitentes, rios, lagos, fluxo das corrente superficiais e química da água. Nas águas subterrâneas deve-se registrar e mapear: permeabilidade (k), coeficiente de armazenamento e química das águas; ressaltando-se a determinação do pH, CO<sub>2</sub> e sulfetos, fatores relacionados à corrosão em obras de engenharia, além da direção e sentido do fluxo subterrâneo e nível piezométrico.

### 3.8.1.4 - Mapeamento dos resultados dos processos geodinâmicos

Deve-se registrar, nas feições geodinâmicas, as condições que favorecerem os fatores do seu desenvolvimento, sua extensão, frequência de ocorrência, risco geológico, grau de atividade e seqüência com que cada processo vai ocorrendo; realizar também, quando possível, avaliação quantitativa ou semi-quantitativa e previsão de futuros processos geodinâmicos.

Os procedimentos de mapeamento das feições geodinâmicas, depende da escala, o que pode ser visualizado na Tabela 3.4.

## 3.9 - TÉCNICAS E CONCEITOS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS

As principais metodologias e sistemáticas conhecidas (IAEG, PUCE, Francesa, EESC-USP, etc.) têm como etapa fundamental do mapeamento a compilação de dados já produzidos. Tal procedimento adquire essa importância em função da grande quantidade de informações necessárias à elaboração dos mapas e cartas geotécnicas.

A busca de conceitos e técnicas que otimizem e reduzam as etapas de campo, bem como preservem as informações já existentes, tem sido um objetivo constante dos profissionais que tratam do mapeamento geotécnico. Nesse panorama entram em cena os conceitos de “landforms”, os sistemas de informação geográfica, os métodos geofísicos, os métodos de amostragens de solos e rochas e os sensores remotos.

Tabela 3.4 - Escala de mapeamento das feições geodinâmicas e procedimentos de mapeamento (baseada em IAEG 1976).

Escala	Feições Geodinâmicas	Procedimentos de Mapeamento
Pequena	Individuais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fotografias aéreas ou outro sensor remoto</li> <li>- Trabalho de campo</li> <li>- Registros passados em relatórios de mapas</li> <li>- Avaliação de vários levantamentos de fotografias aéreas</li> <li>- Registros históricos em relatórios e arquivos</li> </ul>
Grande	Toda a geomorfologia do fenômeno geodinâmico, com velocidade do processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografia detalhada</li> <li>- Fotografias aéreas</li> <li>- Sondagens</li> <li>- Métodos geofísicos</li> <li>- Medidas de campo para avaliar a velocidade e direção do processo</li> <li>- Avaliação de vários levantamentos de fotos aéreas, relatórios de mapas</li> <li>- Registros históricos</li> </ul>

O presente item propõe-se a dar uma breve visão sobre tais assuntos de importância capital para a cartografia geotécnica, principalmente em países de terceiro mundo com escassos recursos financeiros, além de limitada quantidade e qualidade de informações disponíveis, dentre outros problemas.

### 3.9.1 - Sensoriamento remoto

São vários os sensores remotos conhecidos, com destaque para as fotografias aéreas, as imagens de satélite e as imagens de radar.

Na escolha do sensor remoto deve-se levar em consideração, dentre outros fatores: sua resolução, facilidade de aquisição e utilização, e escala de trabalho, todos esses fatores relacionados às peculiaridades do problema a ser enfrentado. Lembrando que todo sensor remoto dependerá para sua plena utilização da experiência, habilidade e julgamento do intérprete, assim como da técnica ou método utilizado.

As fotografias aéreas são o sensor de maior resolução espacial que, aliada à relativa facilidade de aquisição, rapidez e baixo custo, tem-se mostrado como o melhor produto de análise

remota tanto para geologia básica quanto para a geologia de engenharia, permitindo também, que o trabalho seja feito em diversas escalas.

O uso de fotografias aéreas tem sido parte de todas as grandes metodologias desenvolvidas quer gerais ou específicas. Zuquette (1987) lembra que todo o território brasileiro está recoberto por fotografias aéreas na escala 1:60 000, indicando algumas possíveis utilizações deste sensor remoto em função da escala e objetivo para fins de engenharia, Tabela 3.5.

Rivereau (1970) chama atenção para a utilização de fotografias aéreas em vários campos de estudo como pedologia, vegetação, climatologia, sociologia, urbanismo, traçado de rodovias e ferrovias (sugerindo para esses fins escalas entre 1:50 000 a 1:2000).

As imagens de satélite devem ser utilizadas no mapeamento geotécnico para escalas de mapeamento iguais ou menores que 1:50.000 o que é ditado pela baixa visão espacial e baixa resolução, isso, evidentemente quando comparadas às fotografias aéreas. Os vários produtos disponíveis atualmente no mercado estão expostos na Tabela 3.6 (compilada a partir de informações fornecidas pelo Setor de Atendimento ao Usuário do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE).

Como se pode observar na Tabela 3.6 a resolução das imagens de satélite variam de 10x10m até 238x238m, entretanto os produtos com resolução de 10x10m e 20x20m do satélite Francês SPOT são de difícil aquisição no Brasil, Mattos (1994), o que torna os produtos de satélite recomendáveis apenas para escalas menores ou iguais a 1:50.000, resolução máxima permitida pelo satélite Landsat-5. A Tabela 3.7, apresenta as principais características e aplicações das bandas "TM" do satélite Landsat-5.

Veneziani & Dos Anjos (1982) apresentam algumas aplicações de imagens do Satélite Landsat em geotecnia conforme exposto abaixo:

- localização de depósitos de areia, cascalho, argilas, e outros materiais para construção;
- planejamento para desenvolvimento urbano, uso da terra e transporte;
- contribuição para previsão de medição de desastres naturais (por exemplo: fraturas em terrenos instáveis);
- monitoramento de água superficial, neve, gelo e alguns aspectos da umidade do solo;
- monitoramento de grandes depósitos de rejeitos e pedreiras, etc.;

Tabela 3.5 - Possíveis utilizações das fotografias aéreas para fins de engenharia (segundo Zuquette 1987).

CAMPO DE ESTUDO	ALGUNS TIPOS DE INVESTIGAÇÃO
SOLOS	Determinação dos limites entre os principais tipos e características como permeabilidade, textura, etc..
ESTABILIDADE	Determinação de falhas, indício de movimento de materiais, argilas expansivas, quedas de blocos e outros.
DRENAGEM	Observação do nível de drenagem, drenabilidade, inundações, correntes fortes, sistema de proteção, etc..
MATERIAIS	Locação de possíveis jazidas de areias, seixos, argilas, pedreiras, material para rip-rap e outros.
EROSÃO	Áreas com potencial a serem erodidas, desfloramento, e áreas de sedimentação.
ÁGUA SUBTERRÂNEA	Afloramento de aquíferos, depósitos superficiais como areias e seixos, zonas de fraturas, fontes, áreas vulneráveis e áreas de recarga.
RESERVATÓRIOS E LOCAIS DE BARRAGENS	Geologia das áreas, problemas de erosão, modelo estrutural, outras ocupações, possível substrato, áreas adequadas a irrigação
ESTRADAS	Analisar possíveis obstáculos, terras caras a desapropriar, lugares de obras de arte "pipelines", melhores eixos, áreas urbanas.

Tabela 3.6 - Os vários tipos de imagens de satélite disponíveis no mercado.

SATÉLITE	LANÇAMENTO	DESATIVADO	SENSORES ACOPLADOS	PERIODICIDADE	RESOLUÇÃO		
					MSS	RBV	TM
LANDSAT-1	23/07/72	06/01/78	MSS/RBV (3 câmaras)	16 DIAS	4,5,6 e 7 pixel=56x79m	80m	
LANDSAT-2 *	22/01/75	27/07/83	MSS/RBV (3 câmaras)	16 DIAS	ERT=79x79m		
LANDSAT-3	22/03/78	07/09/83	MSS/RBV (2 câmaras)	16 DIAS	idem dos outros mais 8 pixel=167mX238m ERT=238x238m	40m	
LANDSAT-4 **	16/07/82	-	MSS/TM	16 DIAS	idem dos outros		TM 6=120 x 120 m; 1 a 5 e 7 pixel=30x30m
LANDSAT-5	01/03/84	-	MSS/TM	16 DIAS			
LANDSAT-6 ***							
LANDSAT-7	04/1999	-	ETM	16 DIAS	Idem LANDSAT 5 mais banda 8 Pancromática com resolução de 15m		
SPOT	21/01/86	-		26 DIAS	pixel=10X10m pancromático		pixel=20x20m multiespectral

Obs: \* LANDSAT-2 com problemas de controle de altitude em 05.11.75 e reativado em 06.06.80

\*\* LANDSAT-4 com ausência total de imagens "TM" devido a problemas técnicos na transmissão de dados às estações terrestres de recepção.

\*\*\* LANDSAT-6 explodiu no lançamento.

RBV ("Return Beam Vidion") Subsistema de Televisão.

MSS ("Multispectral Scanner Subsystem") Subsistema Imageador Multiespectral.

TM ("Thematic Mapper") - Mapeador Temático

SPOT ("Système de Télédétection par Satellite)

ETM (Enhanced Thematic Mapper Plus)

ERT (Elemento de Resolução no terreno)

Pixel (Elemento de resolução na imagem)

- monitoramento de erosão, sedimentação e fraturas em áreas onde serão implantadas grandes barragens;

Tabela 3.7 - Principais características e aplicações das bandas "TM" do satélite Landsat 5. Fonte: Setor de Atendimento ao Usuário do Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE.

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL( $\mu\text{m}$ )	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS "TM" DO SATÉLITE LANDSAT-5
1	(0,45-0,52)	-Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. -Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides) -Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. -Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52-0,60)	-Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. -Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63-0,69)	-A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (exemplo: solo exposto, estradas e áreas urbanas). -Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (exemplo: campo, serrado e floresta). -Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. -Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. -É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. -Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76-0,90)	-Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. -A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. -Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). -Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. -Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. -Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. -Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. -Permite visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (exemplo: aguapé). -Permite identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55-1,75)	-Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. -Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4-12,5)	-Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades térmicas de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08-2,35)	-Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. -Esta banda serve para identificar minerais com ions hidroxilas. -Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Observações:

- A imagem de satélite pode ser processada como um produto colorido, isto é, associada às cores azul, verde e vermelho, três bandas quaisquer.
- A imagem inteira de satélite representa no solo uma área de abrangência de 184 x 185 Km. Para o quadrante a abrangência é 92 x 92 Km.
- O mapeamento temático a partir de cada uma dessas bandas depende ainda das características da área de estudo (região plana ou acidentada); época do ano (inverno ou verão); ou de variações regionais (Nordeste, Sudeste, Sul, Amazônia, Pantanal).

O uso de imagens de radar é recomendado para regiões equatoriais, pois são capazes de penetrar grande quantidade de nuvens, utilizáveis, entretanto, em escalas menores e iguais a 1:100.000, o que torna esse produto, por enquanto, não recomendável para a cartografia geotécnica, o que poderá mudar em um futuro próximo.

### 3.9.2 – Geofísica aplicada

A geofísica é a ciência que investiga a Terra, através das propriedades físicas dos materiais e de fenômenos físicos que a afetam, sejam naturais ou artificiais. Tem como campos de especialidades: sismologia, geoletromagnetismo, gravimetria e geotermia. Estas, embasam os métodos geofísicos de prospecção, sendo esta importante ferramenta da geologia de engenharia e da cartografia geotécnica.

Com a prospecção geofísica busca-se localizar materiais geológicos, definir a distribuição dos materiais e orientar a localização de sondagens.

Os métodos geofísicos aplicados permitem obter informações da subsuperfície sem observações diretas apresentando respostas quantitativas imediatas, além de reduzir a área onde devem ser concentrados esforços e gastos, diminuindo assim: tempo, dinheiro e esforço.

As respostas geofísicas dependerão do contraste de propriedades dos materiais geológicos como: densidade, suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, elasticidade, radioatividade e condução térmica. Suas principais limitações são a falta de contraste dessas propriedades, profundidade de investigação (razão sinal/ruído e atenuação) e a pequena contribuição do objeto investigado.

São vários os métodos de prospecção geofísica: método gravimétrico, métodos sísmicos, métodos geoelétricos e métodos eletromagnéticos.

A escolha de um método geofísico deve levar em consideração as informações geológicas sobre a área, referências sobre áreas semelhantes, medidas de propriedades físicas em amostras, perfis para testar a resposta, topografia, efeitos culturais (linhas de alta tensão, cercas, aterramentos, tubulações, etc..) e acesso.

Elis (1993) faz uma discussão sobre a importância da geofísica aplicada na elaboração de mapeamento geotécnico apresentando uma correlação entre os métodos e técnicas geofísicas e os principais atributos do meio físico obtidos ou complementados pela geofísica aplicada, Tabela 3.8. Este autor observa que, entre as limitações de aplicação dos métodos, está o fato dos equipamentos serem sofisticados, geralmente importados, o que requer um investimento inicial alto e a necessidade de uma equipe de campo especializada, o que denota tempo para formação e treinamento.

Tabela 3.8 - Atributos do meio físico e métodos/técnicas geofísicas utilizadas para sua obtenção  
Elis (1993).

CAMPOS DE CONHECIMENTO	ATRIBUTOS	MÉTODO/TÉCNICA GEOFÍSICA
Geologia (substrato rochoso)	Profundidade do topo rochoso	-Sísmica de refração e reflexão -Sondagem elétrica vertical
	Estruturas	-Caminhamento elétrico -Polarização induzida -Sísmica de reflexão -Gravimetria e magnetometria
	Grau de intemperismo	-Sondagem elétrica vertical. -Caminhamento elétrico. -Sísmica de refração. -Método eletromagnético.
	Permeabilidade	-Sondagem elétrica vertical. -Caminhamento elétrico. -Método eletromagnético.
	Litologia	-Sísmica de refração e reflexão. -Sondagem elétrica vertical. -Caminhamento elétrico.
Geologia (processo)	Erosão	-Sísmica de refração. -Sondagem elétrica vertical. -Método eletromagnético.
	Deposição (assoreamento)	-Sísmica de refração e reflexão. -Sondagem elétrica vertical.
	Sismicidade	-Sísmica de refração e geotermia. -Gravimetria e magnetometria.
	Subsidência	-Gravimetria. -Cross-hole. -Caminhamento elétrico. -Sísmica de reflexão.
Geologia (materiais inconsolidados)	Distribuição	-Sísmica de refração e reflexão -Sondagem elétrica vertical. -Caminhamento elétrico.
	Permeabilidade	-Sondagem elétrica vertical. -Caminhamento elétrico. -Método eletromagnético.
	Deformação elástica	-Cross-hole/up-holedown-hole. -Sísmica de refração (ondas P e S).
	Corrosividade	-Sondagem elétrica vertical. -Método eletromagnético.
	Características químicas	-Sondagem elétrica vertical. -Método eletromagnético.
Água subterrânea	Geometria do aquífero	-Sondagem elétrica vertical. -Sísmica de refração e reflexão.
	Características físico-químicas	-Sondagem elétrica vertical. -Método eletromagnético.

É importante frisar que o sucesso da geofísica aplicada esta associado à escolha criteriosa dos métodos e/ou técnicas geofísicas em função do problema enfrentado, levando em consideração suas potencialidades e limitações. Frisa-se também que a geofísica aplicada é utilizada apenas como ferramenta que auxiliará nas investigações, complementando os métodos diretos e não os substituindo.

### 3.9.3 - Amostragem dos solos e rochas

Na cartografia geotécnica após a definição inicial das unidades geotécnicas de solos e rochas é dado início aos trabalhos de campo, onde após determinação prévia dos critérios de amostragem esta é iniciada, sempre com a preocupação que esta seja representativa ou tenha uma representatividade aceitável, o que dependera da escala de trabalho e dos objetivos a que se propõe o mapeamento.

Existem três tipos de prospecção geotécnica, a saber: os processos indiretos, os processos semi-diretos e os diretos. O último é representado pelos poços, trincheiras, sondagens a trado, sondagens de simples reconhecimento e sondagens rotativas mistas, além de outros modos de amostragem que, também, fornecem observações diretas na camada investigada, (Bueno & Vilar 1984).

Os processos diretos permitem o reconhecimento do solo prospectado, mediante análise de amostras deformadas e indeformadas. As primeiras fornecem subsídios aos exames visual-táctil e são úteis na realização de ensaios de caracterização (teor de umidade, limites de consistência e granulometria), (Bueno & Vilar 1984). As amostras deformadas podem ser suficientes no mapeamento geotécnico, (IAEG 1976). As amostras indeformadas fornecem informações sobre as propriedades físicas dos solos (teor de umidade, resistência ao cisalhamento e compressibilidade) e rochas representando da melhor forma possível as condições naturais dos materiais, sendo convencional obter amostras indeformadas de cada litologia, (IAEG 1976).

As investigações de subsuperfície (sondagens) devem ser evitadas por serem trabalhosas, especializadas e onerosas, caso seja imprescindíveis devem ser realizadas só após as investigações de superfície de modo a produzir informações de muito interesse ao mapeamento geotécnico (Zuquette 1987). Tanto o arranjo quanto o espaçamento das sondagens devem ser flexíveis em relação às condições e profundidades para investigações geotécnicas.

A exploração do subsolo em mecânica dos solos apresenta no entanto o inconveniente de oferecer uma visão pontual da subsuperfície (Bueno & Vilar 1984), em contrapartida no mapeamento geotécnico as várias unidades definidas devem ser representadas em planta o que condiciona todo o processo de amostragem a ser ditado por condições geológicas e não por um sistema rígido (IAEG 1976).

### 3.9.4 - Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O mapeamento geotécnico tem como fonte inicial de dados as informações já produzidas, informações estas muitas vezes extraviadas por falta de uma legislação que obrigue o seu armazenamento e pela inexistência de banco de dados ou arquivos públicos que organizem as várias informações geradas.

No presente a iniciativa pública, através dos institutos de pesquisa, prefeituras e universidades (EMBRAPA 1983, Ferreira 1988, Ferreira & Coutinho 1988, Moreira *et al.* 1992, Sadowski 1992, Moreira 1994) vem atentando para esta necessidade. Nesse contexto o SIG - Sistema de Informação Geográfica ou "GIS" - "Geographical Information System" desempenha papel fundamental.

Dado ao pouco conhecimento do tema mesmo entre técnicos envolvidos no processo de planejamento em geral, procederemos uma breve caracterização do SIG baseado em Calijure & Rohm (1993).

Os SIGs constituem uma tecnologia poderosa no auxílio a investigação de fenômenos diversos relacionados com a engenharia urbana, meio ambiente, geologia, pedologia, bacias hidrográficas, etc.. adequando-se perfeitamente às necessidades do mapeamento geotécnico.

Um SIG pode ser compreendido como uma coleção organizada de "hardware", "software", dados geográficos e pessoal, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente.

O custo entre "hardware", "software" e dados no decorrer da vida de um SIG é de 1:10:100 (Egenhofer & Frank<sup>1</sup> *apud* Calijuri & Rohm 1993), o que permite avaliar a importância de armazenarmos de maneira adequada as várias informações reunidas durante o mapeamento geotécnico de uma da área.

---

<sup>1</sup>EGENHOFER, M.J.; FRANK 1990. Prospective views of GIS technologies and applications. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, p.95-102.

### 3.9.4.1 - Estruturas dos Sistemas de Informações Geográficas

O mundo real compõe-se de diversas feições geográficas, que podem ser representadas por várias camadas de dados relacionados, Figura 3.1.

Pode-se realizar com os SIGs uma série de análises com vistas a otimizar o sistema de transporte coletivo, avaliar a tendência preferencial de crescimento dos bairros, definir, as áreas potenciais de ocupação residencial e industrial, avaliar a porcentagem de cobertura vegetal natural e cultivada, determinar a extensão de áreas industriais, residenciais, agrícolas etc..

Têm-se, dessa forma, um sistema de gerenciamento de banco de dados acoplado à facilidade de mapeamento temático.

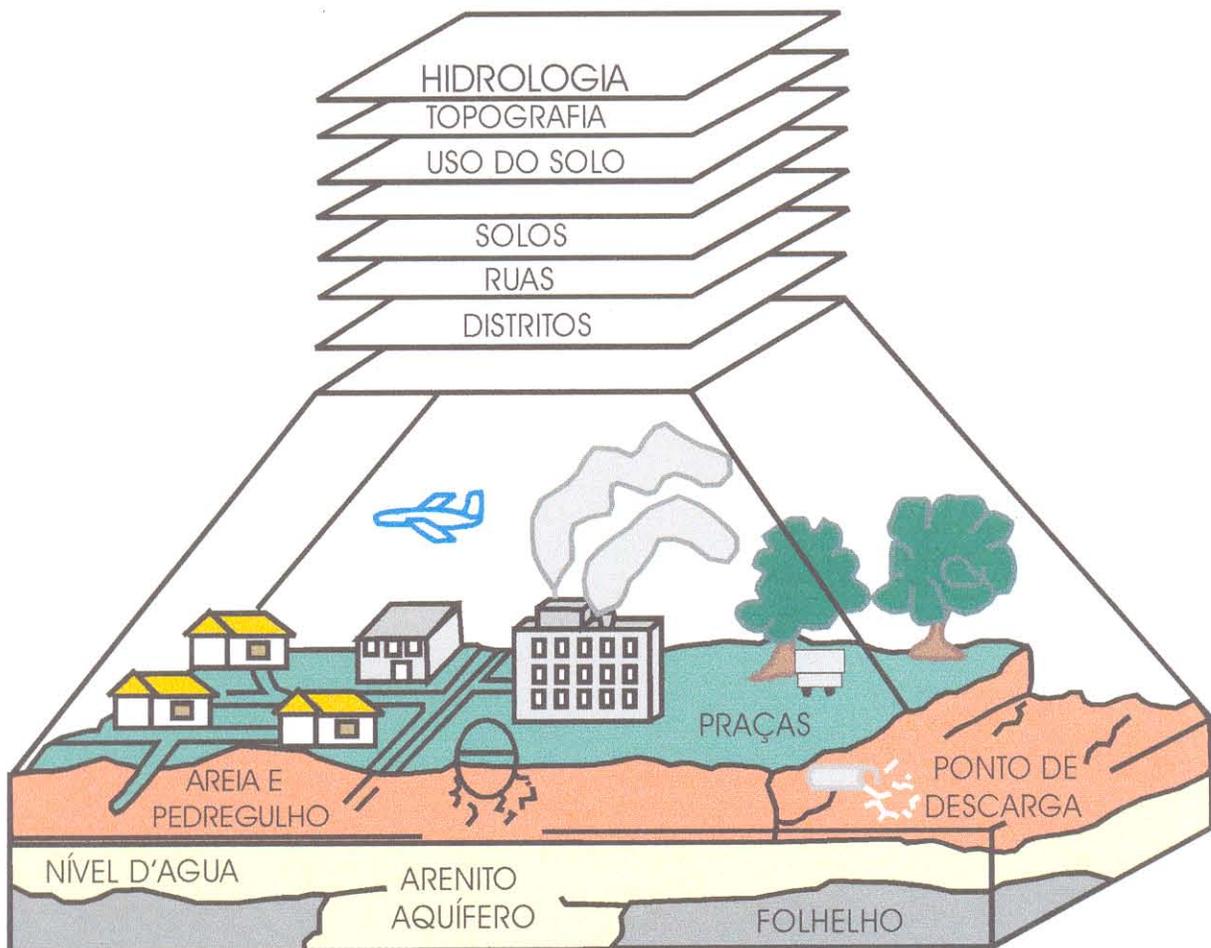


Figura 3.1 - Informações que podem ser representadas em um SIG, (Calijuri & Rohm 1993).

Os SIG's, no geral são compostos por 2 grandes conjuntos de informações, Figura 3.2, que formam:

- a) - um banco de dados espaciais e
- b) - um banco de dados de atributos.

O cerne do sistema é o banco de dados que, em síntese, é uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital.

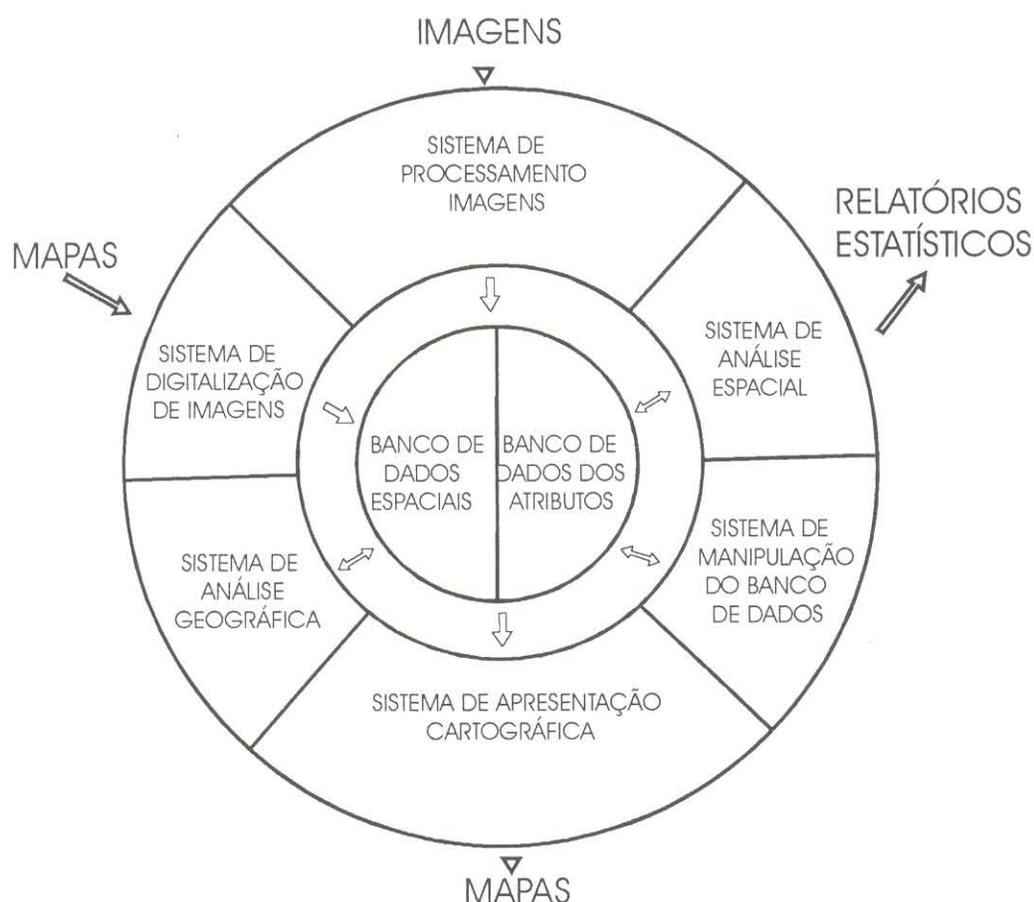


Figura 3.2 - Composição de um SIG, (Calijuri & Rohm 1993).

O banco de dados representa as características da superfície do terreno, sendo composto por dois tipos: o banco de dados espaciais, que descreve as características geográficas da superfície do terreno (forma e posição), e um banco de dados de atributos, que descreve as

qualidades dessas características. Ambos os bancos de dados podem ser rigidamente distintos ou integrados em uma entidade simples.

Simplificadamente um SIG inclui:

- a) - um sistema automatizado de gerenciamento de banco de dados,
- b) - elementos de orientação espacial,
- c) - ferramentas de modelagem,
- d) - ferramentas para mapeamento sistemático ou derivado.

Dentre as justificativas para utilização dos SIG's destacam-se:

- a) - as ferramentas computacionais permitem maior flexibilidade de manipulação, incluindo medidas e sobreposição de mapas, transformações, gráficos diversos e gerenciamento do banco de dados;
- b) - as informações gráficas e não gráficas (atributos) podem ser fundidas e manipuladas, simultaneamente, de maneira relacionada;
- c) - a possibilidade de serem realizados testes analíticos de modelos conceituais de modo rápido e preciso (por exemplo: susceptibilidade do solo à erosão, capacidade de suporte do solo, etc..) facilitando avaliações científicas e técnicas em grandes áreas em curto período de tempo;
- d) - a possibilidade de realizar certos tipos de análises de modo mais eficiente em termos de tempo e custos, do que se efetuadas manualmente (por exemplo: análises digitais de terreno, cálculos de declividade e bacias de drenagem, sobreposição de múltiplos conjuntos de mapas contendo polígonos complexos etc.).

#### 3.9.4.2 - Banco de dados geográficos

Um SIG é um banco de dados cartográfico construído em torno de um modelo híbrido. Ele organiza dados geográficos usando um modelo georelacional e topológico.

Isso facilita o manuseio eficiente de duas classes genéricas de dados espaciais: dados de localização, que descrevem graficamente a localização e a topologia de características (ponto, linha e área); e, dados de atributos, que descrevem as características destas feições, Figura 3.3. Desta forma, o banco de dados cartográficos, em um SIG, é uma coleção de dados espaciais e de

dados descritivos relacionados e organizados, para armazenagem e recuperação eficiente pelos usuários, Figura 3.4.

Do ponto de vista da lógica usada na reprodução espacial, “raster” ou “vector”, pode-se notar que o banco de dados geográficos (um banco de dados completo para uma dada região) está organizado de maneira similar a uma coleção de mapas.

O sistema “vector” está muito perto desta lógica com as “coverages” (Eastman<sup>2</sup> *apud* Calijuri & Rohm 1993), definidas como coleções de mapas que contêm definições geográficas de um conjunto de características e sua tabela de atributos associados. As “coverages” diferem dos mapas em dois aspectos:

- a) - elas contêm, em geral, um tipo simples de característica (polígonos de solos, propriedades de lotes, etc.);

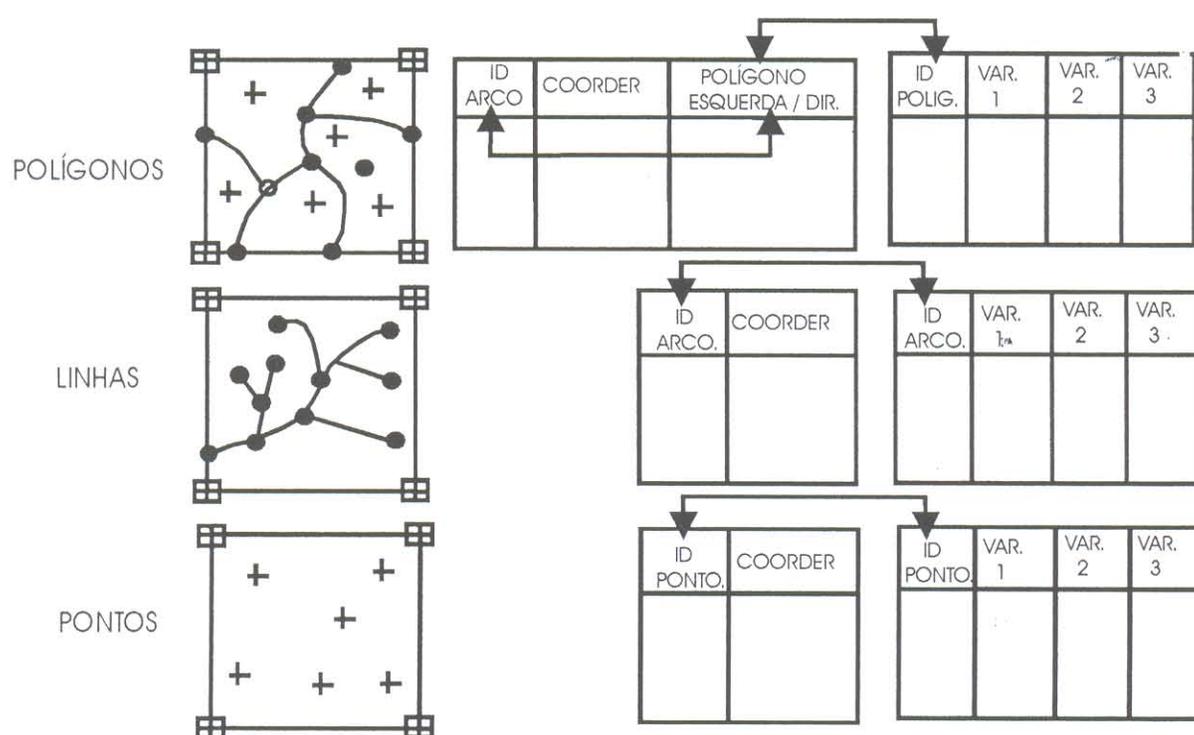


Figura 3.3 - Topologia das características, (Calijuri & Rohm 1993).

<sup>2</sup>EASTEMAN, J.R. (1992). *IDRISI Users's guide - Version 4.0*. Rev. 1. Worcester, Clark University, 178 p.

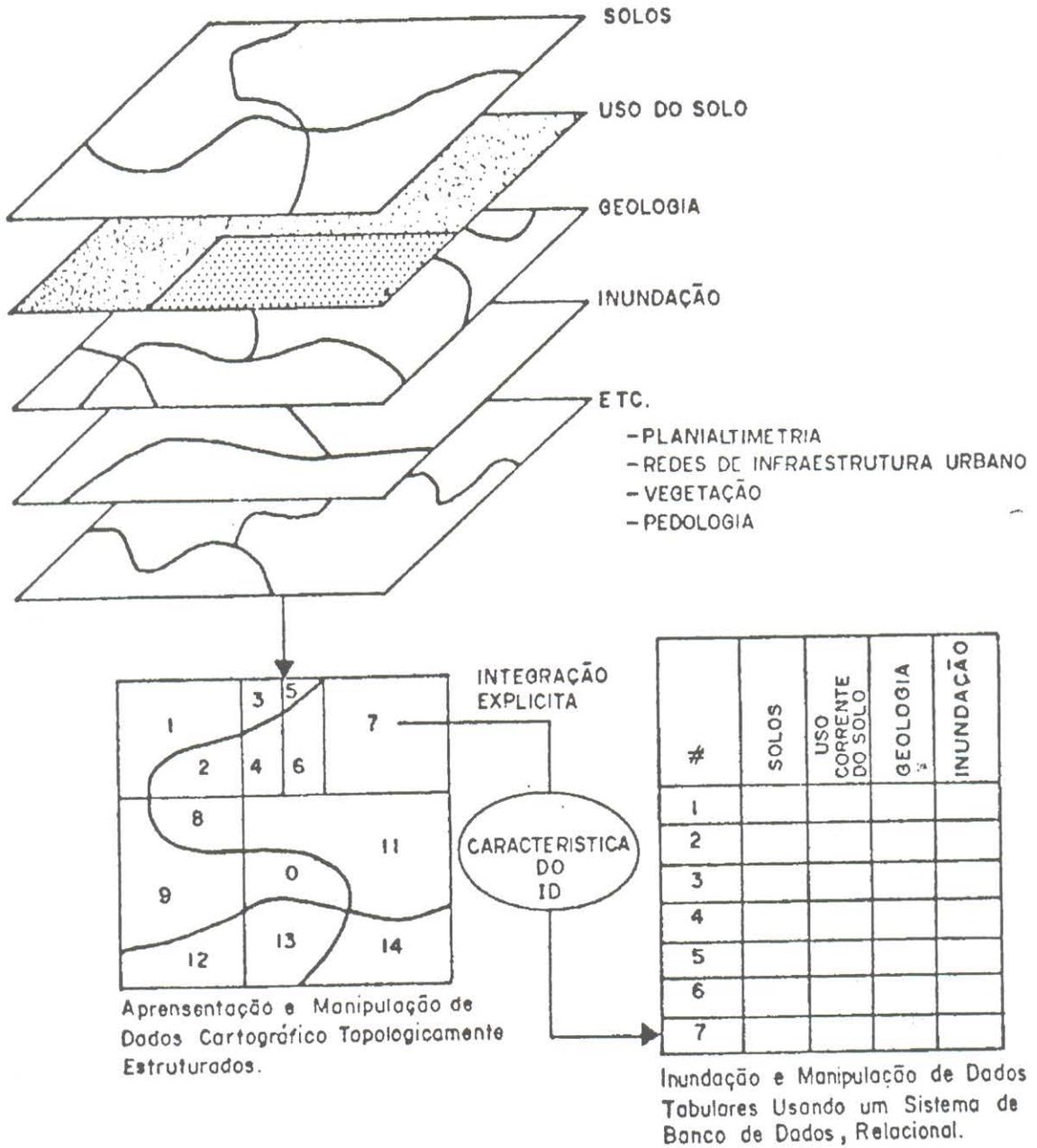


Figura 3.4 - Banco de dados cartográficos, (Calijuri & Rohm 1993).

b) - podem conter um conjunto de atributos que pertencem àquelas características como por exemplo, um conjunto de informações do censo para cidades.

O sistema “raster” também utiliza a lógica de mapa, mas usualmente divide um conjunto de dados em “layers” unitários. Um “layer” contém todos os dados para um atributo simples podendo-se ter “layers” de solos, de estradas e de uso do solo.

Geralmente “layers” separados existem para cada atributo, o que permite produzir mapas (em papel), a partir de uma combinação em “layers” de mapas.

A diferença básica entre “raster layers” e “vector coverages” está na organização do banco de dados em temas elementares de mapas.

#### 3.9.4.3 - Sistema de gerenciamento de banco de dados

Um SIG incorpora, além dos sistema tradicional de gerenciamento de banco de dados, uma variedade de utilitários para gerenciar os componentes espaciais e os atributos de dados geográficos armazenados.

##### 3.9.4.3.1 - Módulos de um SIG

Em geral os SIG's são compostos pelos seguintes módulos:

- a) – sistema cartográfico;
- b) – sistema de digitalização de mapas;
- c) – sistema de gerenciamento de banco de dados;
- d) – sistema de análises geográficas;
- e) – sistema de processamento de imagens;
- f) – sistema de análises estatísticas.

##### 3.9.4.3.2 - Representação de dados em mapas

Existem duas técnicas de representação em SIG, “vector” e “raster”.

Na representação “vector”, os limites das características geográficas são definidos por uma série de pontos que, quando interligados com retas, formam a representação gráfica daquela característica. Os pontos são codificados com um par de números dando às coordenadas X e Y no sistema (UTM, latitude/longitude, etc.), Figura 3.5.

Na representação gráfica “raster” as características geográficas e atributos, que elas possuem, são armazenados em arquivos de dados unificados. A cada célula é atribuído um valor numérico que pode representar uma característica identificadora, um código de atributo qualitativo ou um valor quantitativo de atributo, Figura 3.6. Os dados das células podem ser avaliados como imagens de algum aspecto do ambiente que se torna visível através do uso de “display raster” (onde existe também uma malha de pequenas células chamadas “pixel”).

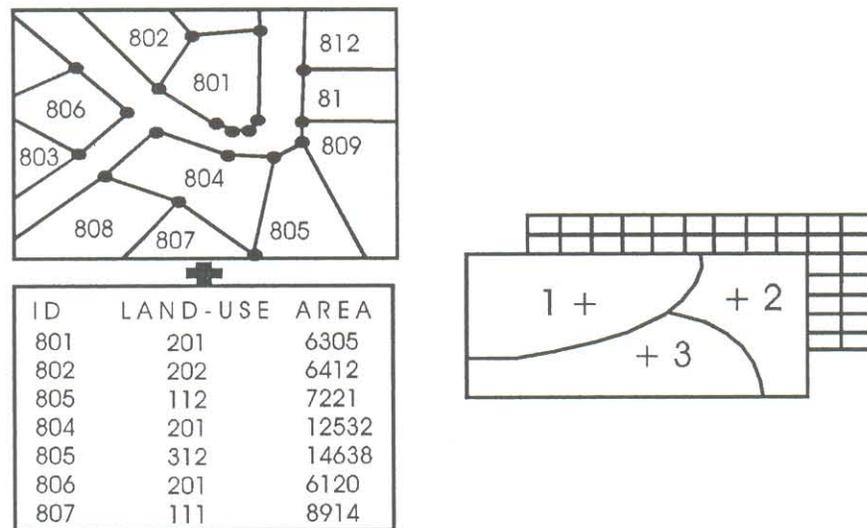


Figura 3.5 - Representação “vector”, (Calijuri & Rohm 1993).

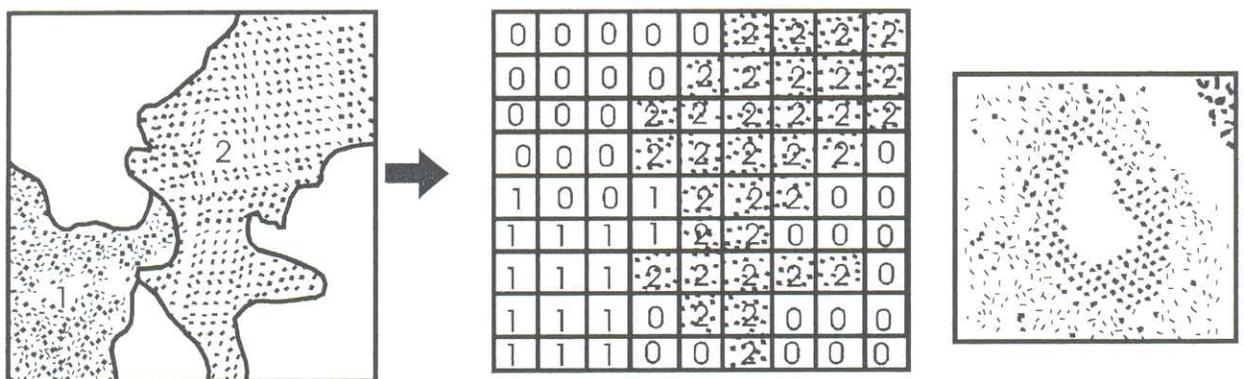


Figura 3.6 - Representação “raster”, (Calijuri & Rohm 1993).

O sistema “vector” é recomendado em detrimento ao “raster”, em função de sua afinidade entre a lógica da representação vetorial e a tradicional produção de mapas (saídas impressas em “plotter”) que asseguram a produção de mapas e, predominantemente, o gerenciamento de banco de dados e outras características.

#### 3.9.4.3.3 - Análise em SIG

A disposição de dados em “layers” de mapas não existe simplesmente por razões de organização, mas pelo rápido acesso aos elementos necessários para a análise geográfica.

As ferramentas analíticas de um SIG (Eastman *apud* Calijuri & Rohm 1993), são:

- a) – Consulta ao Banco de Dados: consulta ao banco de dados (responde a que localização está? (localização) e quais são as localizações que contêm determinado atributo (atributo);
- b) – Álgebra de Mapas: faz a combinação matemática de “layers” de mapas. Fornecem três operações: 1) modifica aritmeticamente os valores sobre o espaço por uma constante (escalar aritmética), 2) transforma valores de atributos por uma operação padrão (tais como funções trigonométricas, transformação logarítmicas etc..), 3) combina matematicamente (adicionar, subtrair, multiplicar e dividir) diferentes “layerS” de dados para produzir um resultado composto;
- c) – Operações de Distancia: são um conjunto de técnicas onde a distância desempenha papel chave na análise. Exemplo: 1) áreas dentro de uma distância específica de um tipo de característica 2) distância de todas as localizações o mais perto de um conjunto de características projetadas;
- d) – Operações de Contexto: serve para criar um novo mapa baseado na informação de um mapa existente e no contexto em que cada característica é encontrada;

Com o “surface analysis” toma-se um modelo de elevação digital e produz-se um mapa de declividades a partir do mapa topográfico.

As operações analíticas possuem ferramentas básicas que recaem em 3 grupos principais segundo Eastman (1992) *apud* Calijuri & Rohm (1993):

- a) – Consulta de Banco de Dados;
- b) – Mapeamento Derivado;
- c) – Processamento de Modelos.

Em “database query” selecionam-se várias combinações de variáveis para exame. Com o “derivative mapping” pode-se tomar os dados de elevação digital para produzir um mapa de declividade e, a combinação desses últimos com informações do tipo de solo e regime de chuvas, permite produzir uma carta de potencial de erosão do solo

Moreira (1994) cita alguns tipos de SIGs apresentados durante a ECO-92 São Paulo:

-ILMS: utilizado pela prefeitura de São Paulo, utiliza informações geográficas, meteorológicas, dentre outras; com cerca de 200 funções agrupadas em alguns módulos, dentre os quais o que permite a análise em “raster” e “vector”, interpolação de imagens e georeferenciamento.

-IGIS, que presta serviço em mapeamento adaptando o sistema de acordo com as necessidades do cliente, por exemplo, trabalha com bacias hidrográficas em 3D.

-MIPS, empregado também pela prefeitura de São Paulo, utiliza informações de imagens de vídeo, fotos, imagens de radar e satélite, mapas, informações geográficas e equipamentos sociais.

Teixeira *et al.*<sup>3</sup> *apud* Moreira (1994) apresentam outros exemplos de SIGs:

-IDRISI, desenvolvido pela “Clark University Massachussets”, é baseado na forma “raster”, opera em PC. Permite ao usuário escrever programas específicos, interface para LOTUS, QUATTRO, ERDAS e ARC-INFO.

-ARC-INFO, modelagem e análise de dados espaciais. Utiliza estrutura topológica, admitindo dados na forma “raster” e imagens de satélite. Opera em PC. Foi desenvolvido pelo “Environmental System Research Institute, California”.

-MGE, produzido pela Intergraph, manipula dados na forma “vector” e “raster”. Possui um módulo para processamento de imagens de satélite. Utiliza banco de dados externo: ORACLE, INFORMIX.

-GRASS (“Geographic Resources Analysis Suport System”), desenvolvido pelo Exército Americano, é baseado no formato “raster”, com funções para análise de imagens, análise estatística e banco de dados. Apresenta transformação de “raster” para “vector”.

Sadowski (1992) discute a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em mapeamento geológico-geotécnico, aplicando o SIG ANC-INF na Serra do Mar, onde a partir de dados geológicos e topográficos obteve mapas de aspecto e inclinação de encostas e a partir

<sup>3</sup>TEXEIRA, A.L. de A. et al. 1992. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Ed. Aut., Rio Claro, 80p.

destes, os mapas de probabilidade de risco de deslizamentos. Coloca também a possibilidade de sua utilização como banco de dados geológico-geotécnico de caráter regional e a introdução de cálculos de estabilidade de encostas, adequabilidade de fundações, etc.; além da possibilidade de filtrar dados, elaborando de um lance diversos mapas temáticos como: hidrográficos, geológicos, de encostas, de ocupação urbana, de uso da terra, etc.

Outra aplicação de SIG foi publicada por Guerra (1992) que aborda a utilização do SINGRE - Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana do Recife (RMR). O sistema foi alimentado com vários trabalhos previamente produzidos na RMR. Os dados cartográficos, na escala 1:25 000, versando sobre geologia, geomorfologia, neotectônica, mineração urbana, hidrologia, hidrogeologia, geotecnia, fitologia, pedologia e uso atual do solo são digitalizados no “software” SPANSMAP gerando informações utilizadas na elaboração das cartas de recomendação de uso e ocupação do solo.

Um SIG ideal para o mapeamento geotécnico deve ter as seguintes características (Moreira & Zuquette 1992):

- coleccionar informações diversas de fontes diferentes, padronizá-las e utilizar uma ficha para entrada de dados;
- flexibilidade permitindo adequação da escala com o fim, atualização da base de dados e acoplamentos a outros sistemas;
- tratamento adequado com modelos geomatemáticos, ponderação dos dados quando ao fim específico de trabalho;
- utilizar equipamento tipo PC, moderno, simples e eficiente, monitor super VGA, impressora, plotter, mesa digitalizadora e scanner;
- segurança e conservação dos dados;
- consultas eficientes com acesso simples e rápido, significando economia em tempo e carga de trabalho.

### **3.9.5 - O conceito de “landforms”**

A busca de conceitos que sejam capazes de sistematizar os vários padrões observados nos produtos de sensores remotos, de modo a solucionar os problemas enfrentados, tem sido uma

busca constante de técnicos ligados às várias áreas de estudo, que utilizam os sensores remotos como ferramenta fundamental.

O termo “landforms”, quando simplesmente traduzindo de modo direto para a língua portuguesa, como formas do terreno, adquire significação demasiadamente genérica podendo a princípio adequar-se a qualquer componente do meio físico, o que não expressa seu real significado.

Em razão disto este item busca, realizar uma breve avaliação do termo “landforms” na perspectiva de imprimir-lhe significado e utilidade para o mapeamento geotécnico. Zuquette (1991) utiliza o conceito de Belcher (1946) onde “landforms” são elementos do meio físico que possuem composição definida, tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia.

Mio (1992) utilizou o conceito de “lanforms” como um aspecto da superfície da Terra com formas características distintivas as quais podem ser atribuídas a processos ou estruturas específicas no transcurso do seu desenvolvimento e aos quais o referido aspecto pode ser claramente correlacionável. Além deste conceito de “landform” o referido autor baseou-se em alguns parâmetros geomorfológicos.

Lollo (1994) apresentou conceito com base em extensa revisão bibliográfica; buscando, assim, uma definição operacional que tivesse as seguintes características: 1) apresente descrição tipicamente fisiográfica de “landform”; 2) não distinga o processo genético responsável (erosivo ou deposicional); 3) não use as características de materiais como critério de definição; e 4) não explique a influência da estrutura geológica. Este autor apresentou o seguinte conceito: “uma porção do terreno originada de processos naturais e distinguível de suas unidades vizinhas (outros “landforms”) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica; organização e densidade de drenagem; declividade do terreno; amplitude de relevo e forma da encosta”.

O estudo de “landforms” está associado ao conceito de avaliação de terrenos que leva em consideração os elementos do meio físico do local estudado.

Para Viberg & Adestam (1980) os benefícios de uma classificação do terreno são:

- sistematizar um grande volume de dados de investigações existentes;
- representar as condições geotécnicas de grandes áreas;
- hierarquizar obras por transferência de informações à diferentes níveis;
- proporcionar descrições de fácil entendimento;

- caso o sistema seja aplicado sempre da mesma maneira, os mesmos resultados devem ser obtidos por diferentes profissionais.

A aplicação da avaliação de terrenos consiste em dividir a área estudada em unidades consideradas uniformes com base em suas características fisiográficas. O grau de detalhamento e dimensão da unidade é função da escala e dos objetivos do trabalho. O zoneamento seria a parte da avaliação do terreno que dividiria a área estudada em unidades cada vez menores (até o limite da escala ou finalidade pretendida) com base em sensores remotos (preferencialmente) e trabalho de campo. Após a delimitação, as unidades são avaliadas geotecnicamente para zoneamento geral ou específico (Lollo 1994).

O que segue a proposta de Cooke & Doornkamp (1978) que consideram a base do método de avaliação do terreno a identificação de sistemas de terreno e sua separação por meio de fotografias aéreas, com a atividade dividida em 5 etapas:

- 1 - montagem do fotomosaico da área e representação (do mesmo) nos limites entre áreas que apresentem imagens fotográficas diferentes;
- 2 - teste da validade dos limites anteriormente estabelecidos através da análise de estereopares;
- 3 - checagem dos limites através de trabalhos de campo, com o uso de seções transversais selecionadas na etapa anterior;
- 4 - amostragem e caracterização de materiais;
- 5 - preparação do relatório.

Quanto à aplicação de técnicas de avaliação de terrenos no Brasil Lollo<sup>ra</sup> (1994) concluiu que, quando se trata de avaliação de terreno para fins de zoneamento para inventário ou planejamento, o enfoque da paisagem (ou fisiográfico) é o mais adequado; porém quando se trata de trabalhos locais (escalas grandes) para monitoramento de impactos ou análise de riscos o enfoque paramétrico pode ser mais útil. Com respeito às diferenças entre o clima temperado, onde o termo “landform” foi gerado, como o próprio termo sugere, ressalta-se que:

- existem diferença entre a evolução das formas de terreno em clima tropical onde o intemperismo mais intenso suaviza as formas e o climas temperados onde ocorre o contrário: as formas são mais preservadas;
- a espessura do manto de alteração mais espessa nos trópicos faz com que a identificação do “landform” seja mais difícil.

- as reações químicas que ocorrem na pedogênese (no clima tropical) são relativamente diferentes das ocorridas em clima temperado, com tendência a produzir perfis de alteração muito diferentes.

Collares (1994), admitindo que a distribuição dos materiais inconsolidados nas regiões estão relacionadas com as diferentes formas de relevo, utiliza o conceito de “landform” seguido por Zuquette (1991) aplicando-o na região de Bragança Paulista-SP, concluindo que este estudo permitiu a conjunção espaço temporal dos materiais inconsolidados com outras características do meio físico, permitindo a delimitação das ocorrências homogêneas.

Esse autor utiliza os “landforms” em duas etapas, inicialmente de modo preliminar, onde a análise das observações foi feita conjuntamente e relacionada à geomorfologia, geologia e gênese, considerando os seguintes atributos:

- tipo litológico,
- ausência de manto de intemperismo,
- forma geométrica,
- declividade,
- densidade e forma dos canais de drenagem,
- grau de dissecação do relevo,
- ocorrência de vegetação.

Na segunda fase foi feita a conjunção dos perfis de alteração descritos no campo com os componentes do relevo, permitindo a sistematização dos perfis de alteração.

Saraiva (1995) realizou o mapeamento geotécnico da Folha Socorro (IBGE) utilizando o mesmo conceito seguido por Collares (1994), concluindo ter obtido uma boa correlação entre as unidades de formas de terreno (“landforms”) e os materiais inconsolidados e destas com a distribuição litológica e estrutural.

### **3.9.6 - Ensaio "in situ" e de laboratório**

A metodologia sugere os seguintes ensaios:

- granulometria conjunta;
- limites de liquidez e plasticidade;
- peso específico seco e saturado;
- massa específica dos sólidos;

- porosidade (índice de vazios);
- mineralogia;
- azul de metileno;
- petrografia;
- permeabilidade;
- resistividade;
- potencial espontâneo;
- pressão piezométrica;
- ensaios de bombeamento;
- ensaio de penetração dinâmica.

No mapeamento geotécnico são normalmente necessários de 25 a 30 amostras para determinação estatística das características de cada tipo geotécnico.

### 3.10 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Para análise e interpretação dos dados só deverão ser selecionadas as informações consideradas absolutamente necessárias à finalidade pretendida, descartando-se as informações não importantes para a finalidade proposta. Deve-se dar atenção especial quanto à confiabilidade dos dados geológicos; dados incompatíveis com as condições geológicas devem ser eliminados ou convenientemente explicados.

A partir das unidades do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados as várias informações devem ser selecionadas e agrupadas para a partir de vários grupos se definir as classes, o que envolve o uso de classificações de rochas, solos, água superficial e subterrânea, etc.. A classificação é um estágio essencial do processamento dos dados; é importante a quantificação dos dados e o arranjo desses em grupos, cada um sendo homogêneo em termos de dados, o que deve ser realizado em um sistema de informações geográficas.

Avaliações lógicas ou estatísticas devem ser utilizadas para avaliar a generalização das características qualitativas ou quantitativas de cada estágio de homogeneização dos dados.

O último estágio é a definição das unidades territoriais finais o que é realizado por meio de uma síntese das informações generalizadas sobre os diferentes componentes individuais das

condições geotécnicas em ordem para definir as unidades territoriais as quais são caracterizadas por um certo grau de especificidade de uniformidade em suas condições geotécnicas.

No auxílio da experiência e conhecimento dos geotécnicos deve-se utilizar computadores e os sistemas de informações geográfica em três áreas principais:

- armazenamento de dados codificados;
- análise estatística dos dados e correlação de um grande número de variáveis;
- plotagem ou desenho automático dos mapas produzidos pelos sistemas de informações geográficas.

### 3.11 - APRESENTAÇÃO DE DADOS NOS MAPAS GEOTÉCNICOS

O conteúdo e a quantidade de dados geotécnicos de cada mapa irá depender de sua finalidade e escala, ressaltando que mapas de diferentes escalas são realizados para resolver problemas de diferentes tipos. O importante é assegurar os mesmos princípios gerais na elaboração dos mapas geotécnicos, o que torna possível comparar mapas de uma mesma escala para áreas diferentes, o que não acontece quando há constantes mudanças de princípios - diferentes formas de classificar solos e rochas, formas diversas de avaliar as condições hidrogeológicas, geomorfológicas, processos geodinâmicos e de realizar o zoneamento. Utilizar os mesmos princípios gerais facilita também, a produção de mapas geotécnicos de pequena em média escala e desta em grande escala, sem a necessidade de mudanças radicais.

As Tabelas 3.9, 3.10 e 3.11 exibem uma proposta de representação de mapas em pequena, média e grande escala, acompanhados de seus respectivos métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento.

Tabelas 3.9 – Proposta de representação de mapas geotécnicos em pequena escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).

Escala	Geotecnia da Área	Método de Confecção	Elementos Representados		Formas de Representação	Crítérios de Delimitação das Unidades de Mapeamento
Pequena	Bem conhecida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapas produzidos de interesse para a geotecnia</li> <li>- Dadas bibliográficas</li> <li>- Documentação de arquivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribuição e caráter dos complexos litogenéticos e litofáceis de solos e rochas</li> </ul>	Substrato Rochoso	<p>Cor preta ou padrão colorido onde as cores representem a gênese e o padrão a litologia de solos e rochas</p> <p>Cores claras de acordo com um esquema que represente seu caráter litogenético</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos geotécnicos</li> <li>- Macrogeomorfologia</li> <li>- Uniformidade do caráter litofacial</li> <li>- Arranjo estrutural</li> </ul>
				Depósitos superficiais		
Com poucos dados		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fotointerpretação</li> <li>- Mapeamento de reconhecimento</li> </ul>	<p>Dados hidrogeológicos</p>	<p>- Prof. do N.A., corrosividade das águas</p>	<p>Símbolos geológicos no mapa ou legenda</p> <p>Quantitativamente estimado por isolinhas ou numericamente por símbolos pontuais em formas gerais para cada complexo de solo e rocha. Detalhes químicos também podem ser dados</p>	
				Extensão dos processos geodinâmicos ativos importantes para a geotecnia	Símbolos pontuais	
				Atividade sísmica	Isosismas	
			Superfície topográfica		Linhas de isovalor e símbolos pontuais para indicar os elementos geográficos importantes	

Tabelas 3.10 - Proposta de representação de mapas geotécnicos em média escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).

Escala	Método de Confecção	Elementos Representados	Formas de Representação	Critérios de Delimitação das Unidades Básicas de Mapeamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Média</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação de campo</li> <li>- Materiais existentes em arquivos</li> <li>- Trabalhos complementares necessários</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesmos que para pequenas escalas só que com maiores detalhes</li> <li>- Duas ou três unidades de solos ou rochas com descrição litológica em termos geotécnicos</li> <li>- Suítes litológicas que podem ser divididas em complexos se possível na forma de combinação de tipos litológicos</li> <li>- Solos e rochas</li> <li>- Nível d'água</li> <li>- Profundidade da água confinada</li> <li>- Nível piezométrico</li> <li>- Química da água subterrânea</li> <li>- Topografia</li> <li>- Feições geomorfológicas</li> <li>- Feições geodinâmicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesmas que para pequenas escalas</li> <li>- Ver pequena escala</li> <li>- Propriedades de solos e rochas indicadas na legenda</li> <li>- Linhas de isovalor com suas variações indicadas por números</li> <li>- Em relevo montanhoso só por números, assim como outras feições</li> <li>- Símbolos numericamente</li> <li>- Contornos</li> <li>- Mapeadas</li> <li>- Delimitadas e seus limites individuais mostrados onde possível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogeneidade e arranjos estruturais das unidades de solos e rochas</li> <li>- Onde for possível unidades menores podem ser indicadas com base em fenômenos hidrogeológicos e/ou geodinâmicos uniformes</li> </ul>

Tabelas 3.11 - Proposta de representação de mapas geotécnicos em grande escala, métodos de confecção, elementos representados, formas de representação e critérios de delimitação de unidades básicas de mapeamento (baseada em IAEG 1976).

Escala	Método de Confecção	Elementos Representados	Formas de Representação	Critérios de Delimitação das Unidades Básicas de Mapeamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação de campo de detalhada</li> <li>- Mapeamento detalhado</li> <li>- Materiais arquivados existentes</li> <li>- Exploração de superfície sistemática</li> <li>- Trabalhos geofísicos</li> <li>- Ensaios de campo e laboratório para determinação das propriedades físicas e mecânicas de solos e rochas para cada unidade</li> <li>- Dados devem ser avaliados de forma estatística</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de solos e rochas, estruturas, arranjo espacial em profundidade</li> <li>- Propriedades de solos e rochas</li> <li>- Espessura das unidades</li> <li>- Condições hidrogeológicas</li> <li>- Áreas de mananciais</li> <li>- Superfície topográfica</li> <li>- Feições geomorfológicas</li> <li>- Feições geodinâmicas individuais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combinação de cores e padrões coloridos ou preto e branco</li> <li>- Delimitadas estatisticamente na legenda</li> <li>- Representação Tridimensional em Mapas</li> <li>- Por isohipsas e isóbatas em intervalos de até 1m com flutuações mostradas numericamente</li> <li>- Com delimitação dos limites</li> <li>- Contorno</li> <li>- Limites atuais e detalhes</li> <li>- Limites atual e detalhes, quando possível estrutura interna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogeneidade e arranjos estruturais das unidades de solos e rochas</li> <li>- Uniformidade das condições hidrogeológicas</li> <li>- Uniformidade dos fenômenos geodinâmicos</li> </ul>

### **3.11.1 – Representação tridimensional em mapas**

Em mapas de escalas pequenas pode-se usar pontos e símbolos para representações em três dimensões.

Em mapas de escalas média e grande pode-se utilizar o método das listras, contornos do substrato, logs pontuais de sondagens, seções cruzadas, diagramas isométricos, linhas isópacas.

Para representar em mapas com somente algumas unidades de materiais inconsolidados entre a superfície do terreno e o substrato rochoso, o método de listras é sugerido.

O emprego de perfis sucessivos e blocos diagramas permitem representar com a precisão da escala utilizada a espessura e os limites das camadas nas cartas. Entretanto, não tornam possível apresentar nenhum dado entre as camadas, sendo a interpolação feita por conta do usuário.

Quanto à representação das camadas pode ser feita por meio de curvas de iso-valor (isóbatas, isópiezas, etc.), deve-se, para tanto, escolher uma equidistância apropriada para as linhas de iso-valor. Este método, entretanto, conduz a multiplicação das cartas. Para determinar a posição de uma camada é necessário três cartas da camada: de isopácas, isobátas e iso profundidade do topo.

### **3.11.2 - Seções cruzadas**

O número e a direção das seções cruzadas devem ser escolhidos com base na geomorfologia e nas estruturas geológicas, para ilustrar as relações entre os componentes das condições geotécnicas.

Todas as informações do mapa devem ser representadas na seção cruzada como: condições hidrogeológicas, unidades geotécnicas, resultado dos processos geodinâmicos; propriedades de engenharia de todas as unidades de solos e rochas. A profundidade das sondagens deve ditar a profundidade da seção cruzada.

### 3.12 – CLASSIFICAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Os documentos cartográficos geotécnicos são aqui classificados quanto à escala e quanto às fases de realização do mapeamento. Será denominado mapa o documento cartográfico que exibir o registro direto da informação coletada. Como carta compreende-se o documento cartográfico que for produto da manipulação de informações.

#### 3.12.1 - De acordo com a escala:

- Grande escala: 1:10.000 e maiores.
- Escala média: entre 1:10.000 e 1:100.000.
- Pequena escala: 1:100.000 e menores.

#### 3.12.2 - De acordo com as fases de realização do mapeamento

Quanto as fases de realização do mapeamento a classificação proposta baseai-se em três conjuntos de documentos cartográficos que representam as fases de realização do mapeamento geotécnico: inventário, diagnóstico e prognóstico. Para elaboração deste item foi fundamental a experiência acumulada com as aplicações das metodologias do IG –São Paulo e da EESC da USP. As cartas de potencial de risco, a erosão, declividade, fundações, escavabilidade, estabilidade de taludes/ocorrência de movimento de massa, carta de obras viárias/estradas, carta de obras enterradas/estocagem subterrânea e materiais de construção foram propostas por Zuquette (1987 e 1993), enquanto os mapas climáticos, de zonas de produtividade similar, de vulnerabilidade natural dos aquíferos a poluição, e disposição de resíduos sólidos (com modificações) são propostas do Instituto Geológico (1995).

### 3.12.2.1 - Mapas da fase de inventário

Nesses mapas serão representados os componentes básicos do meio físico e os fatores biológicos e sócio-econômicos importantes na elaboração dos mapas de prognósticos como uso e ocupação do solo, acessos, ocupação demográfica, etc.

A fase de inventário deve iniciar com a elaboração do mapa de documentação uma vez que esse mapa reunirá todas as informações já produzidas de interesse para o mapeamento geotécnico, definindo tipo e quantidade de dados que devem ser produzidos para um correto mapeamento geotécnico.

Os mapas que compõem a fase de inventário são apresentados a seguir.

#### 3.12.2.1.1 - Mapa de documentação

O trabalho de cartografia deve iniciar com uma revisão geral, nessa fase todos os dados, que podem ser representados de forma cartográfica, devem ser sintetizados em mapas como sondagens, estradas, escavações, etc., esse procedimento irá indicar a precisão do estudo geotécnico. Os mapas devem ser detalhados, cada ponto documentado deve ter sua natureza, profundidade, os ensaios realizados e até sua confiabilidade (para sondagens antigas em particular). São também registrados os locais onde é possível analisar o perfil, os afloramentos, os pontos de amostragem, as sondagens (de diversos tipos), as pedreiras etc..

O mapa de documentação funciona como repertório de informações geotécnicas disponíveis. O armazenamento das informações existentes sobre a forma de relatórios apresenta dificuldade de acesso e pode conduzir a sub-utilização da informação. A utilização de banco de dados geotécnicos em computadores por esse motivo é sugerido por permitir remediar esses problemas.

O mapa de documentação fornece os registros das fontes de informações usadas na confecção do mapa geotécnico. Pode-se usar um ou mais mapas para não saturá-lo de informação, na mesma escala do mapeamento ou em maior. Todas as informações utilizadas devem ser registradas.

#### 3.12.2.1.2 - Mapa topográfico

O mapa topográfico será a base cartográfica onde serão lançadas todas as informações produzidas ou catalogadas pelo mapeamento geotécnico. Sua qualidade condicionará, portanto, a qualidade de todos os mapas produzidos. Com base nas curvas de nível nele contidas será confeccionada a carta de declividade ou clinométrica.

#### 3.12.2.1.3 - Mapa geológico

Constitui a base de sistematização da maioria dos atributos do meio físico e de todas as propriedades geotécnicas. Nele estarão representadas todas as unidades geológicas existentes e suas estruturas, constitui a base para a confecção do mapa de substrato rochoso e dos materiais inconsolidados.

#### 3.12.2.1.4 - Mapa do substrato rochoso

Neste mapa serão agrupadas as várias rochas existentes na área de mapeamento em função de suas propriedades geotécnicas e não em função de suas características litoestratigráficas como no mapa geológico. Em regiões onde não existe mapas geológicos os estudos iniciais devem incorporar esse princípio tornando desnecessário o mapa geológico. Constitui a base de sistematização da maioria dos atributos do meio físico e de todas as propriedades geotécnicas, em conjunto com o mapa de materiais inconsolidados.

#### 3.12.2.1.5 - Mapa de materiais inconsolidados

Nesse mapa serão representados os materiais inconsolidados os quais são entendidos como todo o material do perfil de alteração acrescido dos materiais transportados sotopostos ao mesmo ou a rocha, na perspectiva de não ferir conceitos genéticos, de origem, formação e evolução e ao mesmo tempo adequar o conceito às necessidades de uso pela engenharia, como apregoado por Souza & Zuquette (1991).

O conceito de perfil de alteração é aqui entendido como uma seqüência de camadas de materiais, com diferentes propriedades físicas, que se desenvolvem “in situ” a partir da decomposição das rochas como resultado do intemperismo fruto de fenômenos físicos, químicos, biológicos e físico-químicos, que podem agir em conjunto ou separadamente.

Este mapa é também conhecido como mapa das formações superficiais ou de materiais de cobertura. Com base neste, serão coletadas as amostras de solo (material inconsolidado), as quais serão submetidas aos ensaios que dependerão das condições operacionais e das necessidades de cada projeto.

#### 3.12.2.1.6 - Mapa de águas superficiais

Nesse mapa serão representadas as condições hidrológicas. Com o mapa de águas superficiais pode-se conhecer o tipo e o sistema da rede de drenagem, bacias e sub-bacias, possibilidade de escoamento superficial, áreas inundáveis e outras características hidrológicas pertinentes.

É necessário conhecer ou até inferir as características químicas das águas, o que ajudará a prever sua utilização para fins potáveis, de irrigação e industriais.

#### 3.12.2.1.7 - Mapa das águas subterrâneas

Nesse mapa serão representadas as condições hidrogeológicas. As características hidrogeológicas de interesse são principalmente os aquíferos, sejam livres ou confinados, os principais tipos litológicos responsáveis pelo armazenamento, a profundidade e a espessura, as áreas de recarga, as condições de perfuração e os materiais que apresentam dificuldades para sondagens em cota superior à do aquífero.

É necessário conhecer ou até inferir as características químicas das águas, o que ajudará a prever sua utilização para fins potáveis, de irrigação e industriais.

Esse Mapa servirá de base para a elaboração de uma serie de mapas da fase de diagnóstico como mapa de áreas de recarga, mapa potenciométrico, mapa de produtividade similar, etc..

#### 3.12.2.1.8 - Mapa pedológico.

Neste mapa os materiais inconsolidados são geralmente descritos para profundidades em torno de 3 metros. Fornecem informações dos solos como: gênese, rocha matriz, composição mineralógica, porosidade e estrutura, análise granulométrica, massas específicas aparentes e real, textura, estimativa da permeabilidade, C.T.C. etc.. Podem ser extremamente úteis na estimativa da susceptibilidade à erosão.

#### 3.12.2.1.9 - Mapa geomorfológico

Como assinalado no Item 3.6 (Condições Geomorfológicas) o mapa geomorfológico pode ser abordado em dois aspectos: morfométrico e morfogenético.

Quanto ao aspecto morfométrico refere-se à influência da inclinação dos terrenos nas suas possibilidades de utilização e sobre os fenômenos de instabilidade, sendo sua expressão mais importante o mapa de declividade (ver item 3.12.2.2.9.).

Quanto ao aspecto morfogenético, os mapas geomorfológicos cartografam os processos geodinâmicos atuais ativos, além da configuração das encostas e a formação dos vales e terraços, erosão lateral dos bancos dos rios, movimento das dunas, colapso de zonas cársticas ou enfraquecidas, movimento de encostas, podendo, dependendo da área e do problema a resolver, direcionar todo o mapeamento geotécnico como ocupação de relevos acidentados ou ocupação de locais com dolinas.

#### 3.12.2.1.10. Mapas climáticos

Nestes mapas as informações devem ser apresentadas na forma de unidades climáticas, com base nas seguintes informações:

- controles climáticos: massa de ar atuante na região (Tropical Marítima, Polar, etc..) com seu índice de participação no clima na região expresso em porcentagem;
- regime pluvial: chuvoso e seco, expressos em meses;
- Altitude: por faixas mínima e máxima em metros;

Atributos climáticos de superfície:

- precipitação anual em mm: mínima, média e máxima;
- total mensal do mês mais chuvoso;
- temperatura média anual: em ° C e
- algumas outras características como: postos pluviométricos, aspectos topográficos considerados relevantes, represas, nível de urbanização, bacia hidrográfica, etc..

#### 3.12.2.1.11 - Mapa de uso e ocupação do solo

Este mapa deve apresentar as várias formas de ocupação existentes na área a ser mapeada. Exibe as áreas que são de uso público, áreas de conservação, regiões urbanizadas, áreas de expansão urbana, áreas industriais, áreas com matas nativas, as áreas de cultivo existentes, linhas de túneis responsáveis pelo conduto de líquidos, etc..

Estas informações serão úteis na tomada de decisão quando da definição das alternativas locacionais das várias atividades humanas (estradas, depósitos de resíduos, etc..).

#### 3.12.2.1.12 - Mapa de cadastros de sondagens de simples reconhecimento

Este mapa tem por objetivo localizar todas as sondagens de simples reconhecimento existentes na área a ser mapeada, gerando a base para a preservação de seus respectivos relatórios. É um mapa a ser realizado nas cidades de médio e grande porte. Poderá funcionar como cadastro inicial a ser posteriormente assumido pelos órgãos públicos, a partir de legislação pertinente que considere essas informações como bem comum e de domínio público.

#### 3.12.2.1.13 - Mapa de cadastros de poços tubulares profundos

Este mapa tem por objetivo localizar todos os poços tubulares profundos existentes na área a ser mapeada, criando condições iniciais para a preservação de seus relatórios, devendo ser realizado nas cidades de médio e grande. Poderá funcionar como cadastro inicial a ser posteriormente assumido pelos órgãos públicos, a partir de legislação pertinente que considere essas informações como bem comum e de domínio público, o que deve acontecer em um futuro

próximo, em função da regulamentação dos setor hídrico nacional que implementará a gestão desses recursos o que passa pela cobrança da água captada em poços tubulares.

#### 3.12.2.1.14 - Mapa de cadastros de áreas degradadas

Este mapa reunirá todas as áreas onde o equilíbrio dos componentes predominantemente abióticos do meio ambiente foi quebrado, entendendo-se meio ambiente como "o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, obriga e rege a vida em todas as suas formas (Lei Federal 6938/81)". Assim áreas com erosão acelerada, áreas assoreadas, cavas de mineração abandonadas, disposição ilegal e inadequada de resíduos sólidos, etc..

Estes tipo de mapa em geral exemplificam tanto as qualidades quando as fragilidades do meio físico a uma determinada atividade. Podem também servem de base para ações concretas no sentido de disciplinar ações e recuperar a qualidade de vida.

#### 3.12.2.2 - Mapas da fase de diagnóstico

Os mapas de diagnósticos tratam diretamente dos vários fatores do meio físico (atributos) necessários a uma correta avaliação das várias atividades antrópicas. São eles:

##### 3.12.2.2.1 - Mapa de zonas de produtividade similar

A produtividade de um poço executado para exploração de água subterrânea é analisada pela sua capacidade específica ( $q_s = \text{vazão}/m$ ), que é um número que reflete a potencialidade do aquífero em fornecer água. Corresponde à vazão ( $Q = m^3/s$ ) que é obtida por um metro de rebaixamento de lâmina d'água bombeada no poço, assim quanto maior a capacidade específica maior a vazão potencial de um poço. Este mapa é elaborado a partir do mapa de localização de poços tubulares profundos e mapa de geometria dos aquíferos. Para sua realização é necessário realizar ensaios de bombeamento nos vários aquíferos existentes na área a ser cartografada e a partir daí estabelecer as diferenças de produção de água existentes entre eles.

### 3.12.2.2.2 - Mapa de potencial de risco à erosão

Este documento tem por objetivo retratar o potencial à erosão de uma região, tendo como agente principal a água (chuva). Para sua elaboração dois conceitos são fundamentais: erosividade que é capacidade de erosão da chuva e de erodibilidade que representa a vulnerabilidade do solo à erosão, em função das características físicas e uso. Zuquette (1987 e 1993) estabelece os seguinte atributos para a realização desse documento:

#### a - **Natureza do Material**

- quanto maior o índice de vazios e menor a cimentação, maior a erodibilidade.
- Outros fatores: granulometria, capacidade de reter água, além da porosidade e outras.
- Fator de erodibilidade ( $K_o$ ): função dos percentuais de silte mais areia fina, percentual de areia, percentual de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade.

-Definição de Classes de Potencial de Risco à Erosão em Função do Fator de Erodibilidade  $K_o$ :

- Alta - materiais arenosos, solos com  $K_o$  alto;
- Média - materiais com predomínio de finos com  $K_o$  médio;
- Baixo - materiais argilosos com  $K_o$  baixo.

#### b - **Relevo** (grau de declividade, forma e extensão das encostas):

- Quanto maior a declividade maior o potencial de risco à erosão;
- encostas convexas coletoras (principalmente) facilitam a erosão por concentração do fluxo de água;
- quanto mais longa a encosta maior a concentração dos escoamentos.

-Definição de Classes de Potencial de Risco à Erosão quanto à declividade, forma e extensão das encostas:

- Alta - declividade maior que 12%, encostas convexas, extensão maior que 500m;
- Média - declividade de 6 a 12%, encostas côncavas de média extensão (100 a 400m);
- Baixa - declividade inferior à 6%, encostas côncavas com extensão variada, ou convexa menor que 100m.

#### c - **Cobertura Vegetal**

- interceptam a chuva e evitam escoamento superficial violento;

- auxiliam na evapotranspiração e na infiltração;
  - quanto mais densa e permanente a vegetação, menor a erosividade.
- Definição de Classes de Potencial de Risco à Erosão quanto à Cobertura Vegetal:

- Alta - culturas anuais, terras descobertas e com ocupações desordenadas;
- Média - culturas semi-permanentes;
- Baixa - cobertura vegetal natural ou reflorestamento de grande porte.

#### **d - Fatores Climáticos**

- relação entre intensidade e frequência da precipitação pluviométrica tem efeito direto na ação erosiva (grande volume em curto intervalo de tempo);
- variação brusca e acentuada da temperatura provoca fenômenos que auxiliam a erosão (ressecamento, desagregação e diminuição da resistência).

- Definição das Classes de Potencial de Risco à Erosão quanto ao Volume de Água:

- Alta - grande volume de água em períodos curtos;
- Baixa - grande volume de água, porém distribuído uniformemente.

#### **e - Ação Antrópica**

- ocupação desordenada (não criteriosa) pelo homem aumenta a vulnerabilidade à ação erosiva (exploração mineira/agrícola/urbana).

- Definição de Classes de Potencial de Risco à Erosão quanto à Ocupação Antrópica:

- Alta - ocupação desordenada, destruição das condições naturais, sem formas de proteção;
- Baixa - ocupação respeitando as condições naturais e existência de formas de proteção, ou sem ocupação.

#### **f - Ação das Águas**

A partir dos atributos expostos acima estabelece-se classes de erodibilidade a saber:

- alto potencial de risco à erosão - Inadequada;
- médio potencial de risco à erosão - Razoável;
- baixo potencial de risco à erosão - Adequada.

#### 3.12.2.2.3 - Mapa de corrosividade

Esta mapa deve ser elaborado a partir de um programa específico de coleta das águas superficiais, do lençol freático e dos aquíferos rasos, o qual deve ser seguido de ensaios específicos, os quais deverão ser sistematizados em mapas a partir da geologia e tratados em programas geoestatísticos.

#### 3.12.2.2.4 - Mapa de iso-valores de SPT

É elaborado a partir do mapa de cadastro de sondagens de simples reconhecimento, devendo ser realizado para cada Tipo Geotécnico ou Litológico (ver item 3.4), sendo a geologia (mapa de substrato rochoso e de materiais inconsolidados) a base para sistematização dos dados.

#### 3.12.2.2.5 - Mapa de profundidade do nível d'água

É elaborado a partir do mapa de cadastro de sondagens de simples reconhecimento, devendo ser realizado para cada Tipo Geotécnico ou Litológico (ver item 3.4), sendo a geologia (mapa de substrato rochoso e de materiais inconsolidados) a base para sistematização dos dados.

#### 3.12.2.2.6 - Mapa do impenetrável

É elaborado a partir do mapa de cadastro de sondagens de simples reconhecimento, devendo ser realizado para cada Tipo Geotécnico ou Litológico (ver item 3.4), sendo a geologia (mapa de substrato rochoso e de materiais inconsolidados) a base para sistematização dos dados.

#### 3.12.2.2.7 - Mapa de áreas de recarga

Deve ser realizado a partir do mapa de águas subterrâneas e da geologia (substrato rochoso e materiais inconsolidados).

### 3.12.2.2.8 - Mapa de Áreas de Várzea

Realizado a partir dos mapas geológico e geomorfológico. Pode ser também elaborado a partir do sensoriamento remoto e trabalhos de campo.

### 3.12.2.2.9 - Mapa de declividade

O Mapa de Declividade deve ser executada utilizando a técnica de facetas, por ser mais precisa que a técnica utilizada por Wentworth (1930) conforme apregoado por De Biasi (1992).

Na definição das classes de declividade, foram estabelecidos alguns critérios, divididos em três grupos, a saber:

1. O primeiro grupo de intervalos de classes de declividade são aqui definidos como limites “obrigatórios”, são as classes estabelecidas por lei, há saber:
  - a- >30%: limite máximo para urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas. (legislação federal, Lei 6766/79-Lei Lehmann);
  - b- 30 a 47%: fixa o limite de 25° (47%), como máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas. (Código Florestal, Lei nº 4771/65 de 15/09/65);
  - c- >47%: onde “não é permitida a derrubada de florestas,... só sendo tolerada a extração de toros, quando em regime de utilização racional, que vise a redimentos permanentes”. (Artigo 10 do Código Florestal).
2. O segundo grupo de classes é sugerido por De Biasi (1992):
  - a- <5%: limite urbano industrial usado internacionalmente;
  - b- 5-13%: limite de 13% como máximo para emprego de mecanização na agricultura.
3. O terceiro grupo de classes considerado foi o definido com base nas recomendações do uso e restrições e/ou problemas esperados, Tabela 3.12, resultado de anos de experiência (Zuquette, informação verbal) e compilado pelo Instituto Geológico (1993).

Tabela 3.12 - Classes de declividade definidas em função das recomendações do uso e restrições e/ou problemas esperados, (Instituto Geológico 1993).

CLASSES DE DECLIVIDADE	RECOMENDAÇÕES DE USO E RESTRIÇÕES E/OU PROBLEMAS ESPERADOS
<2% Terrenos planos ou quase planos, onde o escoamento superficial é muito lento ou lento.	-Favorável a implantação de aeroportos internacionais. -Favorável a atividade agrícola intensiva e ao uso de máquinas agrícolas. -Áreas impróprias às instalações de saneamento e canalizações subterrâneas de água. -Áreas sujeitas a inundação.
2-5% Terrenos com declividades suaves nos quais o escoamento superficial é lento ou médio e os problemas de erosão requerem práticas simples de conservação.	-Favorável ao uso agrícola mecanizado. -Favorável a implantação de aeroportos locais, rodovias e ferrovias principais.
5-10% Terrenos inclinados, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial é médio e rápido, porém com poucos problemas de erosão superficial.	-Exige práticas simples de conservação, exceto no caso de utilização agrícola intensiva, onde medidas mais complexas devem ser adotadas. -Corresponde ao limite máximo para a implantação de saneamento, ferrovias e indústrias. -Favorável ao uso de máquinas agrícolas.
10-15% Terrenos muito inclinados ou colinosos, onde o escoamento superficial é rápido. Apresentam problemas de erosão superficial, exceto quando ocorrem solos permeáveis e pouco arenosos.	-Propício para o uso de máquinas agrícolas, ainda que com dificuldade. -Áreas recomendadas para culturas perenes, pastagens ou reflorestamentos. -Limite de vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível. -Limite máximo para a implantação de projeto de engenharia simples e pouco complexos.
15-20% Terrenos fortemente inclinados onde o escoamento superficial é muito rápido, com problemas de erosão superficial.	-Propício para a implantação do sistema viário local. -Propício a implantação de lotes paralelos às curvas de nível. -Classe limite para a implantação de residências individuais e estradas.
20-25% Terrenos fortemente inclinados com escoamento superficial muito rápido, e com problemas de erosão superficial.	-Classe limite para estruturas de engenharia.
25-30% Terrenos fortemente inclinados com escoamento superficial muito rápido, susceptível a processos erosivos.	- Classe limite máximo por lei para ocupação de encostas sem projetos especiais.
30-47% Terrenos íngremes com escoamento superficial muito rápido, sujeito a movimentos de massa e queda de blocos.	-Classe limite para operação de veículos tracionados, uso como áreas de recreação ou qualquer tipo de ocupação. -Limite máximo para corte raso de madeira, sem projeto de exploração sustentada.
47-70% Terrenos muito íngremes ou escarpados, com desenvolvimento de solos muito rasos e extremamente susceptível à erosão.	- Unidades de conservação
>70% Terrenos escarpados, em geral sem o desenvolvimento de solos e com exposição de rocha.	- Unidades de conservação

Com relação ao limite máximo de declividade para uso de máquinas agrícolas, observa-se uma variação entre 12 e 15%, dependendo do nível tecnológico que se dispõe e das características do meio físico que apresenta tal declividade, considerando-se nesse trabalho o limite de 15%.

A partir da consideração dessas três classes de declividade, propõe-se os intervalos aqui classificados como “ideais” para uma carta de declividade de multifinalidades, Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Intervalos “ideais” para uma carta de declividade de multifinalidades.

<b>Intervalos “Ideais”</b>
0-2%
2-5%
5-10%
10-15%
15-20%
20-25%
25-30%
30-47%
>47%

Entretanto, De Biasi (1992) sugere que não se trabalhe com mais de 6 classes de declividade para não introduzir “ruídos” em demasia. Argumenta-se, no entanto, que nem todos os terrenos apresentam ocorrências significativas das classes.

#### 3.12.2.2.10 - Mapa de profundidade do substrato rochoso

Este documento deve ser confeccionado a partir do mapa de materiais inconsolidados e do mapa de cadastro de sondagens de simples reconhecimento e poços tubulares profundos. Este mapa é extremamente útil no projeto de instalação de infra-estrutura urbana e no planejamento de escavações, em geral, principalmente em regiões que apresentam a ocorrência de rochas duras.

#### 3.12.2.2.11 - Mapa de faixas de proteção permanente dos corpos d’água

Este documento deve ser confeccionado a partir do mapa de águas superficiais e assinalará as áreas no entorno dos corpos d’água que deverão ser permanentemente protegidas. Como referência pode-se utilizar o Código Florestal que estabelece como largura da faixa de preservação permanente o seguinte:

- De 30 (trinta) metros para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura.

- De 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura.
- De 100 (cem) metros para os cursos que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura.
- De 200 (duzentos) metros para os cursos que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura.
- De 500 (quinhentos) metros para os cursos que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

#### 3.12.2.2.12 - Mapa de expansibilidade

Deve ser elaborada a partir dos mapas de materiais inconsolidados e substrato rochoso, separando os locais onde os materiais apresentam esta propriedade em nível que possa comprometer as atividades humanas.

#### 3.12.2.2.13 - Mapa de formas e comprimento das encostas

Este mapa tem sido elaborado a partir de fotografias aéreas, hoje pode ser confeccionado a partir de modelos digitais do terreno elaborados em sistemas de informações geográficas, a partir da digitalização de curvas de nível, os quais apresentam maior precisão e maiores possibilidades de manipulação das informações.

#### 3.12.2.2.14 - Mapa de salinização

Esta mapa deve ser elaborado a partir de um programa de prospecção geofísica (métodos elétricos – principalmente) e de coleta das águas superficiais, a qual deve ser definida a partir do mapa de águas superficiais e de leitura crítica do ciclo hidrológico da região. Estas atividades devem ser seguidas da realização de análises de salinização. O conjunto dos resultados obtidos deverá ser sistematizado em função da geologia, o que poderá ser feito em um sistema de informações geográficas.

#### 3.12.2.2.15 - Mapa de grau de alteração

Este documento deve ser confeccionado com base no mapa do substrato rochoso e quando necessário em ensaios específicos cujo programa de amostragem deve ser ditado pela geologia.

#### 3.12.2.2.16 - Mapa de canais/km<sup>2</sup>

Este mapa pode ser confeccionado a partir do mapa de águas superficiais em um sistema de informações geográficas.

#### 3.12.2.2.17 - Mapa de densidade de fraturamento

Pode ser realizado a partir do mapa de substrato rochoso em um sistema de informações geográficas.

#### 3.12.2.2.18 - Aspectos gerais

Muitos desses mapas podem ser o resultados da utilização das ferramentas do Sistema de Informações Geográficas, sobre os mapas de inventário, como por exemplo o mapa de canais por km<sup>2</sup>, o qual pode ser feito a partir do mapa de águas superficiais; outros já serão fruto de trabalho específico como o mapa de corrosividade que necessitará para sua elaboração um programa de amostragem associada a ensaios de laboratório e tratamento geoestatístico dos dados. Ressalta-se entretanto que o mapa de canais por km<sup>2</sup> pode ser também elaborado a partir de produtos de sensores remotos como fotografias aéreas e imagens de satélite

Tabela 5.14 - Tipos de atributos e fatores de ocupação, com ordem de importância (Zuquette & Gandolfi 1990a).

Fatores Relacionados a Ocupação		Fundações	Escavabilidade	Deposição de Rejeitos	Estradas	Obras Enterradas	Estabilidade de Taludes	Materiais para Construção	Erodibilidade	Irrigação	Poluição	Loteamento	
Atributos													
1ª Parte	Tipo de Material	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Natureza e Perfil da Unidade	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	
	Espessura do Material Inconsolidado (m)	0	0	0	0	0	0	0	1	1		1	
	Profundidade do NA (m)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	Declividade e Sentido (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Permeabilidade						1	0		1	0		0
	Expansividade	0		1	0	0	0	0	0	1			0
	Compressividade	0		1	0	0	0	0	0				1
	Suporte	0				1	1						0
	Corrosividade	1					0						
	Áreas de Inundação		1	0		1						0	0
	Movimento de Terrenos	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1		0
	Formas e Comprimento das Encostas							0					0
2ª Parte	Áreas de Recarga			0	1					0	0	0	
	C.T.C			0					0	0	0		
	Dados Climáticos			1			0			0	0		
	Salinização					1			1				
	Grau de Alteração						1	0		0			
	Capacidade de Campo e de Murchamento			1							1		
	Canais/Km				0							0	
	Fratramento Estrutural			1			0	0		1	1		
	Bacias Hidrográfica			1								0	0

Obs: 0-Fundamentais e 1-Secundários

### 3.12.2.3 - Cartas da fase de prognóstico

São mapas de aptidão ou adequabilidade a uma determinada atividade, representam o confronto entre os vários fatores representados nas fases anteriores com os vários processos tecnológicos necessários ao desenvolvimento das atividades humanas. Estes documentos serão utilizados diretamente pelo público em geral.

Os mapas de prognóstico são elaborados a partir da combinação de atributos do meio físico (além de atributos sócio-econômicos e biológicos mapeáveis e de interesse) por sobreposição e transposição dos dados existentes nos mapas os quais devem ser digitalizados e agrupados em sistema de informações geográficas, a partir do qual, por processo automático, são definidas as várias potencialidades e limitações do meio físico a atividade analisada.

No processo de cruzamento automático dos atributos, cada elemento (atributo) do meio ambiente mapeado deve receber pesos de acordo com sua importância para atividade proposta Tabela 3.14 (Zuquette & Gandolfi 1990 a). Esses pesos devem ser ponderados por exemplo com base no método de combinação expresso na Figura 3.7 (Aguiar 1989).

Cada unidade de adequabilidade à atividade analisada deve ter representada na legenda as características que possam significar desconomias e problemas de segurança durante as fases de execução e/ou operação da atividade, além de perigo à qualidade ambiental. Busca-se dessa forma evitar resultados subjetivos e quantificar melhor a inter-relação homem/meio físico.

#### 3.12.2.3.1 - Carta para fundações

##### **1 - Considerações Gerais**

- Objetivo: orientar investigação local, para projetos de fundações através do estabelecimento de classes de aptidão.
- Tipos de fundações: superficiais e profundas.
- Diminuir: custos, tempo e número de situações a estudar.
- Capacidade de carga/recalque: função da forma, dimensões e profundidade.
- Fornecer valores de capacidade de carga pode induzir a erros e deve ser evitado.
- Informações por área, análise pontual.
- Dados quantitativos devem ter fontes citadas e/ou justificadas.

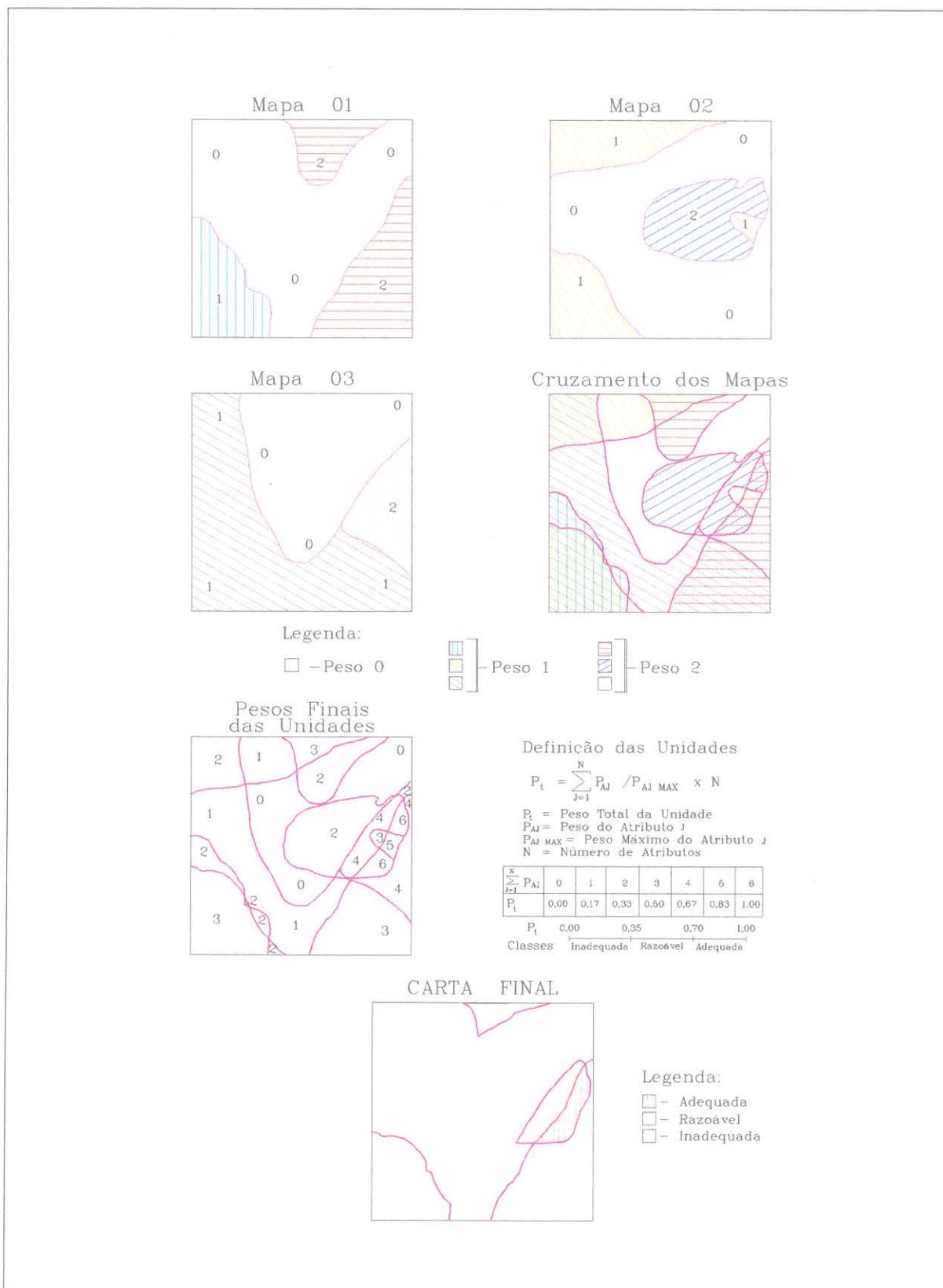


Figura 3.7 - Método de ponderação de atributos (Aguiar 1989).

- Para cada nível: seleção de tipo de fundação.
- Para o primeiro nível, fundações superficiais; para os demais, profundas.

## 2 - Atributos.

### a - Material inconsolidado ao longo do perfil.

- considerar natureza, espessura, colapsividade, expansibilidade, camadas orgânicas, corrosividade etc.;
- material superficial compactado, uso de fundações superficiais, quando não houver camada subjacente de material compressível ou de menor resistência. Caso contrário, as fundações devem ir até um nível mais resistente;
- Estimar a resistência/suporte.

### b - Profundidade do substrato rochoso

- Definir faixas com limites máximos e mínimos.

### c - Características do substrato rochoso

- analisar descontinuidades, inclinação do topo, resistência/suporte, tipo de litologia.

### d - Águas

- verificar a profundidade do NA e potencial de corrosividade.

### e - Relevo (declividade)

## 3 - Classe de Aptidão: segundo a Tabela 3.15.

### 3.12.2.3.2 - Carta para escavabilidade

#### 1 - Considerações Gerais

-Objetivo: apresentar as condições de escavabilidade dos terrenos, seja para obras enterradas ou outras finalidades.

-Os materiais devem ser considerados em classes segundo: facilidade de serem escavados, condições de escavação e equipamento exigido.

#### 2 - Atributos

- material inconsolidado - pode ser escavado por equipamentos simples, sem explosivos ou equipamentos mecânicos pesados;
- material rochoso - considerar: litologia, intemperismo e fraturamento

Tabela 3.15 - Relação entre atributos e classes de aptidão da carta para fundações, (Zuquette 1993).

COMPONENTE	CLASSE	Favorável	Moderado	Severa	Restritiva
	ATRIBUTOS				
Substrato Rochoso	Tipo Litológico				Calcário
	Inclinação do Topo Rochoso	<5%	5-8%	>8%	>12%
	Profundidade (m)	<2	5-10	<15	>15
	Descontinuidades	Poucas e com baixa inclinação	Médias	Muitas	Muitas e com inclinação desfavorável
	Minerais Expansivos	Não	Poucos	Considerável	
	Resistência/ Suporte	0,6-10 mPa	Média	Baixa	< 0,05 mPa
Materiais Inconsolidados	Textura/Consistência				Arenosa/Fofa Argila/Mole
	Variação no perfil de alteração	Progressiva para a rocha alterada e são.			Homogêneo
	Presença de Matacões	Não	Ocorre Pequenos	Ocorre Grandes	Ocorre muitos e Grandes
	Índice de Vazios (Colapsividade, recalque)	Ocorre mas em camada < 1m	< 2m	<4m	>5m
	Camada Orgânica	Não	Ocorre em Superfície (<2m).	Ocorre (<5m)	Ocorre
	Expansibilidade	Baixa	Média	Média	Alta
	Resistência Suporte de Acordo com a Variação	Alta SPT > 25	Média		Baixa SPT <5
	Colapsividade e Camadas Compressíveis	Não	Ocorre em Superfície (<2m)	Ocorre (< 5m)	Ocorre
Água	Corrosividade	Classe Favorável			Classe Restritiva
	Prof. do NA (m)	>15			<2
Relevo	Corrosividade	Classe Favorável			Classe Restritiva
	Declividade (%)	<5	5-10	10-20	>20

### 3 - Definição de classes:

- alta dificuldade de escavação - necessários explosivos e equipamentos especiais (rocha são ou pouco alterada);
- dificuldade razoável - rochas intemperizadas e/ou altamente fraturadas; rochas brandas;
- facilmente escavável - material inconsolidado.

#### b - Profundidade do substrato

#### c- Profundidade do NA

- condiciona o uso de equipamentos especiais.

#### d – Declividade

- áreas íngremes dificultam o uso de equipamentos.

e - **Outros atributos** (qualidade das vias de acesso, dimensões da área, lentes de matéria orgânica etc.).

### 3 - Classes de aptidão: segundo a Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Relação entre atributos e classes da carta para escavabilidade, (Zuquette 1993).

COMPONENTE	CLASSE	Favorável	Moderado	Severa	Restritiva
	ATRIBUTOS				
Substrato Rochoso	Tipo Litológico	Filito; Xisto	Quartzito	Ardósia	Gnaisse
	Profundidade (m)	>5	<5	<1	>0,5
	Descontinuidades (JV)	Muito alto	Médio	Baixo	Baixo
Materiais Inconsolidados	Textura	Arenosa fina	Média	Argilosa	Muito argilosa
	Camadas Laterizadas	Não	Pouco espessa e Baixa densidade	Alta densidade	Espessa e Alta densidade
	Presença de Matacões	Não	Poucos e Médios	Grandes	Muitos e em Superfície
	Índice de Vazios (Colapsividade, recalque)	Ocorre mas em camada < 1m	< 2m	<4m	>5m
	Camada Orgânica	Não	<0,5m	1m	>1m
	Expansibilidade	Baixa	Média	Média	Alta
Água	Grau de Compactação	Baixo	Médio	Alto	Alto
	Prof. do NA (m)	>5	<4	<2	<1
Relevo	Drenabilidade	Boa Zonas Secas			Má Zonas Úmidas
	Declividade (%)	<8	8-15	15-20	>20

#### 3.12.2.3.3 - Carta para estabilidade de taludes/ocorrência de movimentos de massa

##### 1 - Considerações Gerais

-Objetivo: retratar condições de estabilidade de taludes; ocorrência de movimentos de massa naturais, fornecer potencial de estabilidade e prever problemas de movimentos de massa.

##### 2 – Atributos

###### a - Condições Morfológicas

- declividade mais marcante influi indiretamente na erosão, umidade do solo, relação água infiltrada/escoada, ângulo de incidência da radiação solar;
- condições morfológicas são importantes, não necessariamente determinantes.

###### b - Tipo de Material

- conjunto solo/rocha pode apresentar diferentes níveis de umidade e densidade, o que afeta a resistência ao cisalhamento.

###### c – Condições Estruturais

- alternância de materiais;
- inclinações das camadas;

- fraturas, falhas, juntas e acamamentos;
- intercalações de materiais compressíveis e expansivos;
- descontinuidades dos materiais.

#### **d - Condições Hidrológicas**

- Infiltração d'água, afetam a resistência do maciço;
- movimento d'água subterrânea;
- fontes d'água indicam zonas de fraqueza.

#### **e - Efeitos Climáticos**

- precipitação, temperatura, vento - influenciam na erosão, umidade, ação intempérica e, conseqüentemente, na resistência.

#### **f – Geometria**

- afeta diretamente a extensão e inclinação do talude e sua maior ou menor facilidade à erosão.
- condiciona equilíbrio de tensões.

#### **g - Cobertura Vegetal**

- melhora condições de estabilidade, pois aumenta a proteção da superfície, dificulta ação erosiva e diminui a infiltração da água.

#### **h - Atividades Antropogênicas**

- atividades humanas alteram condições de estabilidade, tais como: retirada da vegetação, remoção da parte superficial dos materiais e modificações da geometria das encostas, modificando a estabilidade;

#### **i - Técnicas Construtivas**

- modo e velocidade de escavação, compactação, sistema de drenagem, e a forma de lançamento do material, afetam: pressão neutra, umidade, fluxo de água, valor de recalque, resistência e equilíbrio geral.

#### **j – Carregamentos**

- cargas (estáticas e dinâmicas) alteram: pressão neutra, fluxo aquoso e recalques.

#### **h - Condições Anteriores**

- Trabalhos anteriores devem ser analisados, assim como fotos aéreas de outras épocas, a fim de verificar indícios de movimentos que tenham ocorrido anteriormente.

### 3 - Classes de Aptidão:

- áreas estáveis - não apresentam condições naturais inadequadas;
- áreas preliminarmente estáveis - apresentam um atributo desfavorável à estabilidade;
- áreas potencialmente instáveis - apresentam vários atributos inadequados à estabilidade.

#### 3.12.2.3.4 - Carta de materiais para construção civil

##### 1 - Considerações Gerais

Objetivo: delimitar ocorrência de materiais inconsolidados e rochosos da região, que apresentam boas possibilidades de uso e os locais mais favoráveis para exploração.

- Deve conter dados das condições de uso de material para transformação e como agregados.

- Características dos materiais é função da mineralogia e suas relações, estruturas, descontinuidades e grau de alteração.

##### 2 – Atributos

###### a - Tipo de Material

- inconsolidados: como material para transformação - areia (vidros), e finos (cerâmica comum/refratários, e olarias); como material para agregados (concreto, pavimento etc.);
- rochosos: como material para transformação (ornamentais); como materiais para agregados (concreto, pavimento, lastro de ferrovia, gabiões, enrocamento e “rip-rap”).

###### b - Natureza do Material

- agregados miúdos: devem ser constituídos de minerais estáveis (quartzo, zircão, magnetita, ilmenita, rutilo e outros) e com ausência de deletérios (sulfetos, sulfatos, sílica amorfa, etc.) e, ainda, isentos de material carbonoso, torrões de argila, materiais finos, impurezas orgânicas e de minerais de fácil intemperismo (olivinas, piroxênios e anfibólios);
- agregados graúdos: a resistência diminui com o aumento de porosidade, das estruturas planares, do tamanho dos grãos e de minerais moles;
- material rochoso: para os diversos usos, apresentam fatores limitantes (minerais deletérios; filossilicatos em porcentagem além do limite de acessórios). Parâmetros:

dureza média da rocha, contraste de dureza, microfissuras, dimensão dos grãos e particularidades petrográficas.

**c - Espessura do Material Inconsolidado**

- Limitante para exploração do substrato.

**d – Expansibilidade**

-Definição de Classes: função do tipo e emprego dos materiais da região.

3.12.2.3.5 - Carta para obras viárias/estradas

**1 - Considerações Gerais**

- Objetivo: registrar informações que podem afetar técnica e economicamente a obra.

-Uso: planejamento regional, inventário, anteprojeto.

-Atributos agrupados em 3 grupos: traçado, subleito e aterros (sub-base, reforço, etc.).

**2 – Atributos**

• **Traçado**

**a - Declividade (d)**

- necessidade maior ou menor de aterros e cortes.

- Definição de Classes quanto à declividade

- 1ª Faixa -  $< 5\%$ , adequada a quase todos os tipos de estradas.

- 2ª Faixa -  $5\% < d < 10\%$  (estradas de baixa velocidade). Apresentam obras que oneram o projeto.

- 3ª Faixa  $d > 10\%$ , deve ser evitada.

**b - Áreas Instáveis**

- analisar áreas com potencial de escorregamentos (segundo Carta de Estabilidade de Taludes; Ocorrência de Movimentos de Massa).

**d - Materiais Inconsolidados**

- pequenas espessuras  $< 2$  metros e/ou presença de matações ou detritos-rochosos condicionam o uso de equipamentos especiais e alto custo para corte e aterro.

**e - Substrato Rochoso**

- Características importantes: litologia, extensão, fraturamentos, descontinuidades, intemperismo e resistência mecânica.
- É importante quando: profundidade menor que 15m e declividade inferior a 5%; ou qualquer profundidade se a declividade for maior que 5%.

#### **f - Condições Hidrológicas e Drenagem Superficial**

- número de canais/km condiciona cortes e aterros;
- importante observar: perenidade e processo de erosão dos fundos e margens dos canais.
- problemática: maior que 3 canais por quilômetro.
- Considerar as características da bacia (métodos hidrológicos).

#### **g - Custos do Terreno**

- ocupação condiciona os custos.

#### **h – Escavabilidade**

- segundo a Carta de Escavabilidade.

#### **Subleito**

##### **a – Drenabilidade**

- má drenabilidade: terrenos planos, impermeáveis, NA aflorante, quando a drenabilidade dos terrenos é má, as condições do subleito são deficientes.

##### **b - Expansibilidade e Compressibilidade**

- em presença de argilominerais dos tipos 2:1, 2:2 ou 1:1 sanfonados, poderá haver aumento de volume. Estes locais devem ser evitados ou tratados convenientemente;
- ocorrência de matéria orgânica leva, no geral, a trabalhos de remoção.

##### **c – Resistência**

- boa para suporte - CBR maior que 25%; SPT superior à 10; densidade relativa acima dos 30% e grau de compactação maior que 90-95%.

##### **d - Materiais Inconsolidados**

-Definição de Classes:

- pouco espessos - menor que 2 metros.

#### **Aterros ( Sub-base, Reforços)**

##### **a - Posição (Local)**

- áreas planas - problemas de drenabilidade.
- cortes/aterros, afetam estabilidade do conjunto solo-rocha.

#### b – Material

- servem ou não como material de construção.
- os materiais compactados devem apresentar as seguintes características: - CBR > 60%; permeabilidade <  $10^{-5}$  cm/s; expansibilidade inferior à 0,1%; compressibilidade (LL < 30%;  $5\% < IP < 10\%$ ).
- classes de materiais segundo: HRB, SUCS e MCT, para uso no mapeamento.

### 3 - Classes de Aptidão

Classe 1 - três ou mais atributos desfavoráveis, porém contornáveis tecnicamente, com exceção da declividade.

Classe 2 - dois atributos desfavoráveis, porém contornáveis tecnicamente, com exceção da declividade;

Classe 3 - um atributo desfavorável, com exceção da declividade;

Classe 4 - declividade desfavorável;

Classe 5 - camadas compressíveis e materiais expansivos problemáticos;

Classe 6 - nenhum atributo desfavorável.

#### 3.12.2.3.6 - Carta para obras enterradas/estocagem subterrânea

##### 1 - Considerações Gerais

-Objetivo: indicar a existência de fatores capazes de alterar custos e qualidade dos materiais usados na obra (ferro, cimento etc..).

-Obras enterradas: total ou parcialmente em contato com materiais do meio físico.

##### 2 – Atributos

###### a - Profundidade e características do substrato

- afetam custos e condicionam equipamentos;
- zonas de fraqueza favorecem deslocamentos da obra;
- reações químicas entre rocha e materiais de construção é desfavorável;
- água de percolação da rocha pode atacar materiais de construção.

###### b - Materiais Inconsolidados

- matacões e blocos trazem problemas às escavações;
- camadas de texturas diferentes alteram o NA e a zona de aeração, provocando alterações nos materiais de construção;
- camadas compressíveis/expansíveis provocam recalques;
- materiais ricos em sulfato de Mg e Na produzem CO e ácidos minerais e orgânicos que atacam materiais de construção;
- baixa resistividade elétrica auxilia processo de corrosão.

-Definição de classes:

- Franca agressividade - acidez  $> 20$  (Bauman - Gully);  $2000 < \text{SO}_4 < 5000$  (mg/kg de solo seco);
- Forte agressividade -  $\text{SO}_4 > 5000$  mg/kg de solo seco.

#### c – Águas

- nível d'água e composição química podem alterar material de construção;
- profundidade do NA pode causar necessidade de bombeamento;
- variação do NA e da zona de aeração, ataca material de construção;
- concentração diferenciada provoca potencial elétrico, o que acelera corrosão.

#### 3.12.2.3.7 - Carta de áreas preferenciais à disposição de resíduos sólidos domésticos

Este documento tem a finalidade de orientar os possíveis usuários sobre as variações do meio físico e sua interferência na instalação de aterros sanitários. Nele são estabelecidas áreas com maior possibilidade de receber resíduos sólidos urbanos provocando o mínimo de degradação ambiental. Após a escolha das melhores áreas estas devem receber estudos detalhados para a efetivação da instalação da obra.

A Tabela 3.17 exhibe os atributos analisados para a avaliação dos terrenos associados a três classes de adequabilidade, a qual foi elaborado com base nas propostas do Instituto Geológico (1995) e IPT (1995). Para seleção e eliminação de atributos sugeridos utilizou-se como critérios a segurança ambiental e o detalhamento quantitativo.

Tabela 3.17 - Classes de adequabilidade à localização de áreas preferenciais para instalação de aterro sanitário (baseada em Instituto Geológico 1995 e IPT 1995).

ATRIBUTOS FUNDAMENTAIS	CLASSES DE ADEQUABILIDADE		
	ADEQUADO (Recomendado)	RAZOÁVEL (Recomendado com restrições)	INADEQUADO (Não recomendado)
Capacidade de troca catiônica	ALTA (>15 emg/100g de solo)	MÉDIA (5 A 15 emg/100 g de solo)	BAIXA (<5 emg/100 g de solo)
pH	Intermediário (6 a 8)	Ácido ou básico (<6 e >8)	
Espessura do material inconsolidado	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Profundidade do nível d'água	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Declividade	2-5%	5-10%	<2% e >10%
Áreas de recarga de aquíferos	Distante	Próximo, somente de houver proteção	Próximo
Áreas de proteção ambiental	Distante	Próximo, somente de houver proteção	Próximo
Vida útil	Maior que 10 anos	10 anos a critério do órgão ambiental	
Distância do gerador	Entre 10 e 20km*		Maior que 20 km*
Distância de núcleos habitacionais	Maior que 500m	Menor que 500m	
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valor da terra	Baixo*	Médio*	Alto*
Aceitação popular e de suas entidades	Boa	Razoável	Inaceitável
Distância aos cursos d'água	Maior que 200m	Menor que 200m, com aprovação do órgão ambiental responsável	
Condutividade hidráulica do subsolo	$10^{-9}$ m/s** $10^{-8}$ m/s*	$5 \times 10^{-7}$ m/s** $5 \times 10^{-7}$ *	$>5 \times 10^{-7}$ m/s*

(\*): critérios aplicáveis a aterros de resíduos classe II

(\*\*): critérios aplicáveis a aterros industriais classe I

### 3.12.2.3.8 - Carta de vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Este documento é baseado no método de definição da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas estabelecido por Forster & Hirata (1991).

Este método engloba três fatores, como mostra a Figura 3.8.

A primeira fase consiste na identificação dos tipos de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0,0 a 1,0.

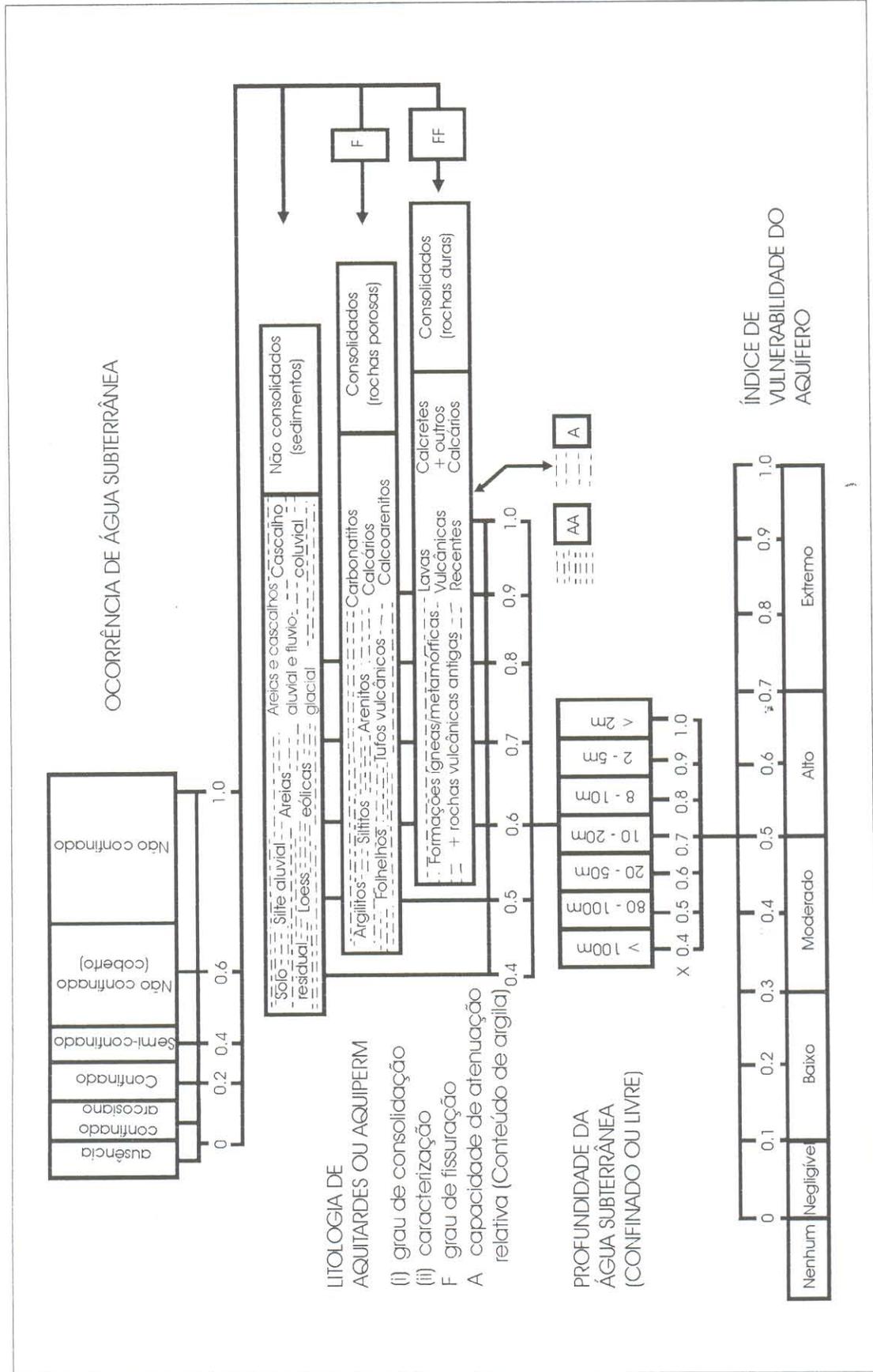


Figura 3.8 - Método de determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos à poluição (Foster & Hirata 1991).

A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com discriminação do grau de consolidação (presença ou ausência de permeabilidade por fissura) e das características granulométricas e litológicas. É representada numa escala 0,4 a 1,0.

A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou teto do aquífero confinado), numa escala 0,4 a 1,0.

O produto destes três parâmetros representa o índice de vulnerabilidade, expresso numa escala de 0,0 a 1 em termos relativos.

Os índices de vulnerabilidade são representados em mapa com escala 1:50.000, onde são delimitadas as áreas de igual vulnerabilidade natural.

Este método de estimativa de vulnerabilidade é simplificado e por isso deve ser interpretado com cuidado. Sua validade técnica pode ser assumida desde que fique claro que este índice não se refere a contaminantes móveis e persistentes, que não sofrem retenção significativa ou transformação durante o transporte em subsuperfície. Considera-se que este sistema de classificação e mapeamento de aquíferos, com base em um só índice de vulnerabilidade natural, pode ser útil a nível de reconhecimento.

### 3.13 - O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO UM PROCESSO DINÂMICO

O processo de planejamento deve proporcionar a estrutura básica para que as informações geológicas e geotécnicas possam chegar aos políticos e aos órgãos de decisão. Esse processo consiste em uma análise dinâmica e um mecanismo de controle, uma vez que é a aplicação de uma metodologia de planejamento dinâmico para desenvolver soluções para problemas urbanos e regionais, sendo formada por quatro fases:

- 1 - formação de metas e objetivos que possam ser aplicados;
- 2 - identificação de áreas tanto de restrições como de oportunidades;
- 3 - formulação de recomendações políticas e
- 4 - implementação de programas formulados para atingir as metas e objetivos.

Para que o processo de planejamento seja dinâmico e eficaz é necessário que tenha participação ativa dos atores sociais afetados pela atividade proposta, os quais podem variar de caso a caso, podendo – entretanto – ser formados num sentido amplo pela comunidade,

planejadores, especialistas técnicos e políticos, em cada uma dessas fases (especialmente na fase de implementação). A Figura 3.9 esquematiza o processo de planejamento.

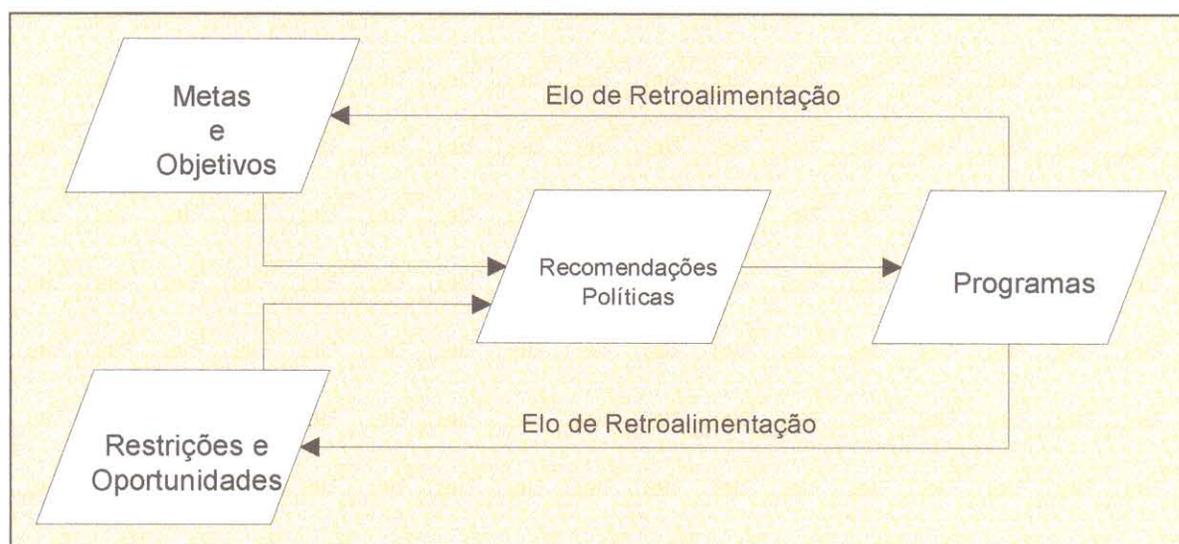


Figura 3.9 - Organograma esquemático dos processos de planejamento (segundo Mathewson & Font 1973)

A cartografia geotécnica, assim como a geologia de engenharia, deve se apoiar na geologia básica e num profundo "background" extraído das ciências aplicadas. Evitando abordagens que apenas apresentem relatos da existência de problemas, sem mostrar suas soluções, o que faz com que não sejam utilizadas pelas partes envolvidas no planejamento.

A linguagem geológica clássica deve ser evitada ao máximo por ser não compreendida por planejadores urbanos, consultores de planejamento, funcionários públicos e a comunidade em geral, para os quais é confusa, buscando-se sempre facilitar a divulgação com a comunidade em geral.

Objetivando melhor utilizar o conhecimento geológico/geotécnico na tomada de decisão quanto ao melhor uso do solo a um menor custo, faz-se necessário que as informações contidas nos mapas geotécnicos de prognósticos devem ser apresentadas numa forma que possa ser diretamente aplicada pelos atores sociais responsáveis pela tomada de decisão, sendo fundamental, para isso, além de linguagem adequada, um programa de comunicação social que aproxime os técnicos responsáveis pela execução do mapeamento dos atores sociais.

Outra questão fundamental é que as informações contidas nos mapas de inventário e diagnóstico devem ser entendidas – não como uma verdade a ser mantida – mais sim como uma base de dados técnicos contínua a ser atualizada periodicamente. Neste processo as cartas de adequabilidade devem ser reeditadas periodicamente com o surgimento de novos dados.

### 3.14 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Capítulo encerra o esboço inicial do que pode vir a constituir-se em uma nova proposta metodológica de cartografia geotécnica ou em documento de consulta com vistas a estabelecer complementações às propostas metodológicas existentes. Em estudos posteriores podem ser avaliadas as inúmeras aplicações das metodologias internacionais e outras aplicações de cartografia geotécnica não inseridas nas metodologias mais gerais, na perspectiva de torná-la sempre atual e mais precisa no que concerne às avaliações a que se propõe.

## 4 - MÉTODO APLICADO

### 4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os vários critérios metodológicos que nortearam o presente trabalho, foram assentados nos princípios estabelecidos pelas principais metodologias ditas gerais (IAEG, Australiana, Francesa, EESC-USP, IPT e IG-SP) vinculados as condições sócio-econômicas e impostas pelo meio físico vigentes na área objeto desse estudo, de modo a sistematizar as informações produzidas e coletadas na perspectiva de definir atributos a serem analisados e os documentos a serem elaborados em função dos problemas existentes ou de demandas futuras, fruto da interação homem/meio físico.

A aplicação de conceitos e técnicas desenvolvidas em regiões de clima temperado, tem encontrado diversas dificuldades quando utilizadas de modo direto em climas tropicais. As principais limitações advêm dos fatores climáticos e de outras características do meio físico incompatíveis com as condições, segundo as quais esses conceitos e técnicas foram elaborados. Entretanto o fator de maior importância é sem sombra de dúvidas as diferenças sócio-econômicas observadas; geralmente, nas regiões tropicais temos os países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento e nas regiões temperadas os países desenvolvidos.

Essas diferenças refletem-se na quantidade e na qualidade (nela incluída o detalhamento) das várias informações necessárias a cartografia geotécnica, neste sentido não raramente nos países desenvolvidos é possível executar mapas geotécnicos, apenas com base em informações produzidas por terceiros, como bem exemplifica o trabalho produzido por Nickless (1982) que executou em apenas 2 meses o mapeamento geotécnico do distrito de Glenrothes, 5ª Região da Escócia, produzindo nesse período 18 cartas básicas, 4 cartas derivadas, e 5 cartas de potencial de ambiental com destaque para as cartas de: propriedades de engenharia dos depósitos inconsolidados, geologia dos maciços rochosos, solapamento pouco profundo, potencial de escorregamento natural de terra, hidrogeologia, potencial dos depósitos subterrâneos dentro de 100m abaixo da superfície, condições de fundação; recursos de água subterrânea, potencial de desenvolvimento, etc..

Enquanto Glenrothes apresenta mapeamentos geológicos em escala 1:10.560 de 1858 a 1867, de 1926 a 1946, e de 1966 a 1969; a RMB, só em 1979 (CODEM) teve uma primeira proposta de mapeamento geológico na escala 1:50.000; infelizmente as sondagens e poços tubulares, executados em grande quantidade - todos os anos - não são sistematizados por nenhum órgão governamental, desperdiçando-se assim, valiosa informação sobre o meio físico da cidade. Como estas, muitas outras informações são extraviadas ou já não apresentam sua localização geográfica assegurada, sendo deste modo, necessário produzir um grande número de informações quantitativas e qualitativas, que se não tornam o mapeamento geotécnico inviável, o tornam lento e carente de um processo de cartografia sistemático de médio prazo, para que possamos chegar próximo ao nível de detalhe obtido nos países desenvolvidos.

Outra diferença marcante é a grande escassez de recursos e o excesso de demanda observado na Região Norte do Brasil, o que se por um lado torna impossível – pelo menos em iniciativas acadêmicas dessa ordem – apresentar um conjunto de mapas que auxiliem a todos os problemas de cartografia existentes, por outro dá relevo a qualquer produto cartográfico gerado em função das necessidades prementes existentes e, no geral, da falta de critério no uso e exploração dos recursos naturais (exploração clandestina e descriteriosa dos materiais naturais de construção, disposição de esgoto diretamente dos corpos d'água; ocupação intensa de áreas de várzea, etc.).

#### 4.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Localizada na porção Norte-Nordeste do Estado do Pará, a Região Metropolitana de Belém (RMB), ocupa uma área de aproximadamente 599 km<sup>2</sup>, está inserida no polígono formado pelos paralelos 01° 02' 30" S e 01° 30' 00" S e os meridianos 48° 10' 00" W e 48° 30' 00" W, Figura 1.2. O acesso rodoviário a área pode ser feito através da rodovia Belém-Brasília (BR-316); ou por via fluvial ou aérea, através do Porto de Belém e do Aeroporto Internacional de Val-de-Cães.

A área abrangida pelo mapeamento geotécnico é formada por três municípios: Belém, Ananindeua e Marituba, por questões logísticas, foram excluídas as regiões correspondentes às ilhas das Onças, Cumbu e Cotijuba, pertencentes ao município de Belém. A RMB foi definida



### 4.3 - ETAPAS DO TRABALHO

As atividades desenvolvidas seguiram três etapas bem distintas: pré - campo, campo e pós - campo.

#### 4.3.1 - Fase pré - campo

As condições sócio-econômicas existentes no Brasil e principalmente na Região Norte, tornaram indispensável a sistematização e avaliação das informações já produzidas para fins de cartografia geotécnica. O que tornou evidente a necessidade de uma revisão bibliográfica que incluiu, em uma primeira etapa, dados sobre os diferentes aspectos relacionados ao trabalho como geologia, pedologia, geomorfologia, topografia, sondagens de simples reconhecimento, produtos de sensores remotos, dados geofísicos hidrografia, clima, vegetação, planos diretores municipais, estudos em geral, reportagens de jornal, trabalhos de conclusão de curso na Região Metropolitana de Belém (RMB), dissertações da RMB e todo e qualquer assunto julgado nessa fase como de uso real ou potencial no mapeamento geotécnico da RMB (Capítulo 5). Essa fase possibilitou a definição das características gerais da área, bem como dos problemas geológico-geotécnicos existentes e demandas futuras, direcionado, deste modo, as etapas posteriores.

Na perspectiva de reunir diretrizes gerais que pudessem ser utilizadas na cartografia geotécnica da RMB, foi realizada uma análise crítica das várias metodologias gerais de mapeamento geotécnico, o que resultou na apresentação do Capítulo 3, e na base teórica necessária para a elaboração dos documentos cartográficos apresentados no Capítulo 5.

Concomitantemente a revisão bibliográfica, fez-se fotoanálise e foto-interpretação com base em Soares & Fiori (1976), a partir de fotografias aéreas nas escalas 1:40.000 executadas pela TerraFoto S.A. a pedido da Companhia de Desenvolvimento e Administração da Região Metropolitana de Belém (CODEM), com vôo realizado em outubro e novembro de 1977, o que resultou na elaboração do mapa fotogeológico básico da área, o qual serviu de base para a elaboração do mapa geológico e de materiais inconsolidados preliminares.

Nesta fase foram sistematizadas 290 relatórios de sondagens de simples reconhecimento da empresa Solotécnica Engenharia LTDA e Veiga & Costa (1997); todas executadas no período

de 1990 à 2000. Também foi reunido nesta fase 172 relatórios de poços tubulares executados na RMB, para captação de água subterrânea.

Os vários dados coletados foram analisados quanto a importância e confiabilidade para o mapeamento geotécnico, dados esses que tornaram viável economicamente o mapeamento geotécnico e deram maior confiabilidade técnica aos produtos finais.

O conjunto dessas informações foi fundamental para a elaboração das etapas seguintes, permitindo que fosse estabelecido um modelo preliminar da geometria dos materiais geológico-geotécnicos da Região Metropolitana de Belém, e dos problemas de planejamento enfrentados pela região; tornando desde modo possível esboçar uma visão crítica inicial quanto aos procedimentos propostos pelas metodologias de mapeamento geotécnico para outras localidades, quando de sua aplicação da área de estudo.

Nesta fase, foi realizada a digitalização do mapa base utilizando-se para tanto as folhas Belém (MI-348-3, com retificação do traçado do Igarapé Uriboquinha, executada pelo Eng. Florestal do IBGE Adonias Pereira do Araújo), Mosqueiro (MI-384-2), MI-384/2 (Santo Antônio do Tauá) e MI-384/4 (Santa Izabel), na escala 1:50.000 produzidas pelo Serviço Geográfico do Exército Brasileiro em 1982.

A passagem do mapa base da forma analógica para a digital, foi feita no programa AutoCad Release 14.

Nesta fase, foi elaborado o Mapa de Declividade da Região Metropolitana de Belém, e os mapas de Áreas Urbanizadas, de Áreas Institucionais e Unidades de Conservação e de Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água, todos na escala 1:50.000. A descrição detalhada dos procedimentos metodológicos utilizados na confecção destes documentos é apresentada no Capítulo 5.

#### **4.3.2 - Fase de campo**

Os trabalhos de campo tiveram por finalidade reconhecer as unidades previamente definidas (num contexto geológico-geotécnico) e verificar e confirmar os limites das zonas homogêneas quanto às propriedades geológico-geotécnicas. Essas atividades relacionadas a fofointerpretação definiram as unidades geotécnicas (geológicas e de materiais inconsolidados) preliminares e direcionaram a amostragem, bem como a reanálise de pontos obscuros, além de

possibilitar a análise e sistematização das informações reunidas como sondagens de simples reconhecimento, poços tubulares profundos, etc..

Para tanto, realizou-se perfis geológicos-geotécnico pelas vias de acesso da área possíveis de tráfego, utilizados para conferir os limites das unidades geológicas e de materiais inconsolidados individualizados através da fotointerpretação e de fotoanálise. Após o reconhecimento e sistematização das várias unidades geológicas dos materiais inconsolidados, foi organizada a amostragem das mesmas, visando a realização de ensaios laboratoriais.

A amostragem teve como critérios: as unidades de materiais inconsolidados preliminares, na perspectiva de melhor compreender a variação das propriedades geotécnicas espacialmente (variação vertical e horizontal).

O conceito de materiais inconsolidados, permitiu uma caracterização mais representativa das unidades cartografadas, exigindo menor volume de material amostrado e ofereceu maior confiabilidade na definição das unidades de terreno representadas, o que possibilitou: economia de recursos, facilidade na interpretação dos resultados e diminuição da quantidade de ensaios.

As amostras deformadas foram coletadas nos vários horizontes das unidades de materiais inconsolidados, utilizando-se de ferramentas simples tipo: pás, enxada, picaretas, e outras mais apropriadas a cada caso. Para este tipo de amostragem, inicialmente, fez-se a limpeza prévia do local de trabalho, retirando a vegetação superficial, raízes e qualquer outra matéria estranha do solo, para só depois inicia-se o processo, principalmente, nos horizontes próximos a superfície do terreno.

Além de coleta de amostras deformadas foi realizado amostragem com anel de parede fina, o qual foi cravado dinamicamente no solo através de energia fornecida pela queda livre de um martelo. As amostras foram colocadas em saco plástico resistente, amarrando-se a boca do mesmo, identificado com etiqueta contendo informações sobre o local, número, profundidade, tipo de amostra e data da amostragem. Essa amostragem serviu para cálculo de teor de umidade natural, porosidade, índice de vazios e massa específica seca dos solos.

Para localização dos vários pontos utilizou GPS (Global Positioning System).

Nesta fase, foram descritos 208 pontos, com coleta de 132 amostras deformadas de solo e 96 amostras com anel de parede fina, além da caracterização visual-táctil dos solos.

Na etapa de campo, a partir do mapa fotogeológico, dos trabalhos de campo, dos dados bibliográficos e da fotointerpretação final definiu-se as várias unidades geológicas e de materiais inconsolidados finais.

#### 4.3.3 - Fase pós – campo

Esta fase consistiu de trabalhos de escritório e na realização de ensaios laboratoriais, os quais foram realizados no laboratório de Materiais de Construção do Centro Tecnológico da UFPA. Os ensaios de laboratório serviram para caracterização do solo, a partir de amostras deformadas e para cálculo dos índices físicos com base na amostragem com anel de parede fina.

Para que o tempo despendido na realização dos ensaios não fosse perdido, foi preciso ter em mente as recomendações quanto aos cuidados com as amostras, com os equipamentos, com as medidas realizadas e obediência à norma vigente de cada ensaio, bem como para evitar os erros acidentais ou sistemáticos durante a realização das medidas, sendo fundamental para tanto o trabalho de Nogueira (1998) que subsidiou toda esta atividade.

As amostras coletadas foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Granulometria conjunta (NBR 7181);
- Massa específica dos sólidos (segundo Nogueira 1998);
- Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (NBR 6459 e NBR 9180, respectivamente);
- Ensaio de compactação Proctor Normal (NBR 7182).

A realização desses ensaios permitiu qualificar e quantificar geotecnicamente as propriedades das unidades de materiais inconsolidados. As várias amostras ensaiadas foram classificadas no Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

Nesta fase os vários documentos cartográficos produzidos e digitalizados no programa AutoCad versão 2000 (arquivos tipo DWG), foram exportados para o Arc View versão 3.2, onde passaram pela poligonização (ajuste dos arcos e polígonos) e rasterização (criadas as imagens temáticas pela conversão vector-raster) de cada um deles, permitindo deste modo, a manipulação e análise geográfica automatizadas, assistidas por pacotes estatísticos e base de dados, complementadas pelas modelagens disponíveis no sistema.

Os mapas de prognóstico foram elaborados a partir da combinação de atributos do meio físico (além de atributos sócio-econômicos e biológicos mapeáveis e de interesse) por sobreposição e transposição dos dados existentes nos mapas, os quais foram em seguida agrupados no sistema de informações geográficas Arc View.

No ambiente do SIG processou-se o cruzamento automático dos atributos para produção das cartas de prognóstico (carta de materiais naturais de construção civil e carta de áreas preferenciais a instalação de aterros sanitários, Anexos IX e X, respectivamente, onde cada elemento (atributo) do meio ambiente mapeado, foi considerado suficiente para excluir a atividade proposta.

A partir daí foram definidas as unidade de adequabilidade a atividade analisada (carta de áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção civil e carta de áreas preferenciais a instalação de aterros sanitários).

Embora as diretrizes fundamentais para a cartografia no trópico úmido apresente o modelo de cruzamento de atributos com pesos de acordo com sua importância para atividade proposta Tabela 3.14 (Zuquette & Gandolfi 1990 a), os quais são ponderados com base no método de combinação expresso na Figura 3.7 (Aguiar 1989). Não optou-se por essa forma de definição de adequabilidade uma vez o modelo de interseção de atributos que excluem a atividade mostrou-se para o caso analisado mais simples de aplicação e com resultado significativo, como pode ser visualizado nos documentos apresentados nos Anexos IX e X.

#### 4.4 - MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÃO-DE-OBRA

Para execução dos trabalhos foi imprescindível a disponibilização da infra-estrutura abaixo listada, que possibilitou a definição dos atributos e informações indispensáveis a elaboração da documentação cartográfica e do texto explicativo:

- Folhas planialtimétricas da Região Metropolitana de Belém nas escalas 1:10 000 e 1:50.000;
- Fotografias aéreas da Região Metropolitana de Belém, na Escala 1:40.000;
- Imagem de satélite Landsat TM7, composição colorida : R5G4B3, de 13/07/1999;
- Estereoscópio de bolso e de espelho;
- Bússola;

- Lupas;
- Martelo de geólogo;
- GPS;
- Material de consumo diverso (papel, impressora, plotter, caderneta de campo, sacos plásticos, etiquetas, barbantes, CDs, disquetes etc.);
- Pá, enxada/enxadeco e trado;
- Veículo utilitário com tração nas 4 rodas;
- Material bibliográfico (Normas, livros, artigos, dissertações, teses, etc.);
- Equipamento para realização dos ensaios geotécnicos (solos – para maiores detalhes consultar Nogueira 1998);
- Micro-computado Pentium ;
- Mesa digitalizadora;
- Escaner de mesa;
- Plotter;
- Impressora;
- Sistema de Informações Geográficas Arc View;
- Programas for Windows diversos (Autocad, Word, Excel, etc.);
- Geólogo e/ou engenheiro civil de geologia de engenharia;
- Técnico em mecânica dos solos;
- Motorista;
- Auxiliar de campo.

## **5 - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1:50.000**

Neste capítulo são apresentados os produtos cartográficos elaborados para a Região Metropolitana de Belém, a saber: mapa de documentação (na escala 1:50.000 e na escala 1:10.000 – área central de Belém), mapa de declividade, mapa geológico, mapa de materiais inconsolidados, mapa de uso do solo, mapa de áreas institucionais e unidades de conservação, mapa de áreas de várzea e terra firme, mapa de faixas permanentes de proteção dos corpos d'água, carta de áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção civil e carta de áreas preferenciais a instalação de aterros sanitários. Os critérios que nortearão a elaboração de cada documento, bem como as discussões a eles associadas, foram baseadas nas diretrizes fundamentais levantadas no Capítulo 3, para a cartografia geotécnica no trópico úmido.

### **5.1 - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO I)**

O mapa de documentação tem por finalidade registrar as várias informações reunidas pelo mapeamento geotécnico e exerce duas funções:

- a - fornecer ao usuário as várias informações que embasaram a execução do documento a ser utilizado;
- b - funcionar como uma fonte de dados a ser atualizada no processo dinâmico de mapear geotécnicamente uma região, potencializando assim futuras investigações.

Este mapa foi elaborado a partir de duas bases topográficas. A primeira formada por 29 folhas na escala 1:10.000, confeccionadas pela Terra Foto em 1973 para a Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belém, CODEM. A segunda formada pelas folhas MI-384/1 (Mosqueiro), MI-384/2 (Santo Antônio do Tauá), MI-384/3 (Belém) e MI-384/4 (Santa Izabel), na escala 1:50.000, confeccionadas pela Diretoria de Serviço Geográfico, do Departamento de Engenharia e Comunicações do Ministério do Exército. Essas bases foram em parte digitalizadas no programa AutoCad versão 2000 e vetorizados no sistema de informações geográficas Arc View, versão 3.2.

O documentos digitais citados deram origem a dois mapas de documentação. Um de toda Região Metropolitana de Belém (municípios de Ananindeua e Marituba e parte do município de

Belém), na escala de 1:50.000, contendo informações compiladas e produzidas (Anexo I.I). O segundo mapa de documentação, na escala 1:10.000, foi elaborado apenas para a área central da cidade de Belém, o que fez-se necessário em função do grande número de sondagens de simples reconhecimento levantadas durante os trabalhos (290 relatórios ao todo) – ver Anexo I.II.

A apresentação final do mapa de documentação em um sistema de informações geográficas, poderá permitir em trabalhos posteriores, que os vários elementos topológicos digitalizados sejam transformados em eficiente banco de dados geológico/geotécnico da Região Metropolitana de Belém. Assim um ponto de relatório de sondagem de simples reconhecimento poderá ser associado a uma tabela com todas das informações do relatório de sondagens, que o ponto representa, como: nível d'água, tipo de material valores de SPT a cada metro, etc.. O mesmo poderá ser feito com os pontos de observação com coleta de amostras que poderá ao ser clicado exibir os resultados dos ensaios geotécnicos realizados, sendo este o início do que poderá ser uma significativa contribuição a geotecnia de nossa região.

Dentre as informações compiladas foi reunido 290 relatórios de sondagens de simples reconhecimento (Ver Anexos I.I e I.II), catalogadas em apenas duas fontes: Solotécnica (empresa de geotecnia) e no trabalho de conclusão de curso de Costa & Veiga (1997). Importantes e tradicionais fontes de sondagens de simples reconhecimento ficaram fora dessa sistematização, em função do cronograma estabelecido o que poderá ser realizado em trabalhos futuros.

As informações produzidas neste trabalho, são representadas por pontos de observação (144 no total) e pontos de observação com coleta de amostras, com anel de parede fina e deformadas (63 no total). Essas informações são devidamente representadas nos Anexos I.I e I.II. Esse processo em sua fase inicial, constou de visitas técnicas que além de descrever informações de interesse para o mapeamento, contribuiu para a definição dos critérios de amostragem.

## 5.2 - CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO II)

A Carta de Declividade foi elaborada a partir da interpretação das folhas topográficas, na escala 1:10.000 com equidistância das curvas de nível de 5m, utilizando a técnica de facetar, por ser mais precisa que a técnica utilizada por Wentworth (1930), conforme apregoado por De Biasi (1992). As cartas de declividade na escala 1:10.000 foram digitalizadas em CAD e reduzidas para a escala 1:50.000, escala final de apresentação e análise do documento.

Para definição das classes de declividade preliminares, foi utilizado a sugestão das diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico, conforme Tabela 3.13, que apresenta nove classes de declividade.

De Biasi (1992) sugere que não se trabalhe com mais de 6 classes de declividade para não introduzir “ruídos” em demasia. Argumenta-se, no entanto, que nem todos os terrenos apresentam ocorrências significativas das classes previamente definidas, o que foi confirmado na Região Metropolitana de Belém, onde predominaram as classes de menor declividade (de 0 a 1% e 1 a 2%), com inexistência de classes com declividades elevadas (acima de 15 %) – ver Anexo II.

Na Região Metropolitana de Belém foram identificadas 5 classes de declividade, a saber: 0-1%; 1-2%; 2-5%; 5-10% e 10 a 15% (Anexo II). Com mais de 90% de áreas com declividade entre 0 e 2%.

O relevo essencialmente plano da RMB torna a malha urbana altamente adequada a implantação de ciclo vias. Esses mesmo relevo entretanto gera dificuldades as redes de drenagem pluvial que freqüentemente apresentam problemas de manutenção (entupimentos) gerando alagamentos localizados. Essa declividade predominantemente plana esta também associada a inundações periódicas em áreas de várzea que mesmo urbanizadas como é o caso da avenida Tamandaré e Alcindo Cacela em Belém, continuam apresentando inundações nos períodos de maior precipitação pluviométrica, principalmente, associados as marés de sizígia (lua nova e lua cheia). Essas inundações estendem-se por amplas áreas dos bairros da Cidade Velha, Jurunas, Condor e Guamá, em Belém.

### 5.3 - MAPA GEOLÓGICO (ANEXO III)

#### 5.3.1 - Aspectos geotectônicos

A geotectônica da Região Metropolitana de Belém (RMB), encontra-se inserida na história geológica do Terciário da Amazônia. O arcabouço estrutural do embasamento da região, influenciou fortemente a geomorfologia atual, quer seja encaixando-se diretamente em sua estruturação ou, ainda, decorrente de reativações e ajustes tectônicos mais recentes. Essa relação é refletida em toda a borda leste da Bacia Amazônica e Plataforma Continental Adjacente (Pinheiro 1987).

Para a geologia de engenharia a identificação de planos de falha - quando existentes - é de suma importância para a compartimentação dos diferentes materiais geológicos e para definição das propriedades mecânicas e hidráulicas dos maciços rochosos.

Na Figura 5.1 estão representadas as principais feições estruturais regionais da chamada Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas (Schaller *et al.* 1971). O Graben de Limoeiro e o Graben de Mexiana e as duas plataformas do Pará e do Amapá são reconhecidas como as principais feições, que definem importantes movimentos rupturais para a história geológica da Foz do Amazonas, cujas direções principais são NE/SW e NW/SE.

Estudos realizados, indicam que estas estruturas estão ativas desde o Pré-Cambriano. Com base em anomalias Bouguer tem-se definido, varias descontinuidades, na Bacia do Marajó, com direção NW e NNW, direções estas que são paralelas à maioria das falhas do embasamento (Hasui *et al.* 1984).

Igreja *et al.* (1990), defendem existir no nordeste do Estado do Pará, movimentações neotectônicas, ativas em nossos dias, Figura 5.2. Os registros tectono-estruturais mais importantes na Bacia Terciário-Quaternário, estariam vinculados aos Sedimentos Barreiras e ao calcário da Formação Pirabas, nos quais seriam comuns descontinuidades, embora seja reconhecido existir uma componente hidroplástica importante associada aos níveis argilosos destas unidades, gerados por processos de cisalhamento simples e deformação heterogênea.

Os movimentos de extensão litosféricos neotectônicos teriam gerado, no preenchimento sedimentar Terciário-Quaternário dois grandes grupos de falhas na escala macroscópica, Figuras 5.2 e 5.3, a saber:

A – Feixe com direção N50E e N60E com mergulhos acentuados para NW e que incorpora movimentações essencialmente “dip-slip” (normais).

B – Feixe com direção N45W a N55W e mergulhos subverticais com características francamente transcorrentes e compressão geral sinistral, representando as falhas transferentes do sistema distensivo neotectônica que denuncia a direção de estiramento máximo com transporte das massas tectônicas de SE para NW.

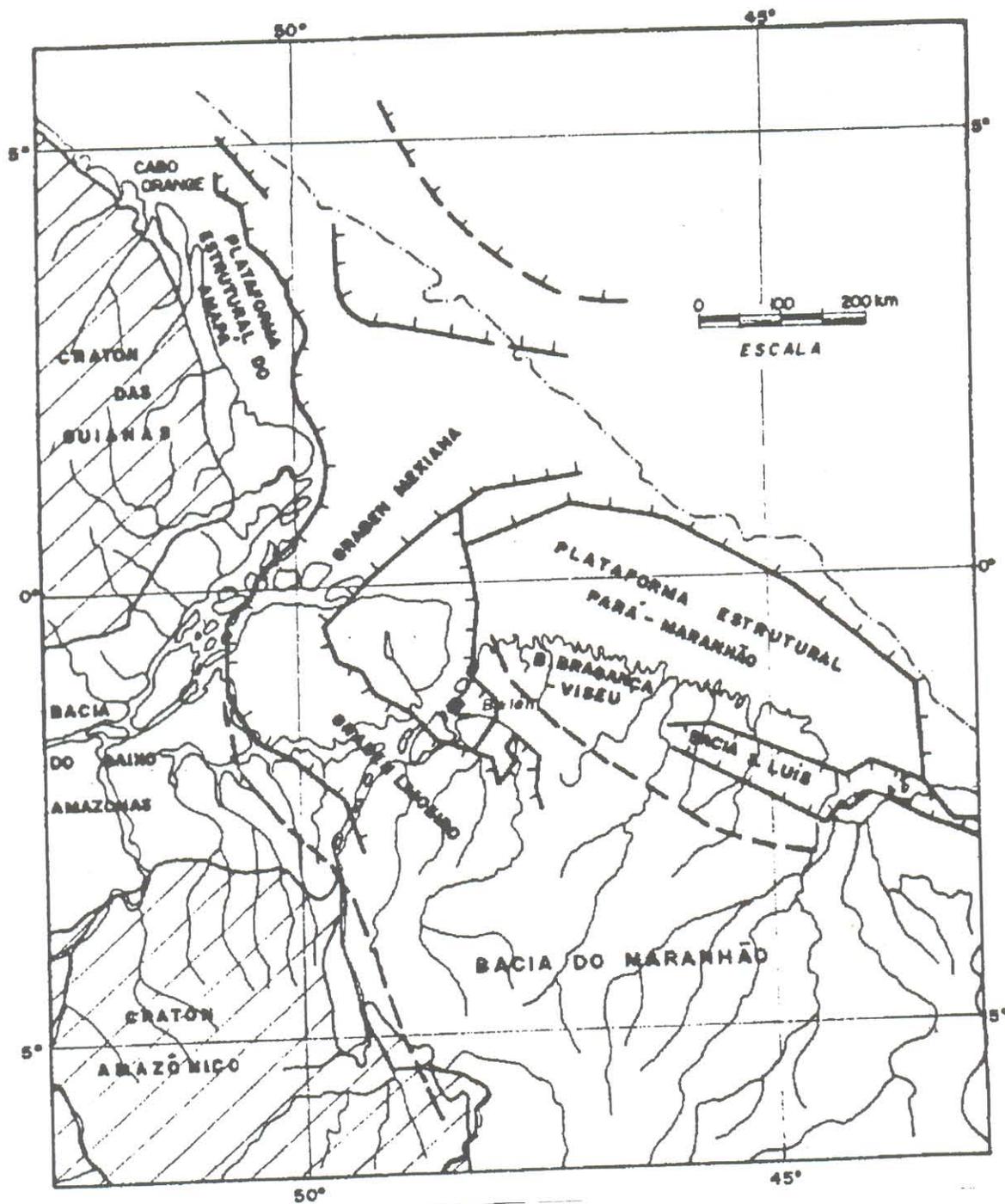


Figura 5.1 – Arcabouço estrutural da região costeira e de parte da Plataforma Continental Norte Brasileira (Palma<sup>1</sup> apud Pinheiro 1987).

<sup>1</sup> PALMA, V.C. 1979. *Geomorfologia da Plataforma Continental Brasileira*. Série Projeto REMAC, n° 7, p. 27-51.

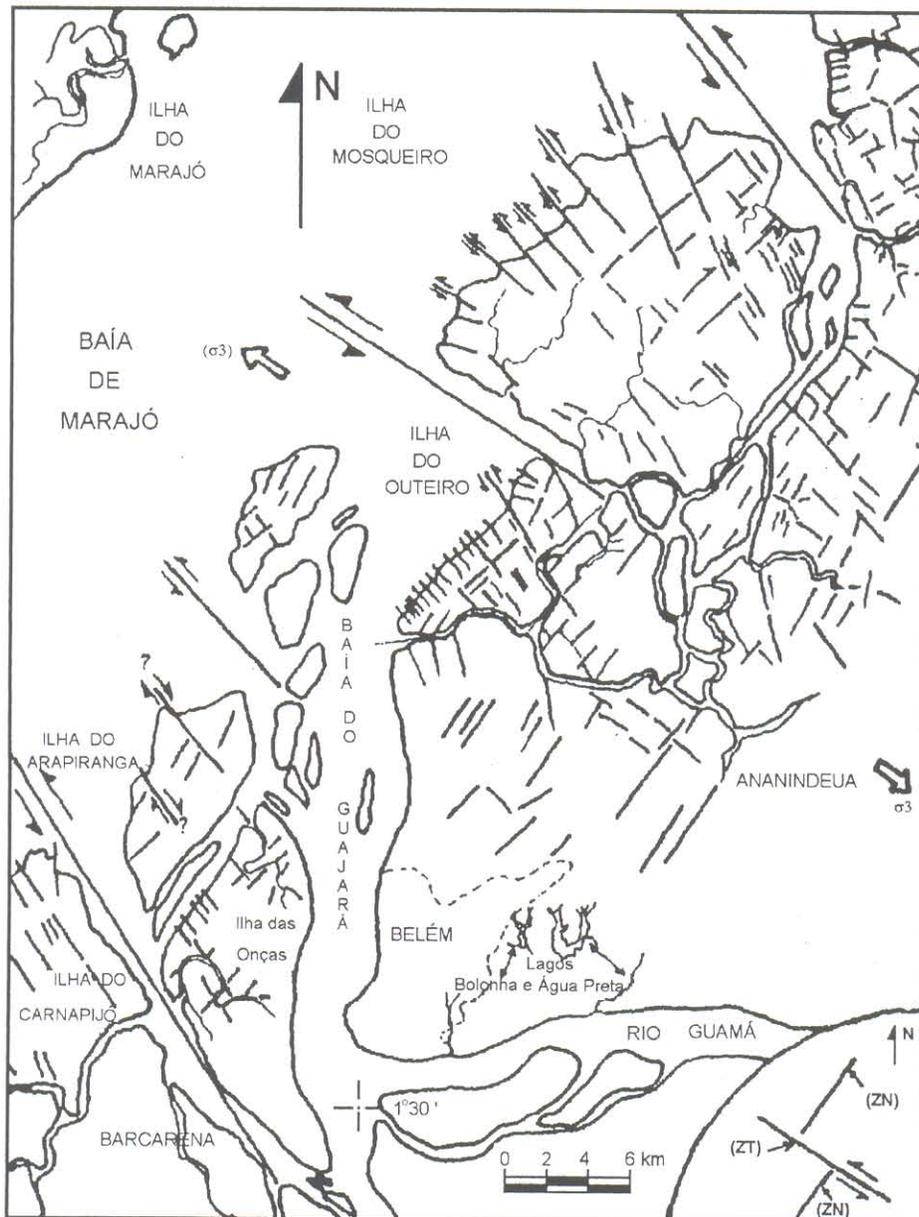


Figura 5.2 – Lineamentos neotectônicos relacionados a zonas de transferência e zonas normais, do Sistema Distensivo Terciário-Quaternário. ZT: zonas transferentes, ZN: zonas normais, eixo distensivo, da Bacia Terciário-Quaternário, às proximidades de Belém, Outeiro e Mosqueiro (Igreja *et al.* 1990).

Nos trabalhos de escritório (fotointerpretação, fotoanálise, sistematização de sondagens, etc.) e de campo não foram identificados, até o momento, elementos que indicassem presença de falhamentos ativos no Quaternário, assim como presença de falhamentos nos Sedimentos Barreiras. Os estratos sedimentares em Belém e nas ilhas do Mosqueiro e Outeiro apresentam total continuidade lateral quando observadas suas estratigrafias, a qual seria visivelmente quebrada pela presença de falha.

Igreja *et al.* (1990) assinalam o seguinte quando de sua passagem pela Baía do Sol, em Mosqueiro "No topo desta unidade (Pós-Barreiras ou Horizonte de Solo), observa-se a gradação para húmus, que na praia Baía do Sol em Mosqueiro, também encontra-se falhado e encravado em pequenos grabens Quaternários," estas evidências descritas pelos autores não foram identificadas, como pode ser bem visualizado nas fotos do local Figuras 5.4 e 5.5.

As diferenças de cotas e espessuras observadas nos materiais, são facilmente identificadas no campo e em perfis de sondagens, como resultado da erosão e deposição diferencial, Figuras 5.4 e 5.5, não estando portanto associada a rupturas nesses materiais, não se identificando em nenhum local a presença de planos de falha. As reentrâncias observadas no litoral das ilhas, são creditadas à ação das ondas que, ao encontrarem níveis mais resistentes como a Fácies Arenito Ferruginoso, têm dificuldade de ultrapassá-los, erodindo os extratos seguintes na linha de costa, sendo comum na passagem de uma praia a outra blocos de arenito ferruginoso que funcionam como um tipo rip-rap (tômbolos) protegendo os corpos arenosos paralelos a linha de costa (praias) da ação das onda, Figura 5.6.

### 5.3.2 - Unidades litológicas

Na Região Metropolitana de Belém, podem ser individualizadas três unidades litológicas, da base para o topo temos: Formação Pirabas, Sedimentos Barreiras/Pós-Barreiras e Sedimentos Recentes (Anexo III, Tabela 5.1). A proposta ora apresentada foi elaborada com base na literatura (Sá 1969, Pinheiro 1987, Góes *et al.* 1990; Costa *et al.* 1991a, Farias *et al.* 1992, Pará & IBGE 1995), em trabalhos de campo, em sondagens de simples reconhecimento e em poços tubulares profundos. Esta subdivisão foi executada com o objetivo de melhor dividir os materiais segundo faixas aceitáveis de propriedades geológicas-geotécnicas e, embora utilize fortemente a geologia não considerou os aspectos estratigráficos em essência.

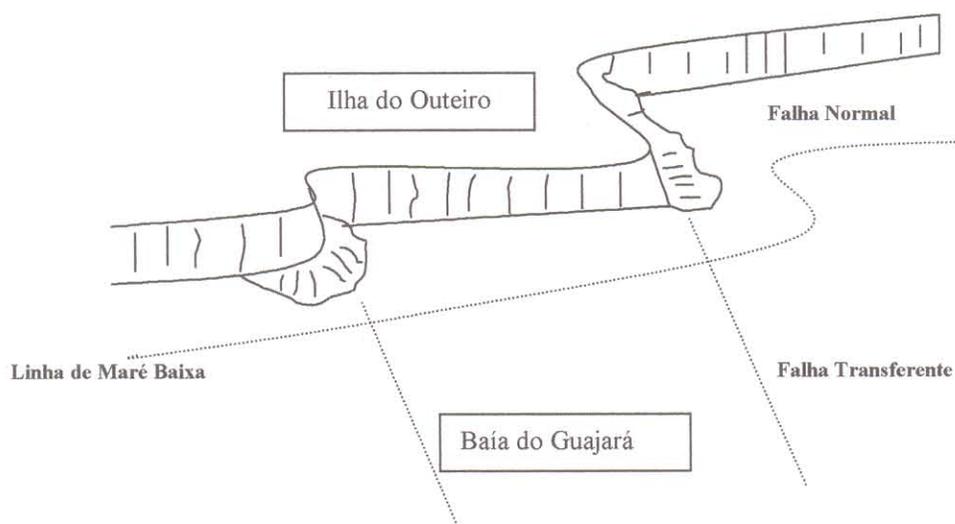


Figura 5.3 – Ilustração em perspectiva da Ilha de Outeiro– vista em direção sul – destacando arranjo Neotectônico das falésias e praias, salientando dois grandes grupos de falhas normais e transferentes, na escala macroscópica (Igreja *et al.* 1990).



Figura 5.4 - Horizonte sedimentares da praia da Baía do Sol, apresentando total continuidade lateral. Do topo para a base temos: Horizonte Superficial, Horizonte de Solo (Pós-Barreiras - barro), seguidos pelo Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário - piçarra) em contato com Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueada)



Figura 5.5 - Horizontes sedimentares da praia da Baía do Sol, apresentando total continuidade lateral. Do topo para a base temos: Horizonte Superficial irregular em função da irregularidade do Horizonte de Solo (Pós-Barreiras - barro), separado por linha de seixos do Horizonte Ferruginoso ( fácies Concrecionário - piçarra) em contato com Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueada), entre ambos a formação da fácies Arenito Ferruginoso foi incipiente.

Tabela 5.1 - Coluna estratigráfica da Região Metropolitana de Belém. Pt= profundidade do topo, E=espessura do pacote sedimentar.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO RESUMIDA
C E N O Z Ó I C O	Q U A T E R N Á R I O	Holoceno	Sedimentos Recentes	Pt= 0m E= 0 a 70m	Depósitos de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas, orgânicas ou não, associadas aos principais cursos d'água, as quais são intercaladas em vários locais por níveis arenosos na forma de camadas ou lentes. Esses materiais apresentam profundidades que variam, em geral, de 2 a 70m, a depender do curso d'água vinculado ao depósito. Os materiais finos apresentam altos teores de umidade e elevado índice de vazios. São materiais que têm baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade.
			Pleistoceno	E= 0 a 4m	<b>HORIZONTE DE "SOLO"</b> - <b>Fácies silto-arenosa a Argilo-arenosa:</b> ocorre em mais de 90% da área de ocorrência do horizonte tem espessura de até 4m, incisosos, de cor cinza-amarelado a amarelo, por vezes bioturbadas e apresentam grãos milimétricos a centimétricos dispersos de concreções lateríticas, quartzo leitoso e água na forma de seixos. Mineralógica é composta por quartzo (grãos), caulinita (argila) e Al-goethita (cor amarela) e hematita (concreções). - <b>Fácies Arenosa Branca:</b> possui mais de 95% de areia branca, com espessura de até 2m fruto da podzolização da fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa. São conhecidas na região como covões
			Holoceno Pleistoceno	E= 0 a 1m	<b>Linha de Pedras ou de Seixos intermitente;</b> formada por agregados de arenito ferruginoso e concreções lateríticas ou <b>Superfície Erosiva</b>
T E R C I Á R I O	Mioceno/Oligoceno	Mioceno	Sedimentos Pós-Barreiras / Barreiras	E= 0,5 a 5m  Pt= 0 a 70m  E = 80 a 135m	<b>HORIZONTE FERRUGINOSO</b> - <b>Fácies Concrecionário:</b> possui matriz areno-argilosa a areno-siltosa, envolvendo concreções lateríticas irregulares distribuídas aleatoriamente; coloração amarelada ou avermelhada, a espessura varia de alguns centímetros até 5m. - <b>Fácies Areno Argilosa:</b> é constituída por areias argilosas maciças de coloração avermelhadas. Ocorrem ao mesmo nível topográfico da fácies Concrecionário, resultando de uma variação lateral desta fácies. - <b>Fácies Arenito Ferruginoso:</b> ocorre, em geral, logo abaixo da fácies Concrecionário, fazendo contato inferior com o Horizonte Argiloso. É formada por matriz areno-argilosa a areno-siltosa envolvendo blocos de arenito ferruginoso de dimensões centimétricas a métricas, de cor preta, constituídos de grãos de tamanho em geral areia podendo chegar até pedregulhos de quartzo cimentados por hematita. Tem ocorrência irregular e restrita, sua espessura pode chegar a 2,5m. São conhecidas na RMB como pedra preta ou grés do Pará. - <b>Fácies Arenoso Ferruginizado:</b> é constituída por seqüências essencialmente arenosas (mais de 80% de areia) ferruginizadas, de coloração amarelada e avermelhada. Ocorre também na base da fácies Concrecionária, em alguns locais ocorrem em contato direto com o Horizonte de Solo separados por linha de seixos. Mineralogicamente este Horizonte é constituído por quartzo, caulinita, hematita e goethita, em diferentes proporções a depender da fácies avaliada.
			Form. Pirabas	E= 1 a 8m	- <b>HORIZONTE ARGILOSO</b> ocorre logo abaixo do Horizonte Ferruginoso; é formado por uma espessa camada de argila que pode chegar até a 8m de espessura, ocorrendo em três fácies - <b>Fácies Argila Mosqueada:</b> forma seqüências essencialmente argilosas (caulinita) tendo algum quartzo formando lentes centimétricas de areia, além de hematita e goethita as quais são responsáveis pela formação de manchas irregulares com tons variados de vermelho e amarelo. No contato com a fácies Arenito Ferruginoso apresenta-se endurecido pela presença de hematita. - <b>Fácies Argilitos:</b> Laminado, formada por argilas (caulinita) finamente laminadas de coloração branca com manchas avermelhas. É formada mineralogicamente por caulinita e pouco quartzo, tendo goethita e hematita como acessórios os quais forma manchas insipientes. Ocorre também logo abaixo do Horizonte Ferruginoso. - <b>Fácies Argilito Maciço:</b> é formada por argilas brancas (caulinita), compostas por caulinita e algum quartzo. Ocorrem logo abaixo da fácies Argila Mosqueada e apresenta espessura superior a 1m.
					- Intercalações sedimentos siliciclásticos representados por argilitos, arenitos, comumente ferruginizados, com estratificações
			Form. Pirabas	Pt=80 a 135m E > 370m	Calcários estratificados ou não, margas e folhelhos



Figura 5.6 - Visão Geral de falésia ativa, ocorrente no final da praia de Brasília, na ilha do Outeiro, Ponto O8. Observando-se na transição das reentrâncias blocos de arenito ferruginoso, que criam uma proteção à ação das ondas.

As principais unidades a serem estudadas para o fim proposto, são os Sedimentos Recentes e os Sedimentos Pós-Barreiras (Horizonte de Solo) e Barreiras (Horizonte Ferruginoso, Horizonte Argiloso e seqüências de arenitos e pelitos), uma vez que, a Formação Pirabas situa-se na Região Metropolitana de Belém a partir de 80 a 135m de profundidade, o que faz com que tenha uma interação com as várias atividades humanas menor que as unidades mais próximas a superfície, Anexo III.

#### 5.3.2.1 - Formação Pirabas

Esta unidade é datada com base em seu registro fossilífero como de idade Mioceno Inferior. Começa a ocorrer na RMB a uma profundidade que varia de 80 a 135 m, dados esses estimados com base em poços tubulares executados para exploração de água subterrânea, descritos na Região Metropolitana de Belém (municípios de Belém, Ananindeua e Marituba). Estende-se a profundidades superiores a 370m.

Quanto à sua origem sugere-se, que foi formada em plataforma carbonática marinha rasa e secundariamente em lagunas e mangues (Góes *et al.* 1990), em clima quente e úmido, o que favoreceu a deposição de carbonatos (calcários) e material detrítico (arenitos), na região próxima à linha de costa, Figura 5.7.

Quanto à sua composição, é formada por intercalações de calcários estratificados ou não, margas, e folhelhos de cores diversas: verde, cinza e branca. Na RMB essa unidade geológica tem sido descrita a partir de poços profundos realizados para extração de água subterrânea, o que tem limitado sua descrição às necessidades dessa atividade. A descrição apresentada para caracterizar os sedimentos formadores dos aquíferos é a seguinte: materiais de granulometria areia argilosa cinza escura, grossa a microconglomerática, sub-angular com grãos arredondados a sub-arredondados, macro e microfósseis (foraminíferos), briozoários, moluscos, corais, fragmentos diversos, etc., os quais são comumente intercalados a materiais pelíticos.

A principal importância desses materiais está vinculada à captação de água subterrânea, uma vez que seus interstícios encontram-se preenchidos por água de excelente qualidade, não apresentando problemas com altos teores de ferro detectados nas águas dos aquíferos associados aos Sedimentos Barreiras.

#### 5.3.2.2 - Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras

Esta unidade tem sido posicionada no Mioceno/Pleistoceno e ocorre na RMB em afloramentos ou em profundidade logo abaixo dos Sedimentos Recentes, a qual irá depender da espessura destes variando de algumas centímetros até 70m de profundidade como é atestado por sondagens de simples reconhecimento; sua espessura varia de 80 a 135m, o que foi evidenciado por poços profundos, realizados para extração de água subterrânea em Belém, Ananindeua e Marituba.

Quanto a sua história geológica, seus primeiros sedimentos foram depositados em ambiente marinho regressivo, cobrindo ou interdigitando-se aos sedimentos da Formação Pirabas e em planície de maré com o recuo mais pronunciado da linha de costa. Os sedimentos mais tardios foram depositados em ambiente continental, com parte deles denotando características de deposição rápida em frente de dissipação de enxurradas, enquanto outros formam típicos depósitos de canal fluvial (Pará & IBGE 1995), Figura 5.7.

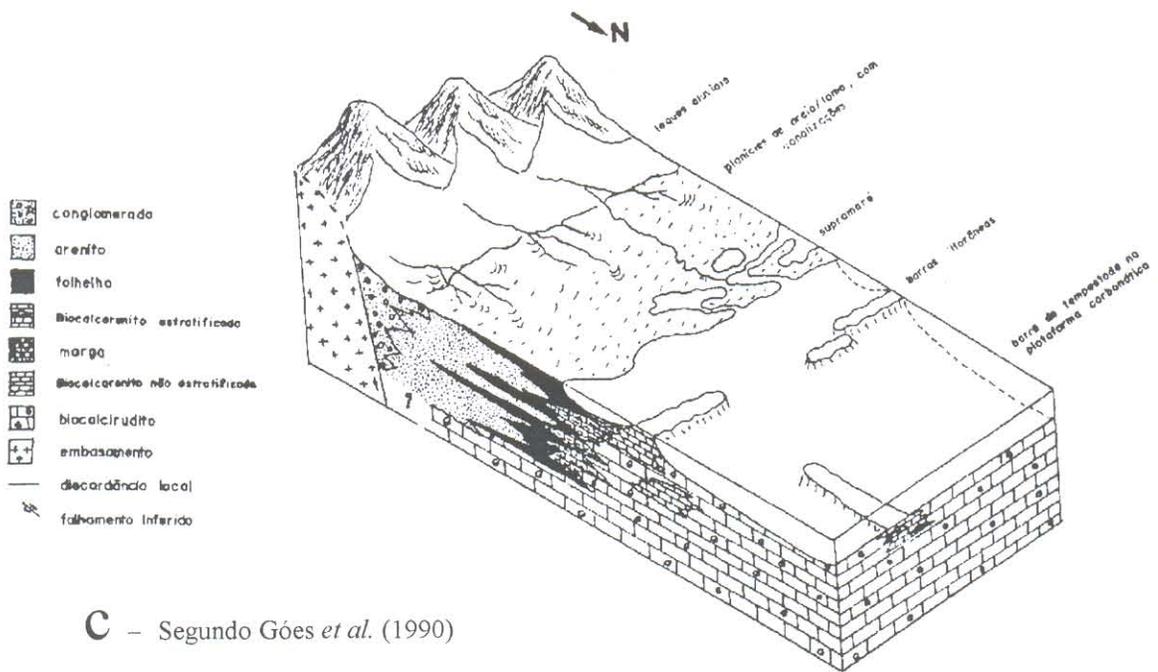
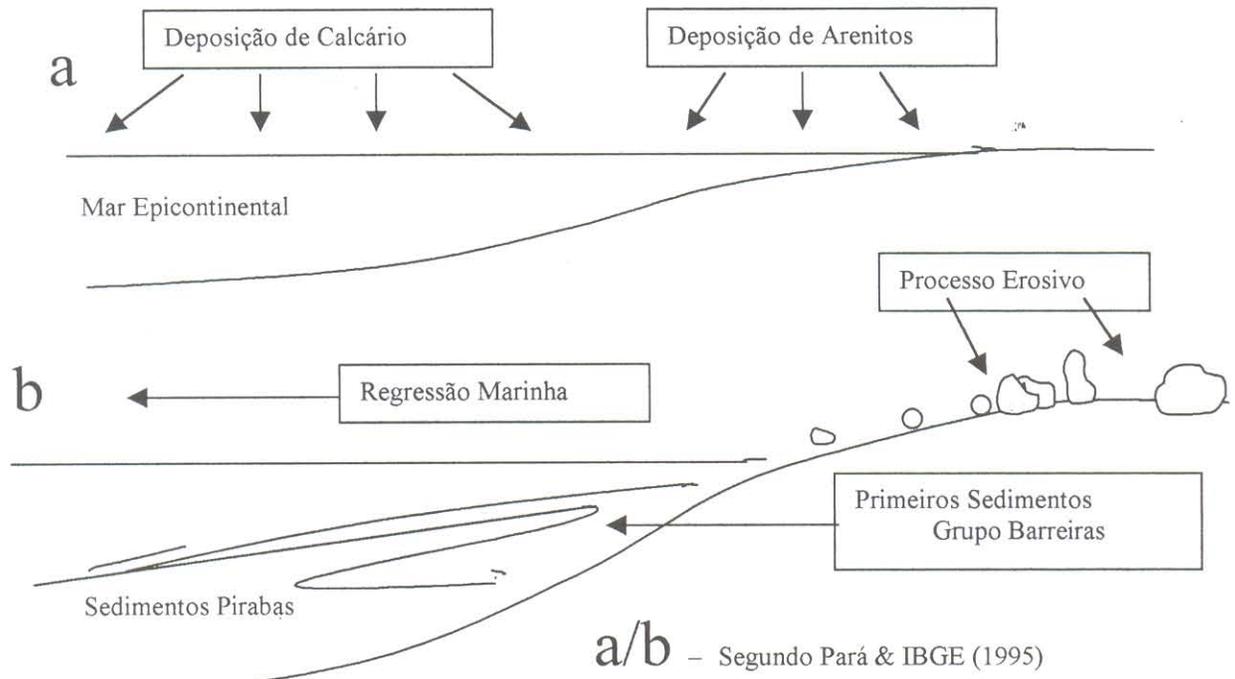


Figura 5.7 – Seqüência evolutiva esquemática da Formação Pirabas e Sedimentos Barreiras.

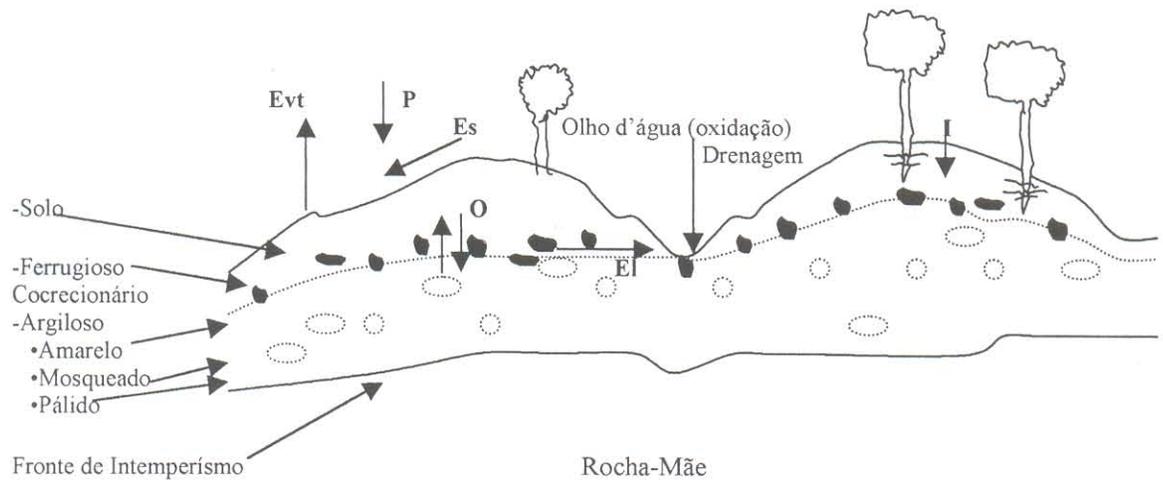
O topo dos sedimentos Barreiras foi submetido, no início do Quaternário, a processos de lateritização os quais possibilitaram a homogeneização dessa seqüência sedimentar, gerando horizontes que podem ser facilmente reconhecidos e mapeados em toda a Região Metropolitana de Belém.

Esse processo de lateritização deu origem às lateritas imaturas as quais foram formadas a partir dos Sedimentos Barreiras no início do Quaternário, quando a região foi submetida a condições úmidas (Pleistoceno Inferior) coincidente com a emersão do pacote sedimentar em resposta a movimentações tectônicas na Fossa do Marajó, favorecendo a iniciação da lateritização, permitindo a percolação e precipitação de óxido e hidróxidos de ferro (Pará & IBGE 1995).

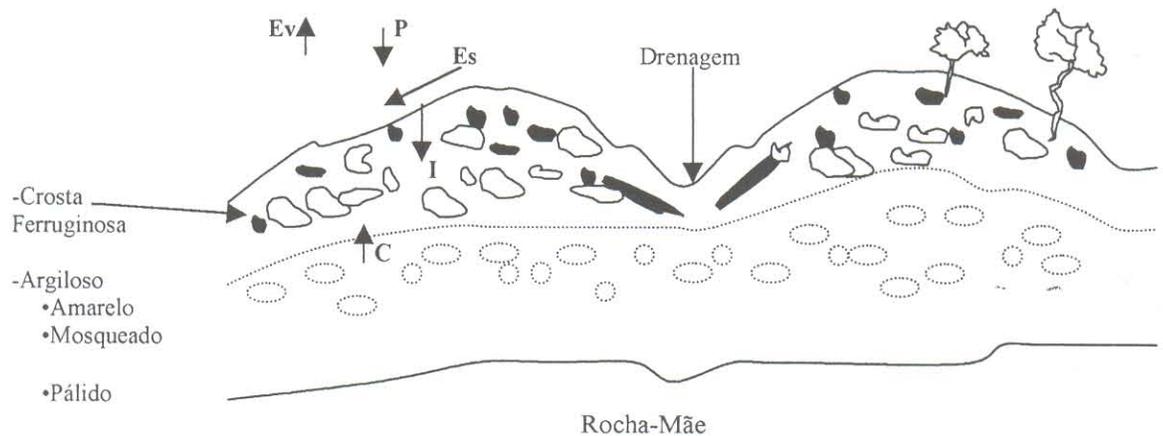
Para Costa *et al.* (1991a) o perfil imaturo deve ter tido oportunidade de estabelecer seu encouraçamento parcial no Pleistoceno Médio/Superior, quando o clima foi semi-árido. Do Pleistoceno superior até o Holoceno, quando a região apresentou clima verdadeiramente úmido, com cobertura de floresta, o clima deve ter tido ciclos alternados de curta aridez e umidade. Esta época Pleistocênica Superior/Holocênica deve ser a responsável pelos paleo-colúvios (linha de pedras e solos alóctones), ou seja pelo Horizonte de Solo (Pós-Barreiras). A Figura 5.8 exhibe de forma esquemática a dinâmica da evolução do sistema laterítico.

Os sedimentos agrupados sob a denominação de Pós-Barreiras/Barreiras, já foram objeto de diversas abordagens de caráter essencialmente geológico na Região Nordeste do Estado do Pará. Dentre os trabalhos que estudaram os Sedimentos Barreiras temos: Moura (1932), Katzer (1933), Ackermann (1964 e 1969), Góes (1981), Borges & Angélica (1986), Igreja *et al.* (1990), Costa *et al.* (1991a), Farias *et al.* (1992) e Pará & IBGE (1995); dentre os autores que estudaram os Sedimentos Pós-Barreiras: Silva & Loewenstein (1968), Sá (1969), Borges & Angélica (1986), Igreja *et al.* (1990), Costa *et al.* (1991a), Farias *et al.* (1992) e Pará & IBGE (1995).

Dentre as avaliações dos Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras mereceu especial atenção o trabalho de Costa *et al.* (1991a). Nele os autores estudaram os processos de lateritização sofridos pelos sedimentos Pós-Barreiras e pelo topo dos Sedimentos Barreiras - conforme descrito acima. O trabalho foi baseado em algumas falésias das ilhas de Mosqueiro e Outeiro, denominando-se esses materiais de Lateritas Imaturas, as quais foram divididas em três horizontes: Solo (Pós-Barreiras); Ferruginoso, Mosqueado e Pálido (todos compondo o topo do Barreiras). A Tabela 5.2 exhibe um perfil simplificado desses materiais para a ilha do Outeiro.



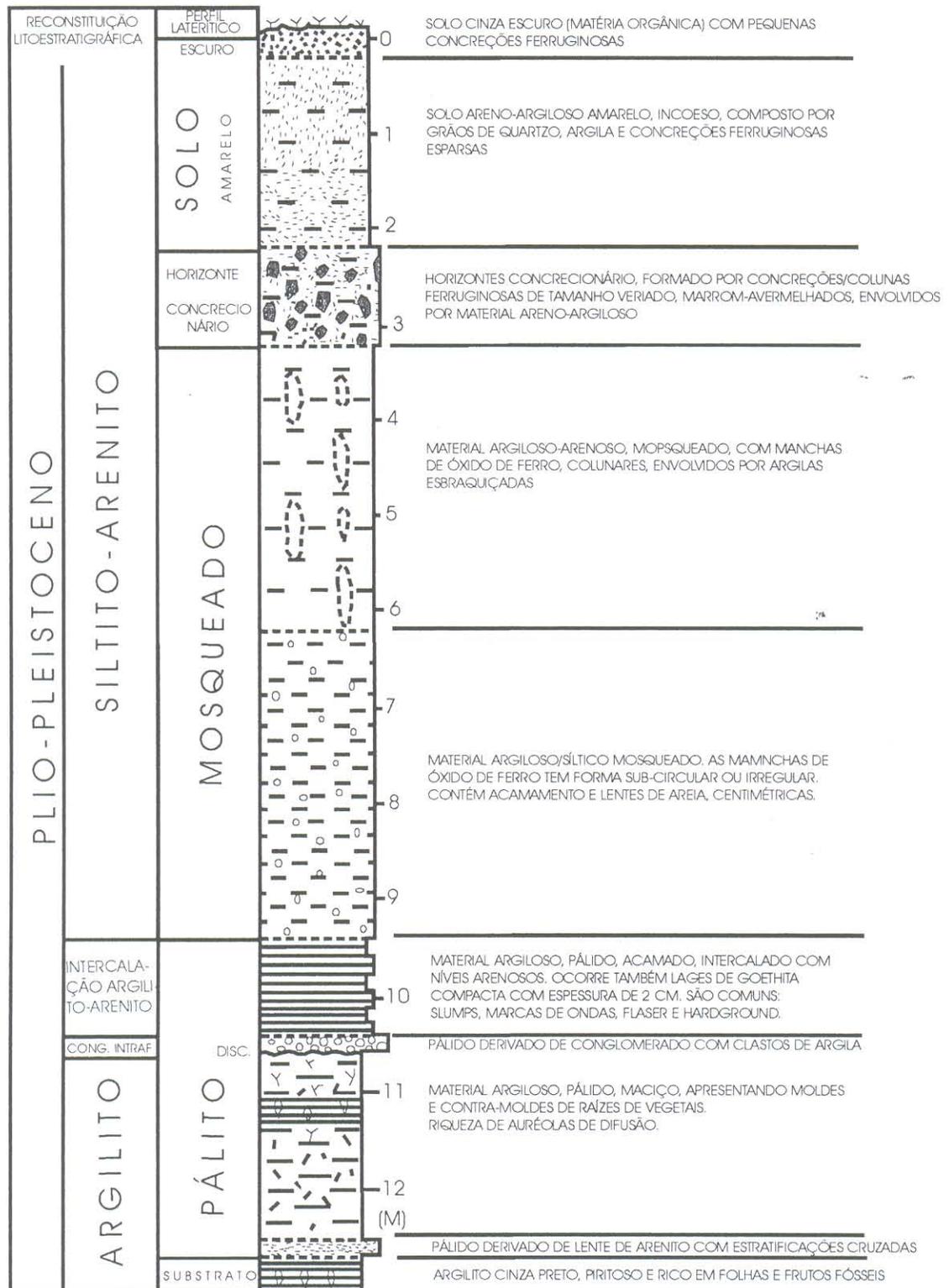
A - Clima tropical chuvoso, floresta tropical: iniciação e desenvolvimento das reações químicas em Sistema aberto



B - Clima semi-árido, com savana: finalização das reações químicas em sistema fechado (equilíbrio).

Figura 5.8 – Seções esquemáticas ilustrando a dinâmica da evolução do sistema laterítico. Ev: evaporação; Evt: evapotranspiração; Es: escoamento superficial; El: escoamento lateral; I: infiltração; P: precipitação; O: oscilação; C: capilar; -----: lençol freático (Costa 1990).

Tabela 5.2 – Perfil geológico simplificado para as Lateritas Imaturas da Ilha de Outeiro (Costa *et al.* 1991a).



A validade dessa subdivisão no continente e no interior das ilhas de Mosqueiro e Outeiro foi avaliada durante os trabalhos de campo, observando-se variações faciológicas e de espessura nos materiais, não invalidando de modo algum as conclusões obtidas pelos autores, válidas para as falésias analisadas.

Durante os trabalhos foi identificado um evento de podzolização no Horizonte de Solo, o qual foi responsável pelo surgimento de uma nova fácies denominada de Arenoso Branca.

No Horizonte Ferruginoso o tipo denominado Crosta Ferruginosa foi suprimido atribuindo a esses materiais a denominação de fácies Concrecionária. O tipo originalmente denominado de concrecionário era usado pelos autores para descrever a linha de seixos que separava de forma intermitente os Sedimentos Pós-Barreiras dos Sedimentos Barreiras, separação essa desnecessária para fins de cartografia geotécnica.

No Horizonte Ferruginoso foram observadas duas novas fácies denominadas de fácies Arenoso Ferruginizado e Areno Argiloso.

Os horizontes Mosqueado e Pálido foram agrupados num mesmo horizonte, aqui denominado de Argiloso, um vez que, ambos não apresentam diferenças substanciais, para os fins propostos. Uma nova fácies foi descrita nesse horizonte denominada de Argilito Laminado.

O conjunto das mudanças acima observadas foram possíveis a partir de novos locais de avaliação e de objetivos notadamente diferentes, culminado com uma individualização dos materiais geológicos na Região Metropolitana de Belém, na perspectiva de definir unidades relativamente homogêneas, quanto às propriedades geotécnicas, divisão esta apresentada a seguir:

#### 5.3.2.2.1 - Horizonte de Solo

Freqüentemente é descrito na literatura como Pós-Barreiras (ver item 5.3.2.2), ou Cobertura Detrítica (Pará & IBGE 1995). Ocorre capeado por uma zona superficial de até 45 cm de espessura, de cor escura (acumulação de matéria orgânica), areno-argilosa, que suporta a vegetação atual, denominada na região de capa de covão.

O Horizonte de Solo é constituído por duas fácies uma de ocorrência geral (mais de 90% da área de ocorrência do Horizonte de Solo) denominada Silto-arenosa a Argilo-arenosa e outra de ocorrência restrita, Fácies Arenosa branca, ocorrente apenas em alguns pontos.

Fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa: apresenta espessura de até 4m, são, em geral, argilo-arenosos a silto-arenosa. Esses materiais são incoesos de cor cinza-amarelado a amarelo, por vezes bioturbadas e apresentam grãos milimétricos a centimétricos dispersos de concreções lateríticas, quartzo leitoso e ágata na forma de seixos, Figuras 5.9 e 5.10. Quanto à composição mineralógica são compostos por quartzo (grãos), caulinita (argila) e Al-goethita (cor amarela) e hematita (concreções).



Figura 5.9 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa) separada do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionária) por linha de seixos. Logo abaixo da fácies Concrecionário em contato brusco ocorre o Horizonte Argiloso (Fácies Argila Mosqueada). Praia do Paraíso - Ilha do Mosqueiro, Ponto M21.



Figura 5.10 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa) em contato brusco com o Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionária). Local de extração de Argila, piçarra e barro, desativado (06/99). Jazida Begot - região do Aurá, Ponto A2.

Fácies Arenosa: formada por depósitos de areias branca, com espessura de até 2m fruto da podzolização da fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa. São conhecidas na região como covões, Figuras 5.11 e 5.12. Essa fácies desenvolve-se em regiões planas associadas a redes de drenagem que possibilitam a lavagem do material. Do ponto de vista estratigráfico essa fácies poderia ser associada ao Quaternário Recente uma vez que os processos responsáveis por sua formação são observados no campo e continuam agindo, entretanto essa separação, no momento, dificultaria a compartimentação dos materiais geológicos para os fins propostos.



Figura 5.11 - Horizonte de Solo, fácies Arenosa, em jazida de extração de areia desativada, o que ocorre quando o nível d'água é exposto, devido às dificuldades de trafegabilidade, Ponto M21.

#### 5.3.2.2.2 - Horizonte Ferruginoso

O Horizonte Ferruginoso é separado do Horizonte de Solo por uma **linha de pedras**, intermitente; formada por agregados resultantes do dismantelamento do Horizonte Ferruginoso, principalmente das fácies Concrecionário e Arenito Ferruginoso ou mesmo como desagregação dos elementos/manchas ferruginosas, endurecidas do topo do Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueado) subjacente. Em certos locais o contato da linha de seixos com o Horizonte de Solo é gradacional, em outros é abrupto, erosivo, formando as clássicas linhas-de-pedras ou linha-de-seixos ou paleopavimentos, Figuras 5.9, 5.13, 5.14 . Em outros locais não é identificado observando-se apenas uma discordância erosiva, Figura 5.10.



Figura 5.12 -. Local de extração de areia e capa de covão, observando-se o Horizonte Ferruginoso, fácies Arenito Ferruginoso totalmente lixiviado, como resultado da podzolização que transformou o Horizonte de Solo em depósito de areia (fácies Arenosa), neste local já removido - Ilha do Mosqueiro, Ponto M21.

O Horizonte Ferruginoso apresenta-se em quatro fácies: Concrecionário, Arenito Ferruginoso, Arenoso Ferruginizado e Areno Argiloso.

A fácies Concrecionário ocorre logo abaixo do Horizonte de Solo, (Figuras 5.9, 5.10, 5.13 e 5.14). É representada por materiais com matriz areno-argilosa a areno-siltosa, envolvendo concreções lateríticas irregulares distribuídas aleatoriamente; apresenta coloração amarelada (Figura 5.9, 5.10, 5.13 e 5.14) ou avermelhada (Figura 5.15 e 5.16), exibe espessura que varia de alguns centímetros até 5m (ver Figura 5.20). A diferença de coloração observada na fácies pode estar associada a intensidade dos processos intempéricos; deste modo os locais avermelhados representam faixas ricas em hematita, enquanto os locais amarelados seriam o resultado da alteração desse mineral para goethita, fenômeno muito comum na região.

Fácies Arenito Ferruginoso ocorre, em geral, logo abaixo da fácies Concrecionário, fazendo contato inferior com o Horizonte Argiloso. É formada por matriz areno-argilosa a areno-

siltosa envolvendo blocos de arenito ferruginoso de dimensões centimétricas a métricas, de cor preta, constituídos de grãos de tamanho em geral areia podendo chegar até pedregulhos de quartzo cimentados por hematita. Essa fácies ocorre de maneira irregular e restrita, apresenta espessura que pode chegar a 2,5m. São conhecidas na RMB como pedra preta ou grés do Pará, Figuras 5.5, 5.9, 5.13, 5.17 e 5.18.

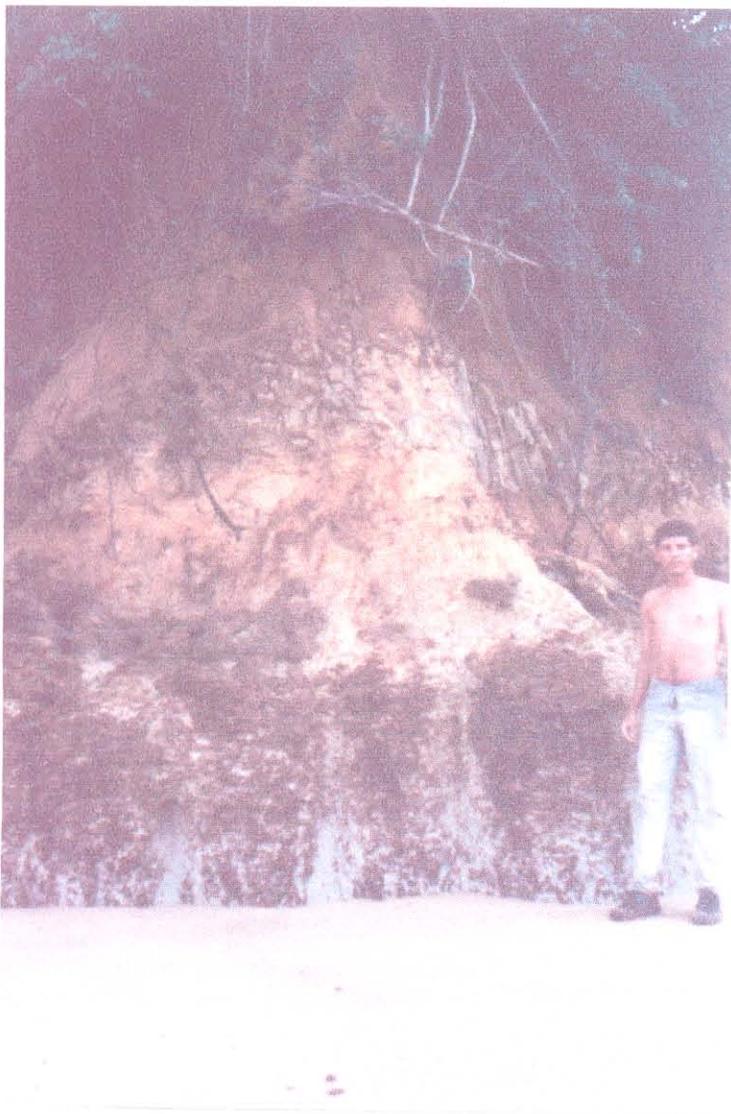


Figura 5.13 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenoso a Argilo-Arenoso) separado do Horizonte Ferruginoso (fácies Concrecionário no topo e Fácies Arenito Ferruginoso na base) por linha de Seixos, na base da falésia é observado o Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueada). Praia Grande, Baía do Sol, ilha do Mosqueiro, Ponto M22.

Fácies Arenoso Ferruginizado é constituída por seqüências essencialmente arenosas (mais de 80%) ferruginizadas, de coloração amarelada e avermelhada (Figuras 5.14, 5.19 e 5.20).

Ocorre também na base da fácies Concrecionária, em alguns locais ocorrem em contato direto com o Horizonte de Solo separados por linha de seixos (Figura 5.14). Essa fácies representa níveis arenosos dos Sedimentos Barreiras que não foram cimentados pela hematita, resultando em materiais arenosos inconsolidados, os quais quando expostos podem causar o descalçamento dos materiais superiores, o que resulta em rupturas localizadas nas cavas de extração de materiais naturais de construção (Figura 5.19).

A variação de cor de avermelhada (Figuras 5.19 e 5.20) a amarelada (Figura 5.14) é resultado, provavelmente, da diferença da intensidade do intemperismo; os avermelhados representam locais onde a hematita ainda encontra-se preservada, protegida pelos níveis superiores menos permeáveis como na região do Aurá (Figuras 5.19 e 5.20); enquanto que nos amarelados a hematita já foi alterada para goethita, como na praia do Bispo na ilha do Mosqueiro, onde está em contato direto com horizontes bem drenados (Figura 5.14).

Fácies Arenos Argilosa, é constituída por areias argilosas maciças de coloração avermelhadas. Ocorrem ao mesmo nível topográfico da fácies Concrecionária, resultando de uma variação lateral desta fácies, como é observado em uma das jazidas da Prefeitura Municipal de Belém, na região do Aurá, Figura 5.21.

Quanto à composição mineralógica observada o Horizonte Ferruginoso é constituído por quartzo, caulinita, hematita e goethita, em diferentes proporções a depender da fácies avaliada.

#### 5.3.2.2.3 - Horizonte Argiloso

O Horizonte Argiloso, ocorre logo abaixo do Horizonte Ferruginoso; é formado por uma espessa camada de argila que pode chegar até a 8m de espessura, ocorrendo em três fácies:

Fácies Argila Mosqueada forma seqüências essencialmente argilosas (caulinita), tendo algum quartzo formando lentes centimétricas de areia, além de hematita e goethita, as quais são responsáveis pela formação de manchas irregulares com tons variados de vermelho e amarelo. Observada nas falésias das ilhas de Outeiro e Mosqueiro, ocorre logo abaixo do Horizonte Ferruginoso. No contato com a fácies Arenito Ferruginoso (Figura 5.18), apresenta-se endurecido pela presença de hematita, Figura 5.22. As Figuras 5.3, 5.4, 5.13 e 5.23 exibem algumas formas de ocorrência desses materiais.

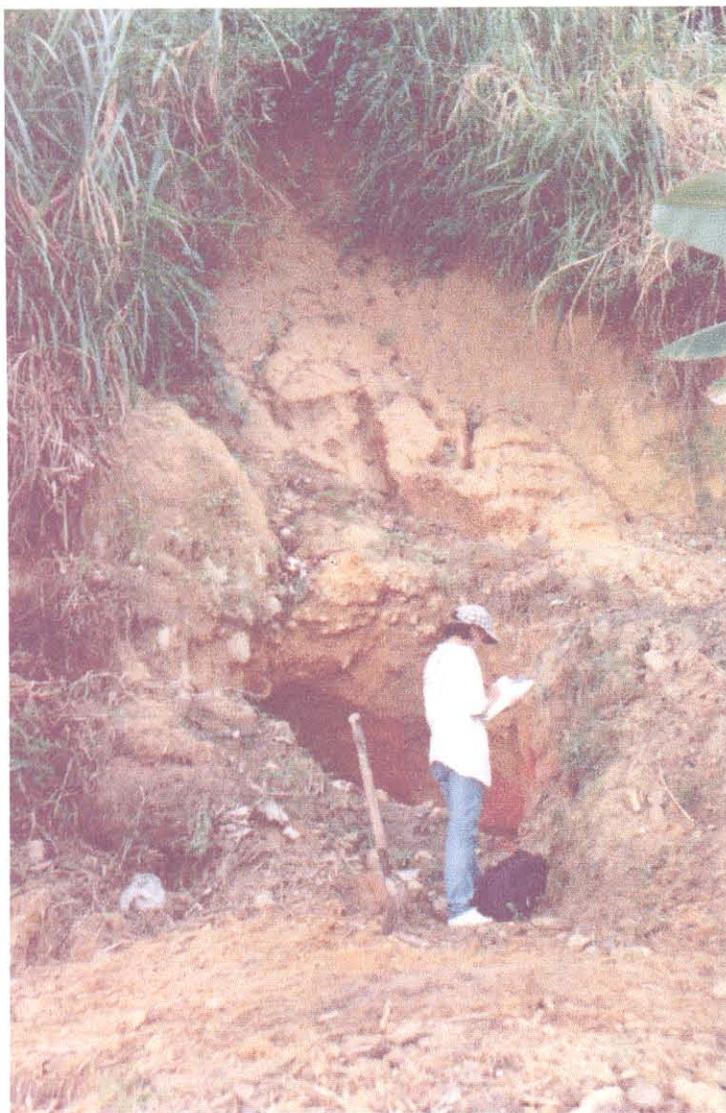


Figura 5.14 - Do topo para a base: Horizonte de Solo (fácies Silto-arenoso a Argilo-Arenoso) separado do Horizonte Ferruginoso (fácies Arenoso Ferruginizado) por linha de Seixos, neste local observa-se na altura da linha de seixos uma ruptura do Horizonte de Solo, comum no local. Praia do Bispo, ilha do Mosqueiro, Ponto M45

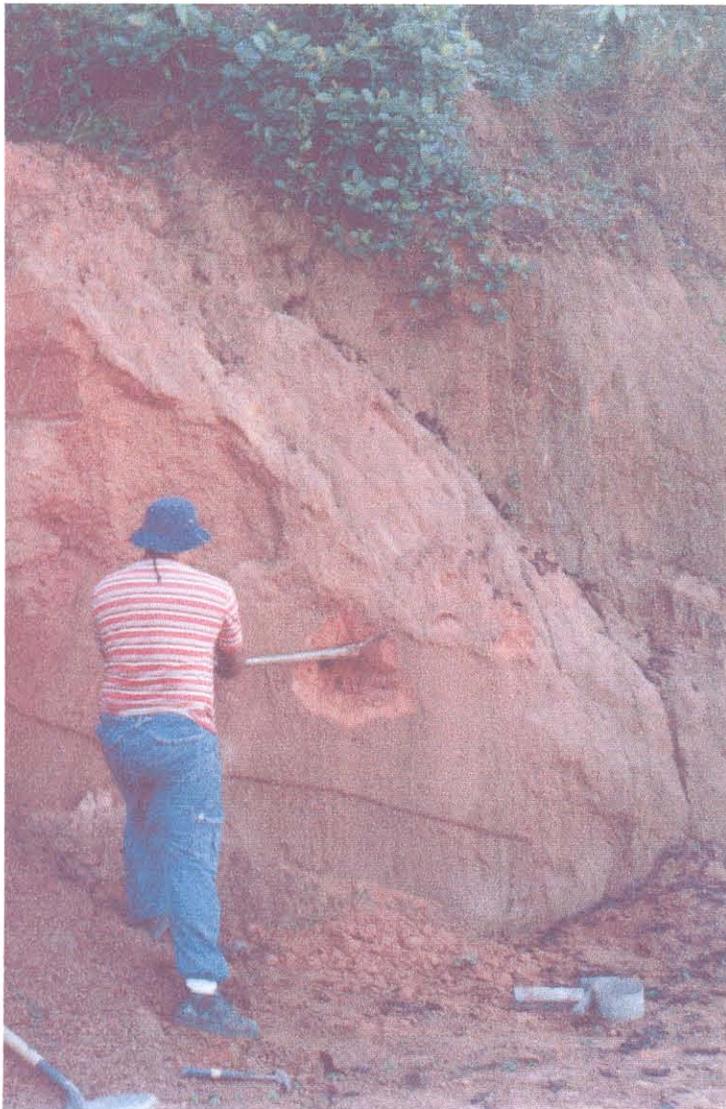


Figura 5.15 - Horizonte Ferruginoso ( fácies Concrecionário), sendo preparado para amostragem com anel de parede fina, jazida de barro e piçarra da empresa Terraplena, ilha do Outeiro Ponto O5.



Figura 5.16 - Detalhe do Horizonte Ferruginoso ( fácies Concrecionário), sendo preparado para amostragem com anel de parede fina, jazida de barro e piçarra da empresa Terraplena, ilha do Outeiro Ponto O5.



Figura 5.17 - Do topo para a base: Horizonte de Solo separado por linha de seixos do Horizonte Ferruginoso - constituído pelas fácies Concrecionário na porção superior e Arenito Ferruginoso, na base. Praia do Paraíso, ilha do Mosqueiro, Ponto M17.



Figura 5.18 – Contato do Horizonte Ferruginoso (fácies Arenito Ferruginizado) com o Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueado). Praia do Paraíso, Mosqueiro, Ponto M17.

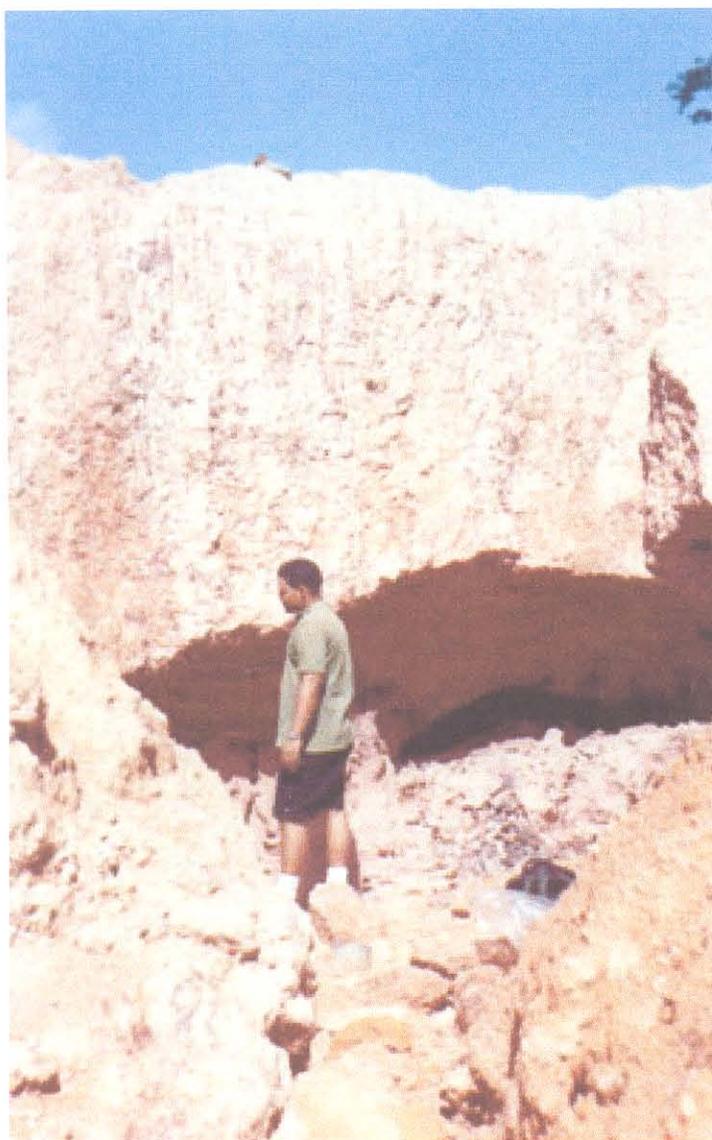


Figura 5.19 -  
Horizonte  
Ferruginoso, do topo  
para a base temos:  
fácies Concrecionário  
em contato com a  
fácies Arenosa  
Ferruginizada, friável  
e erodível o que  
resulta no  
descalçamento do  
nível superior. Jazida  
de barro e piçarra,  
desativada, região do  
Aurá, Ponto A5.

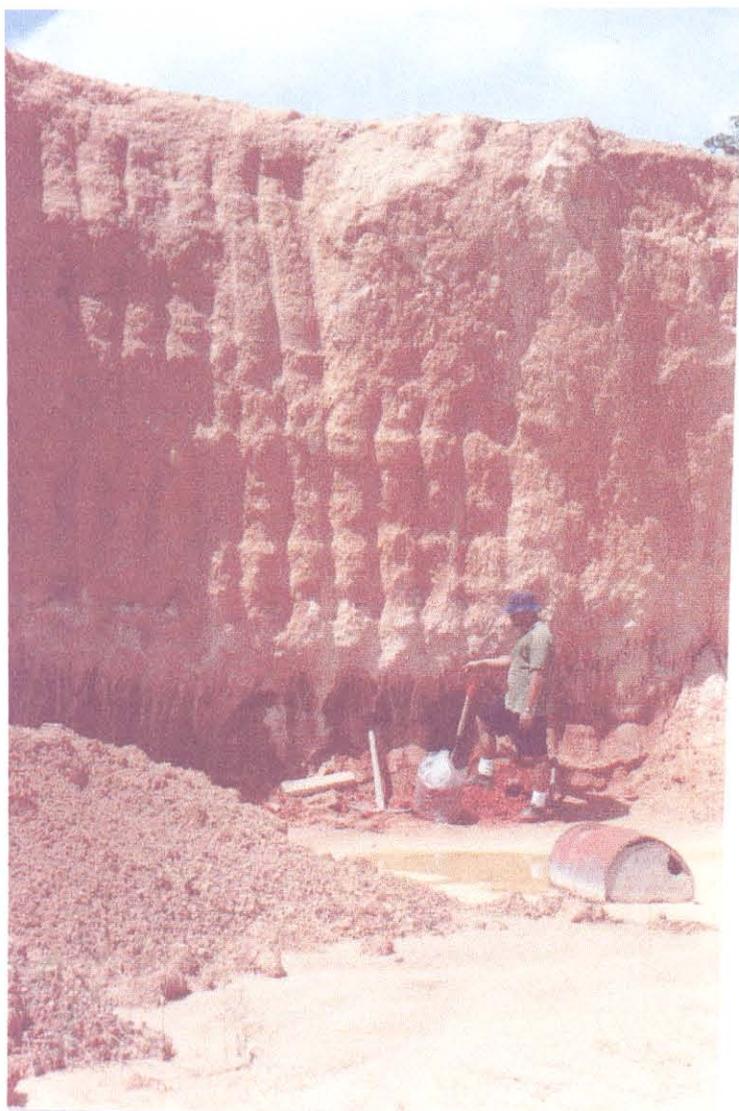


Figura 5.20 - Horizonte Ferruginoso, do topo para a base temos: fácies Concrecionário em contato com a fácies Arenosa Ferruginizada. Jazida de barro e piçarra, desativada, região do Aurá, Ponto A7.

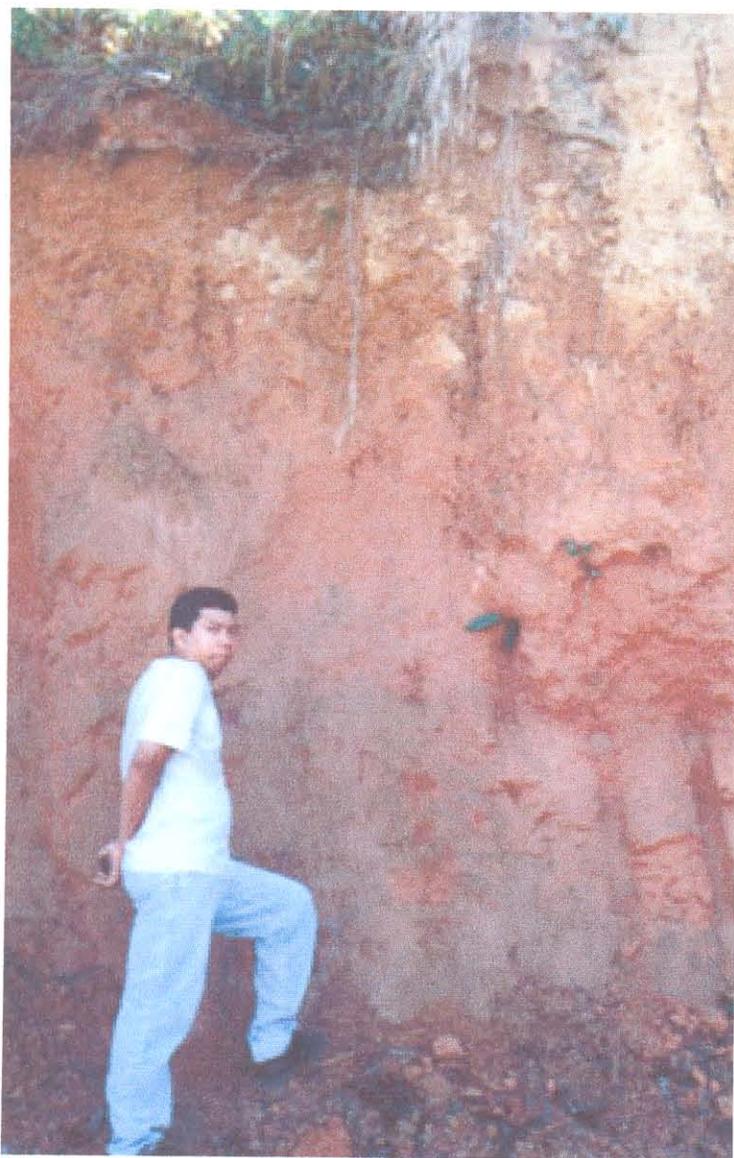


Figura 5.21 - Horizonte Ferruginoso fácies Areno Argiloso. Uma das jazidas da Prefeitura Municipal de Belém, usada para extração de material de empréstimo utilizado no recobrimento dos resíduos sólidos no lixão do Aurá, região do Aurá, Ponto A1.



Figura 5.22 - Detalhe do Horizonte Argiloso, fácies Argila Mosqueada, observando-se manchas de hematita (rosadas) e goethita (amarelas). Praia de Brasília, ilha do Outeiro Ponto O2.

Fácies Argilito Laminado é formada por argilas (caulinita) finamente laminadas de coloração branca com manchas avermelhas, observada na região do Aurá. É formada mineralogicamente por caulinita e pouco quartzo, tendo goethita e hematita como acessórios os quais formam manchas insipientes. Ocorre também logo abaixo do Horizonte Ferruginoso. São utilizadas como fonte de argila para a indústria cerâmica.

Fácies Argilito Maciço é formada por argilas brancas (caulinita) maciças observada nas falésias das ilhas de Outeiro e Mosqueiro, são compostas mineralogicamente por caulinita e algum quartzo. Ocorrem logo abaixo da fácies Argila Mosqueada e apresenta espessura superior a 1m, Figura 5.24 .



Figura 5.23 - Detalhe do Horizonte Argiloso, fácies Argila Mosqueada. Praia do Paraíso, ilha do Mosqueiro, Ponto M17.

Durante a descrição geológica do Horizonte Argiloso, este foi subdividido muito mais em função de suas características sedimentológicas, do que em função de suas propriedades geotécnicas (mecânicas e hidráulicas), o que não deverá ocorrer na individualização das unidades de materiais inconsolidados.

Os níveis descritos até o momento representam apenas o topo dos Sedimentos Barreiras. A maiores profundidades, entretanto, identifica-se nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas uma seqüência de argilas intercaladas a materiais arenosos, o que é indicado por Sondagens Elétricas Verticais (SEVs). Mendes (2000) executou 4 seções ao longo da área central da Região Metropolitana de Belém, Figura 5.25, as quais são reproduzidas nas Figuras 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29.



Figura 5.24 - Da topo para a base: horizonte superficial, Horizonte de Solo, Horizonte Ferruginoso, marcado por sulcos, seguido pelo Horizonte Argiloso com as fácies Argila Mosqueada na porção superior e Argilito Maciço na base. Notar que a falésia encontra-se ativa, observando-se no primeiro plano blocos soltos como resultado do desmonte da falésia pela ação das Ondas. Ilha do Outeiro, Ponto A1.

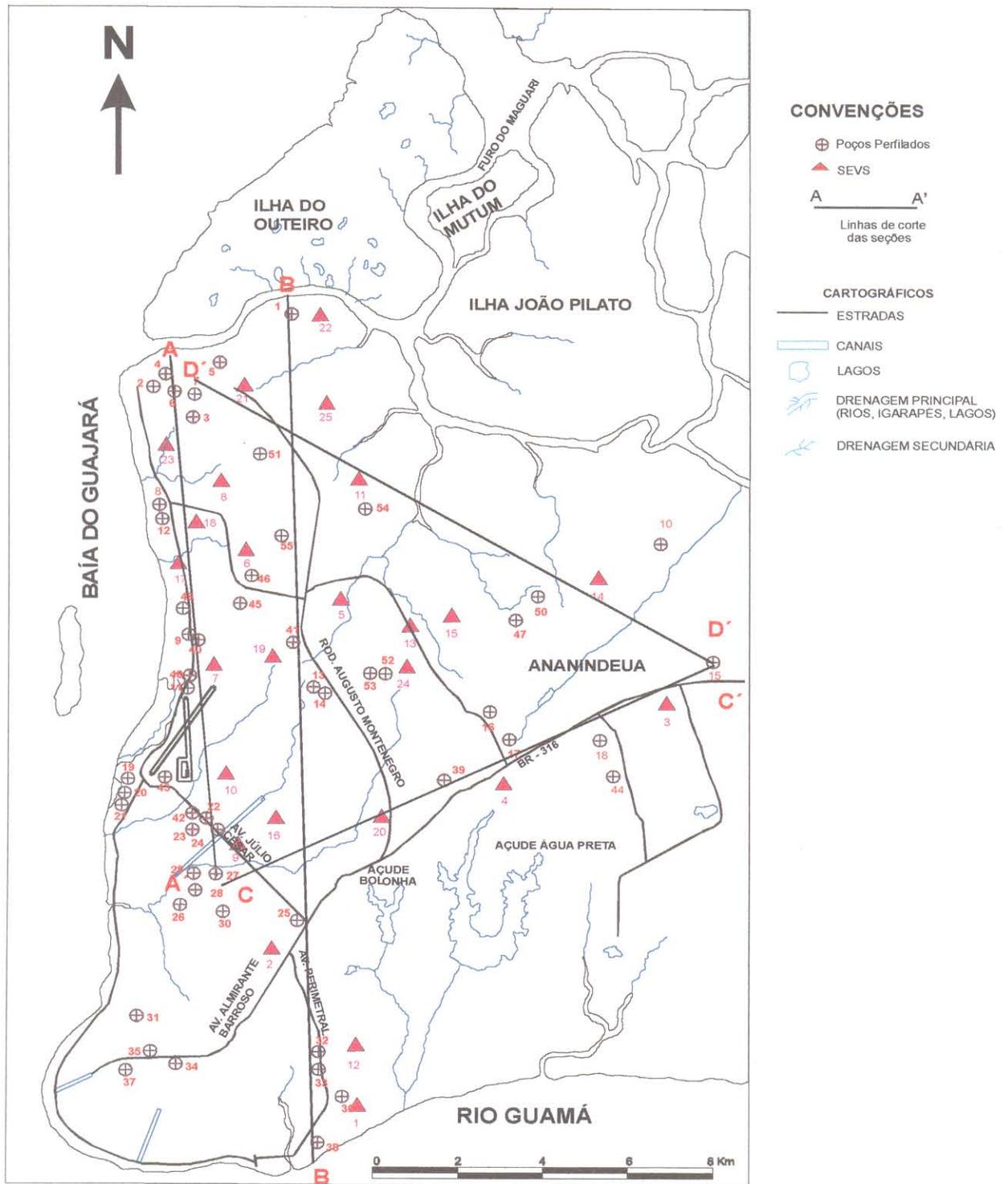
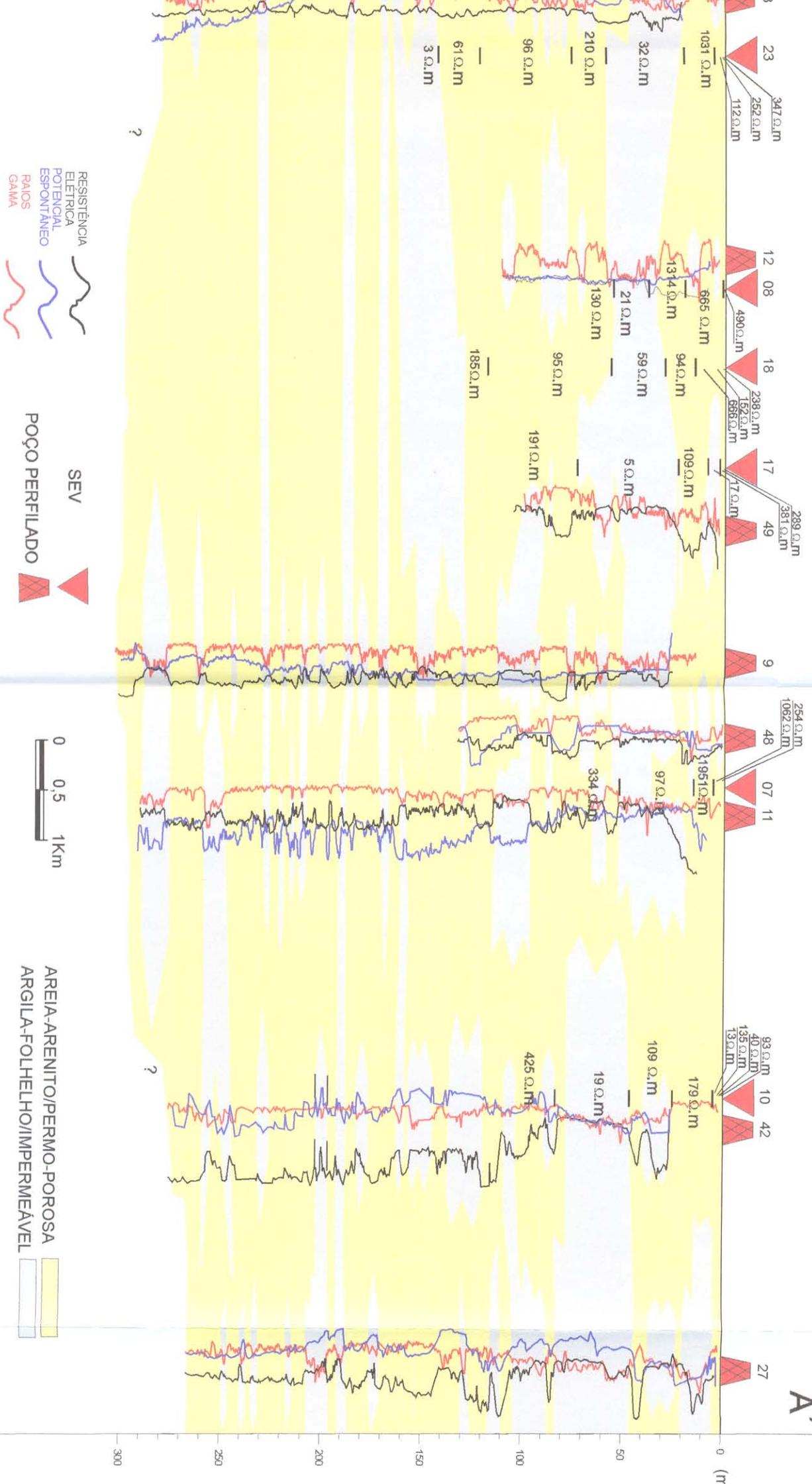


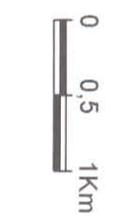
Figura 5.25 – Mapa de localização das SEVs e dos Poços Perfilados por Mendes (2000).

A'



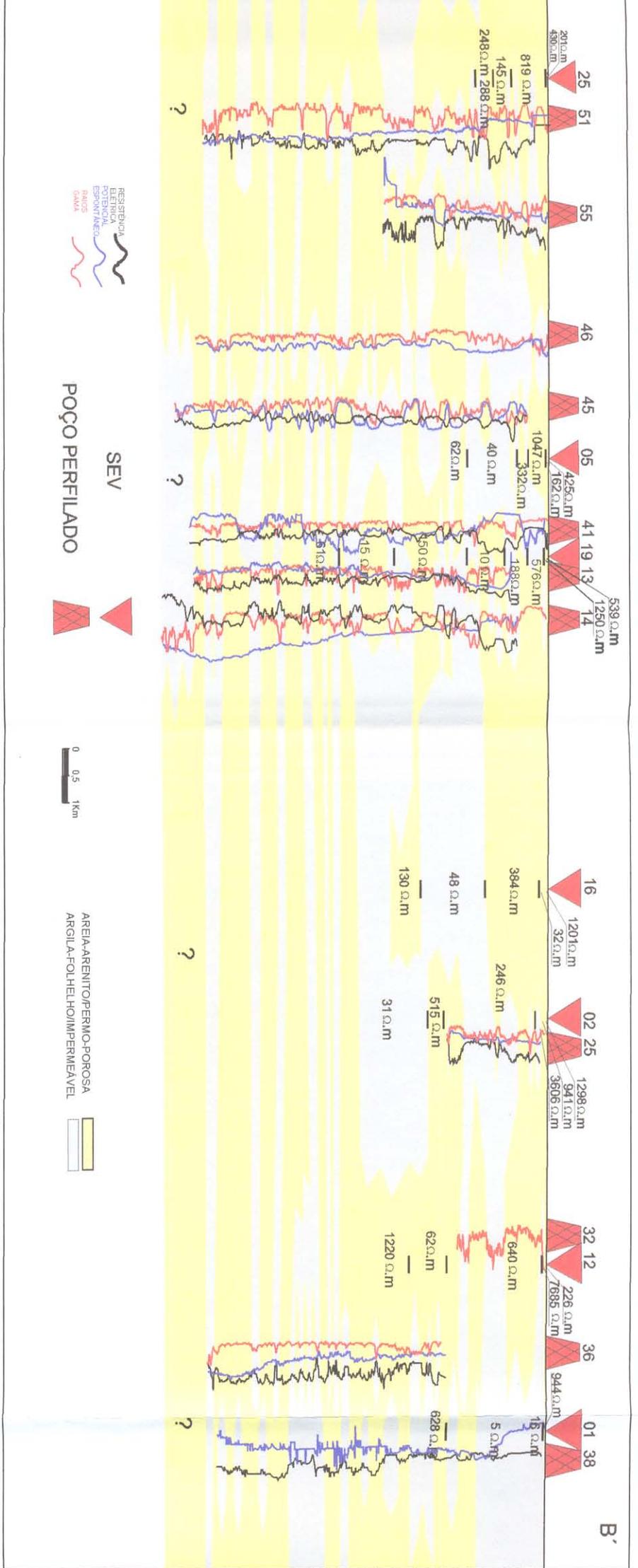
RESISTÊNCIA ELÉTRICA  
POTENCIAL ESPONTÂNEO  
RAIOS GAMA

SEV  
POÇO PERFILADO

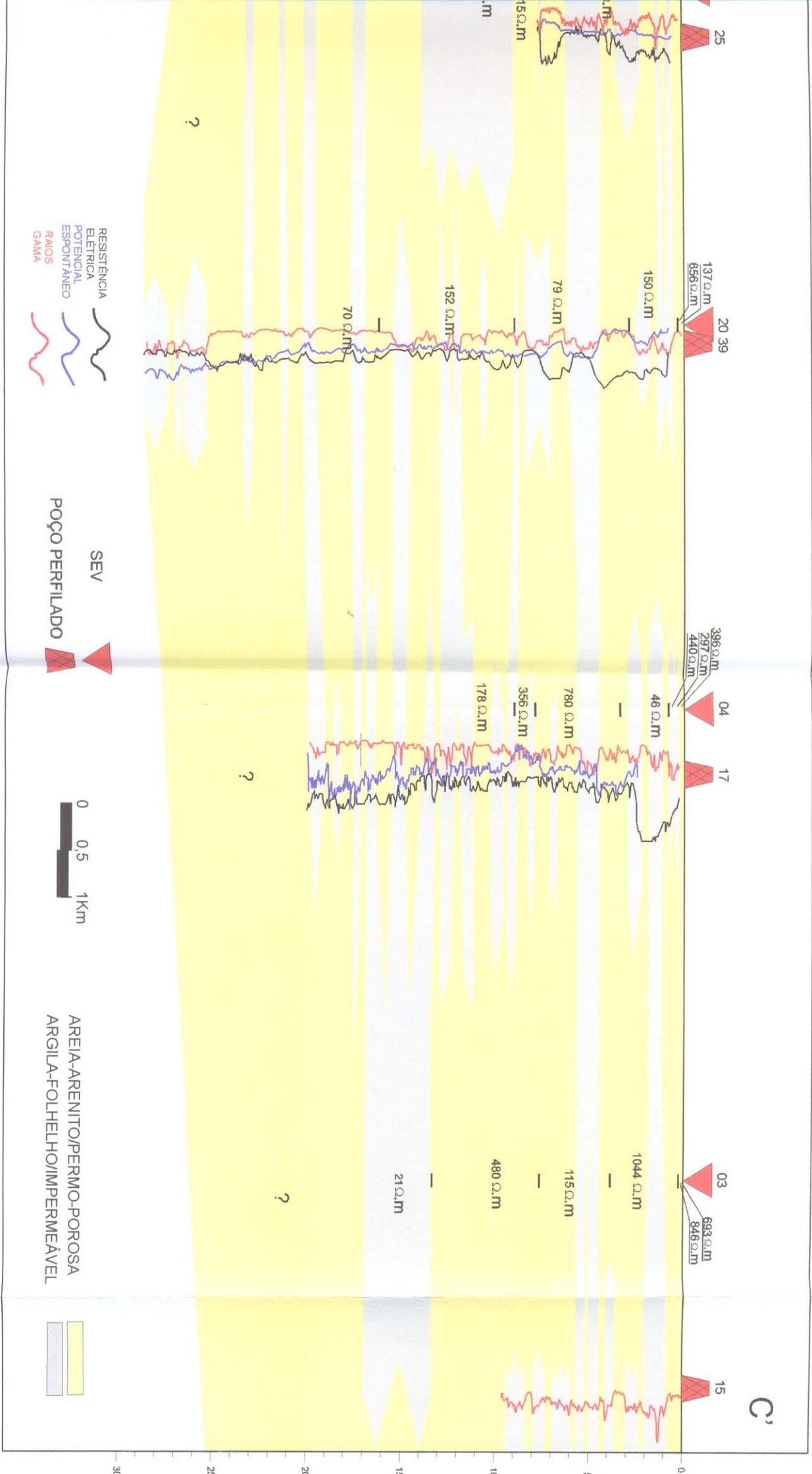


AREIA-ARENITO/PERMO-POROSA  
ARGILA-FOLHELHO/IMPERMEÁVEL

0 (m)  
50  
100  
150  
200  
250  
300



geológica interpretada BB', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção N-S, ver Figura 5.25 (Mendes 2



Geológica interpretada CC', nos Sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas atravessando parte da Região Metropolitana de Belém na direção NE-SW, ver Figura 5.25 (Mende



### 5.3.2.3 - Sedimentos Inconsolidados

Os Sedimentos Recentes estão associados a depósitos de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas orgânicas ou não, relacionados aos principais cursos d'água e intercalados, em vários locais, com níveis arenosos, na forma de camadas ou lentes. Esses materiais apresentam espessuras, em geral, que variam de 2 a 70m, as quais dependem do curso d'água vinculado ao depósito e das condições de formação, parâmetros esses que ainda não se encontram bem definidos. Os materiais finos apresentam altos teores de umidade e elevado índice de vazios, baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade. As Figuras 5.30 e 5.31 ilustram a forma de ocorrência desses materiais.



Figura 5.30 – Ocorrência de Sedimentos Recentes, formado por argilas muito moles bioturbadas, em canal de maré, próximo a ponte de Mosqueiro. Ponto M23.

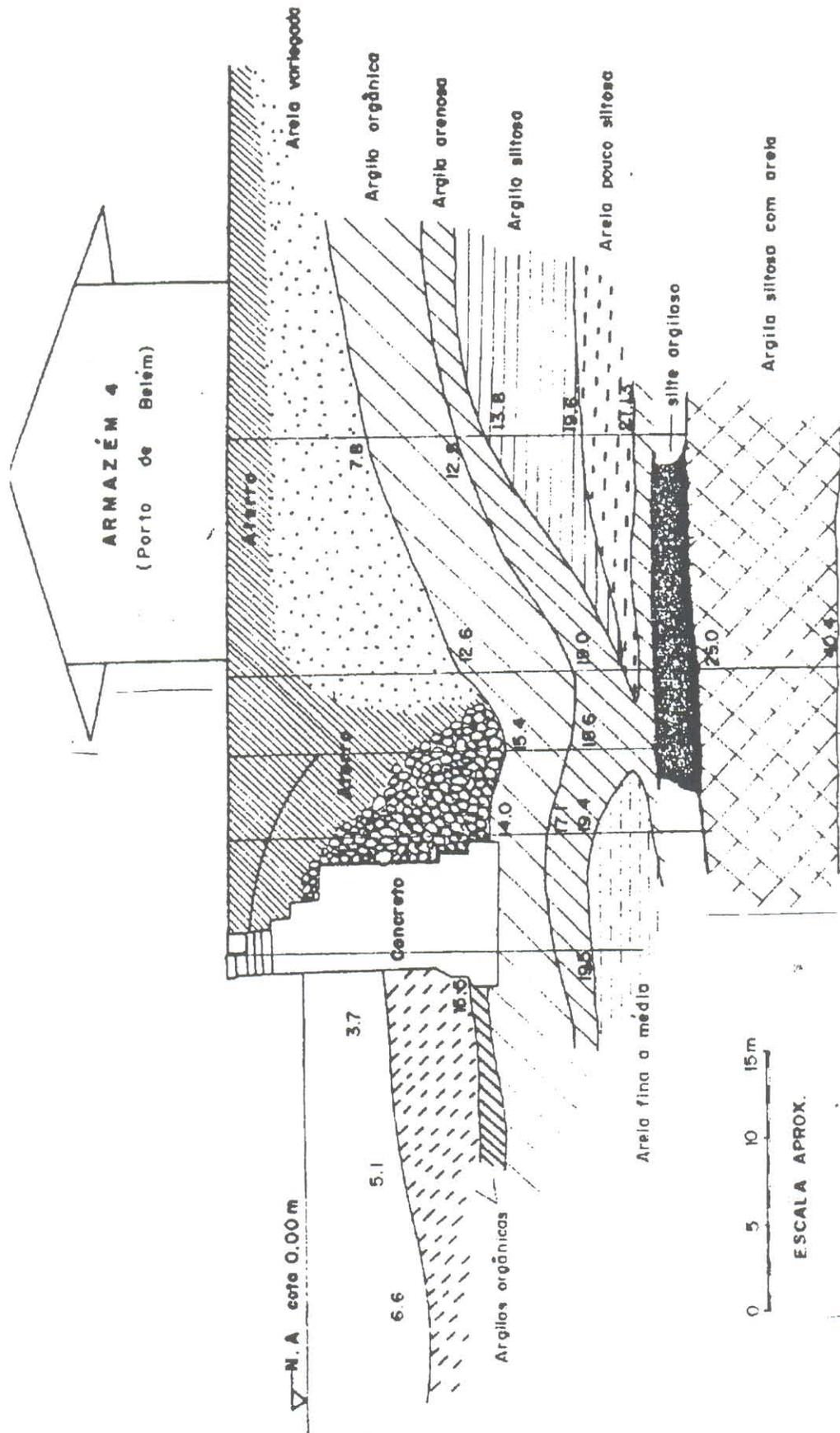


Figura 5.31 - Ilustra a forma de ocorrência dos Sedimentos Inconsolidados, elaborado a partir de dados de sondagens realizadas no Porto de Belém pela Companhia de Docas do Pará (Pinheiro 1987).

#### 5.4 - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO IV)

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é caracterizada pela ocorrência de sedimentos Quaternários e Terciários, não observando-se com frequência a ocorrência de rochas as quais são observadas de maneira errática (Fácies Arenito Ferruginoso do Horizonte Ferruginoso e argilitos do Horizonte Argiloso); deste modo os limites das unidades geológicas coincidem perfeitamente com os limites das unidades de materiais inconsolidados, constituídas em sua totalidade por solos transportados.

Para execução dos trabalhos foi utilizado o conceito de perfis de alteração aqui entendido como uma seqüência de camadas de materiais, com diferentes propriedades físicas, que se desenvolvem “*in situ*” a partir da decomposição das rochas como resultado do intemperismo fruto de fenômenos físicos, químicos, biológicos e físico-químicos, que podem agir em conjunto ou separadamente. Como materiais inconsolidados, entende-se todo o material do perfil de alteração acrescido dos materiais transportados sotopostos ao mesmo ou a rocha, na perspectiva de não ferir conceitos genéticos, de origem, formação e evolução e ao mesmo tempo adequar o conceito às necessidades de uso pela engenharia, como apregoado por Souza & Zuquette (1991).

Como base topográfica para os trabalhos de campo foram utilizadas as folhas 1:10.000, da Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belém, o detalhamento dos trabalhos foi compatível com a escala 1:50.000. A fotointerpretação foi realizada nas escalas 1:40.000.

A partir da individualização das unidades de materiais inconsolidados foram coletadas 132 amostras deformadas e 96 amostras em anel de parede fina. As amostras coletadas foram submetidas aos ensaios de granulometria conjunta, massa específica dos sólidos, limites de liquidez, limite de plasticidade e compactação energia Proctor normal. A amostragem com anel de parede fina, associada ao ensaio de massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ) e umidade natural ( $W_n$ ) permitiu calcular todos os índices físicos utilizando-se de fórmulas de correlação; para todas as unidades de materiais inconsolidados.

O ensaio de compactação energia Proctor normal possibilitou calcular a massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d\text{ máx.}}$ ) e o teor de umidade ótimo ( $W_{\text{ót.}}$ ) para cada unidade de material inconsolidado obtidos através da curva de compactação.

As amostras coletadas foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Granulometria conjunta (NBR 7181);
- Massa específica dos sólidos (segundo Nogueira 1998);
- Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (NBR 6459 e NBR 9180, respectivamente);
- Ensaio de compactação Proctor normal (NBR 7182).

#### 5.4.1 - Característica dos materiais inconsolidados

Foram definidas para a Região Metropolitana de Belém, 3 unidades de materiais inconsolidados, sendo cada unidade caracterizada por um perfil típico de alteração que traz informações sobre a gênese, espessura máxima e mínima e classificação (granulométrica e Sistema Unificado de Classificação dos Solos). Além dos valores médios, máximos e mínimos de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade ( $n$ ), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{s\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ) para cada nível.

Simbologia adotada:

- Correlação geológica: SR - Sedimentos Recentes; SPB - Sedimentos Pós-Barreiras; SB - Sedimentos Barreiras. FSA - Fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa; FA - Fácies Arenosa; FC - Fácies Concrecionária; FAA - Fácies Areno-argilosa; AF - Fácies Arenito Ferruginoso; FAF - Fácies Arenoso Ferruginizado; HA - Horizonte Argiloso.
- Gênese: RE-solo retrabalhado, RS-solo residual maduro, R-rocha sã e Al-material aluvionar.
- Textura: 1-areia, 1.1-areia com pouco silte, 1.2-areia com pouca argila, 2-areia siltosa, 3-areia argilosa, 4-areia silto-argilosa, 5-areia argilo-siltosa, 6-silte, 6.1- silte com pouca areia, 6.2-silte com pouca argila, 7-silte arenoso, 8-silte argiloso, 9-silte areno-argiloso, 10-silte argilo-arenoso, 11-argila, 11.1-argila com pouco silte, 11.2-argila com pouca areia, 12-argila arenosa, 13-argila siltosa, 14-argila areno-siltosa, 15-argila silto-arenosa.

Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

- A classificação do solo é feita através de um símbolo e de um nome.

- Os nomes dos grupos, são simbolizados por um par de letras.
- Os solos são distribuídos em três divisões: grossos, finos e altamente orgânicos.
- A Figura 2.32 - Gráfico de Plasticidade, montado a partir dos limites de consistências dos solos finos e as Figuras 5.33, 5.34, 5.35 e 5.36; com os fluxogramas, que a partir das características granulométricas para os solos grossos (pedregulhos e areias) e características da plasticidade e granulométricas para os solos finos (siltes e argilas) levam à classificação dos solos e a simbologia utilizada, na descrição das unidades cartografadas.

AF - presença de lentes de arenito ferruginoso.

n - porosidade.

$\gamma_d$  - massa específica seca.

$\gamma_s$  - massa específica dos sólidos.

$\gamma_{s \text{ máx}}$  - massa específica aparente seca máxima.

$W_{\text{ót}}$  - umidade ótima.

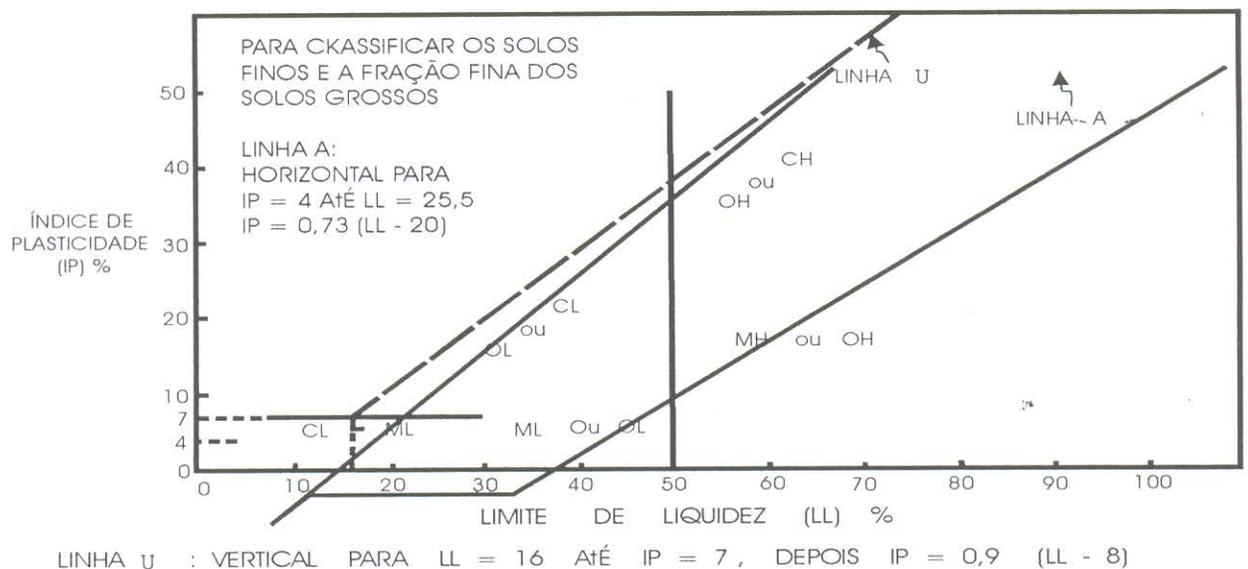
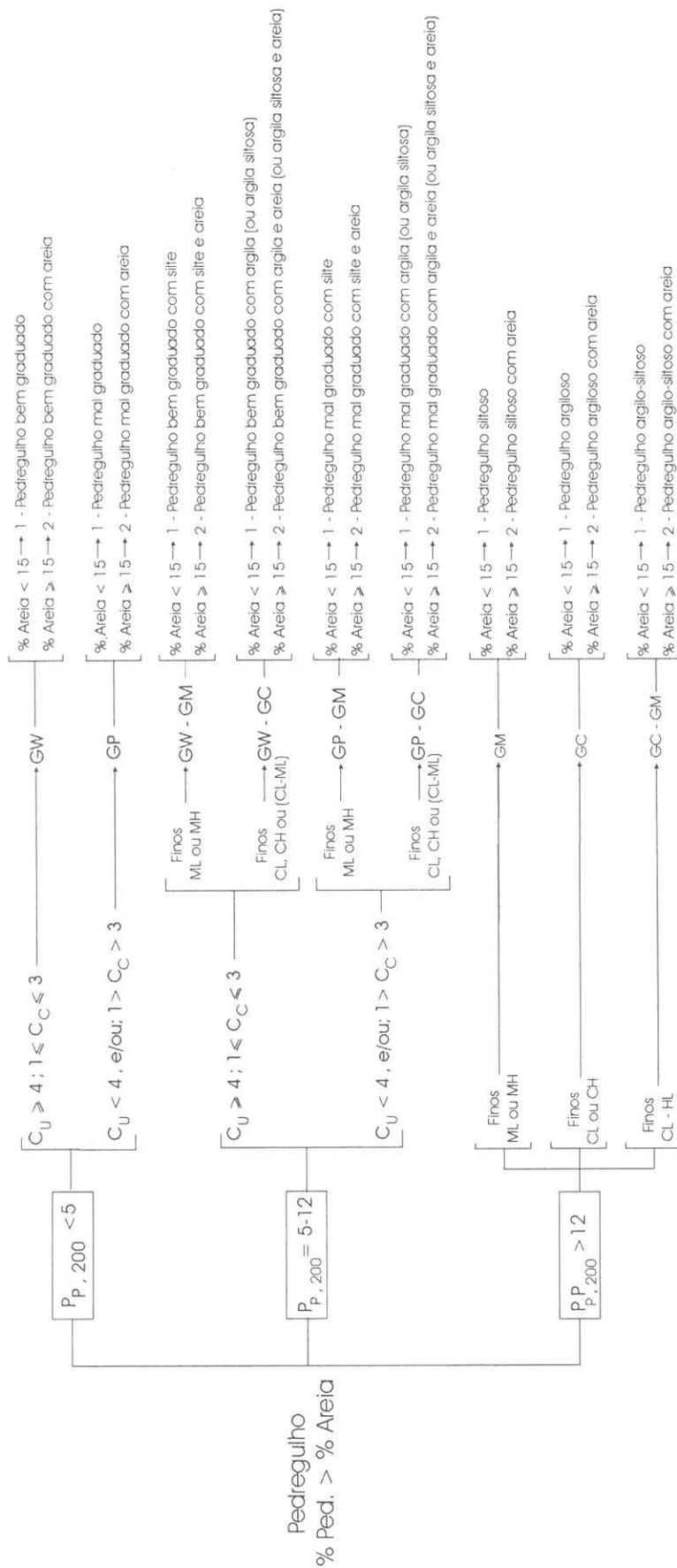


Figura 5.32 - Gráfico de Plasticidade, montado a partir dos limites de consistências dos solos finos (Howard<sup>1</sup> apud Nogueira 1988).

<sup>1</sup> HOWARD, A.K. 1984. The revised ASTM standard on the Unified Classification System. *Geotechnical Testing Journal*, 7(4) : 216-222.



Figuras 5.33 – Fluxograma para a classificação dos pedregulhos, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).

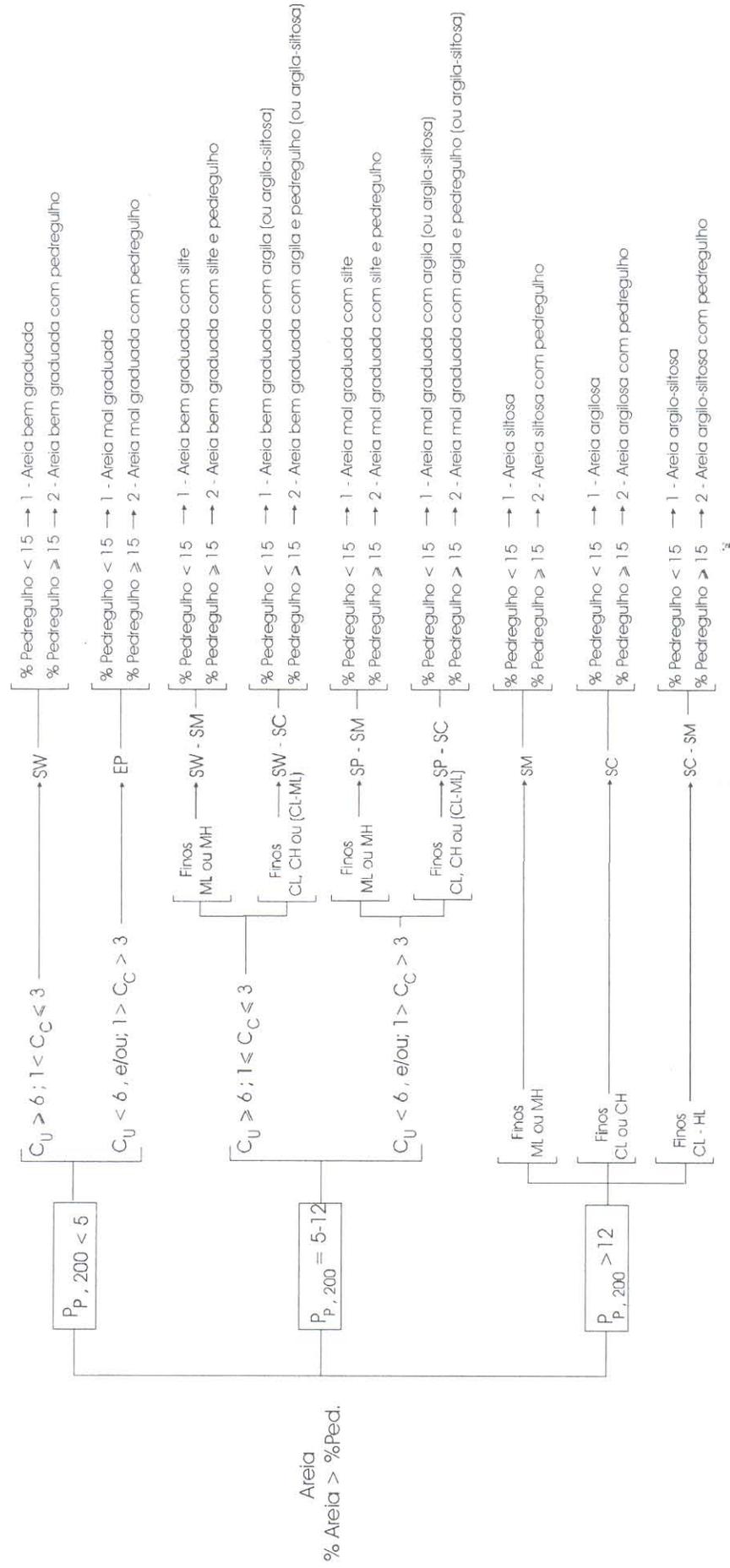


Figura 5.34 - Fluxograma para a classificação das areias, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988)

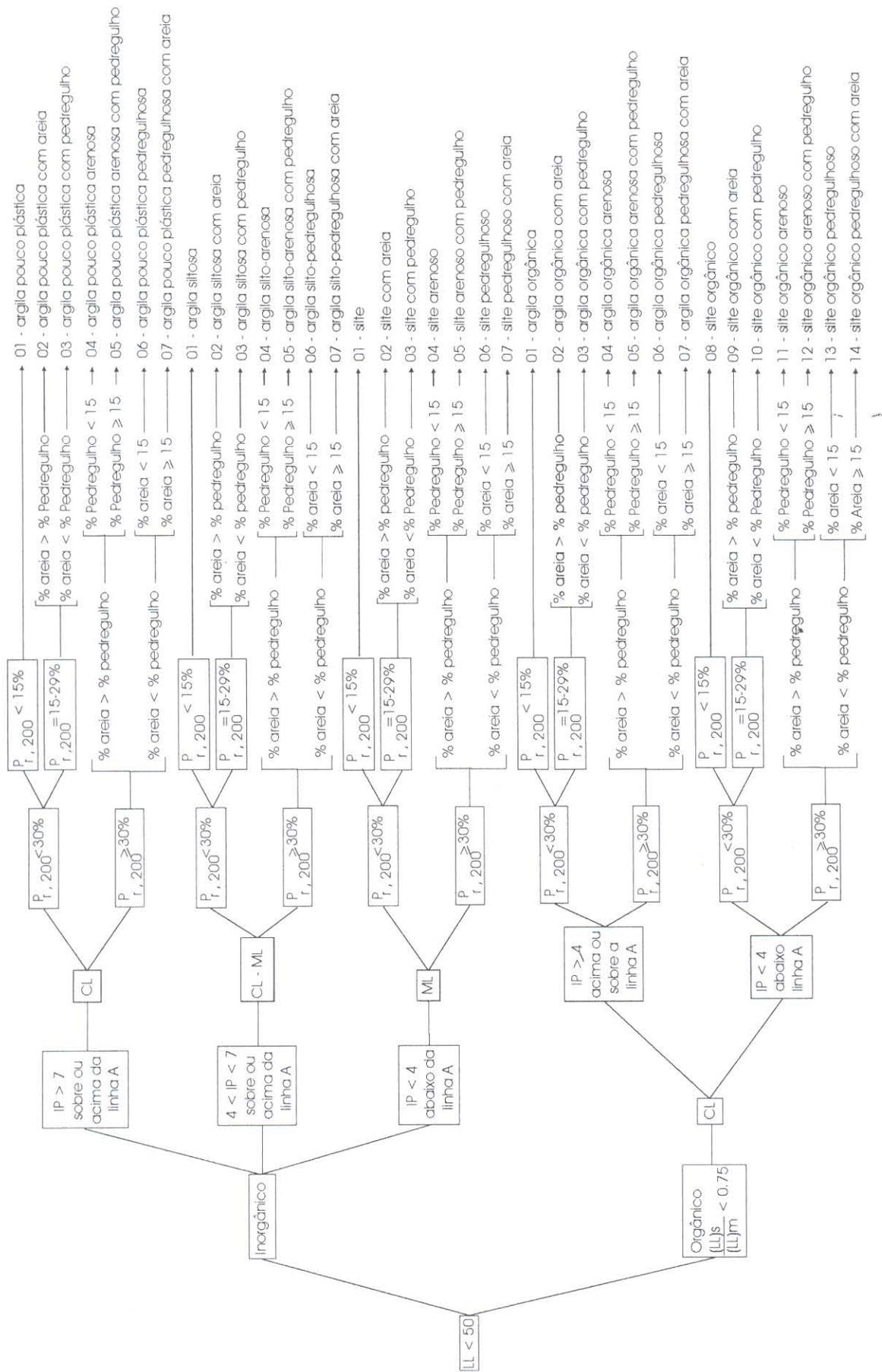


Figura 5.35 - Fluxograma para a classificação dos solos finos de baixa plasticidade, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988)

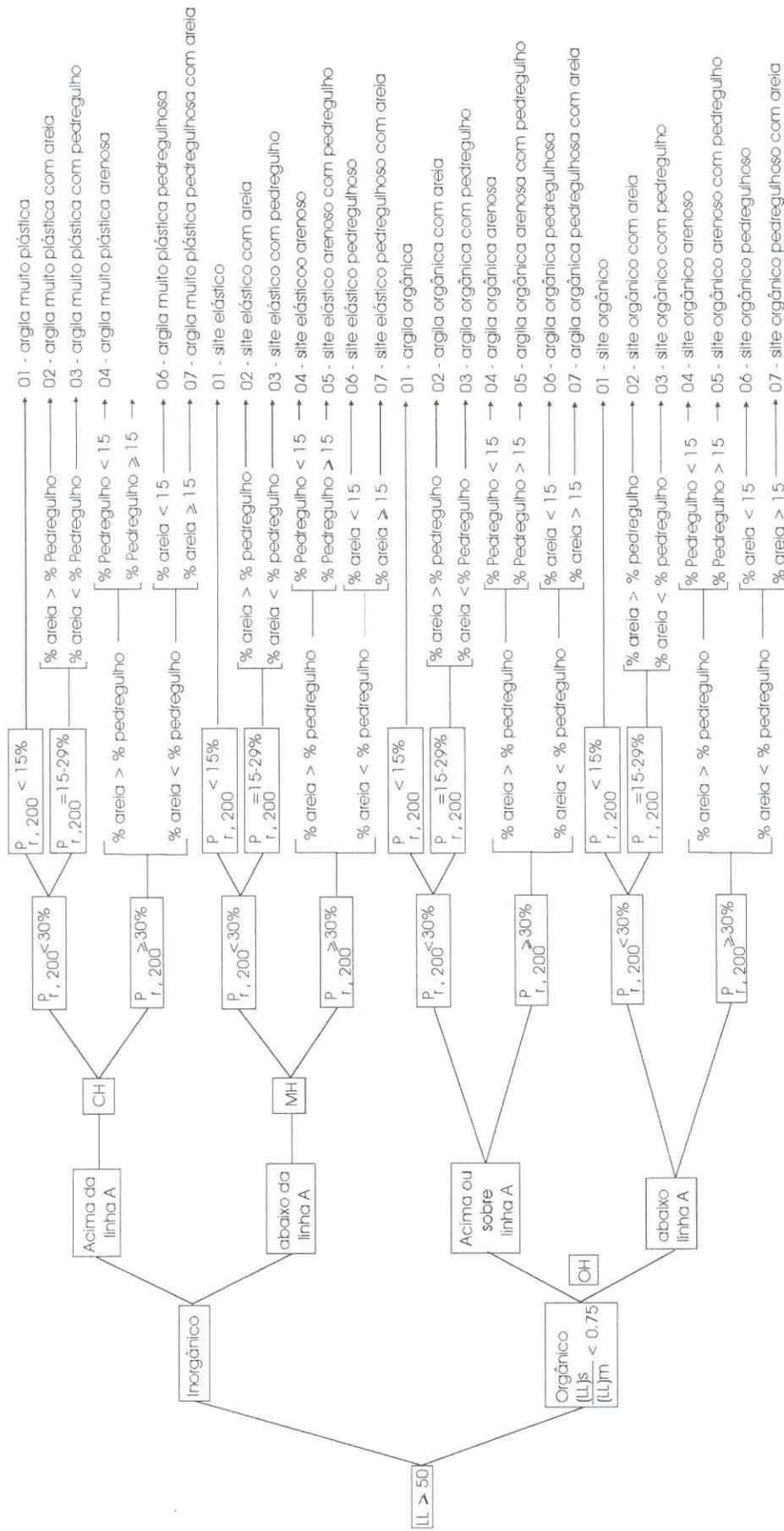


Figura 5.36: - Fluxograma para a classificação dos solos finos de alta plasticidade, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Nogueira 1988).

Para classificação textural, optou-se pelo mesma adaptação adotada por Collares (1994), a saber:

a - Foram consideradas as seguintes faixas granulométricas:

a.1 - argila: partículas menores que 0,002mm;

a.2 - silte: partículas entre 0,002mm e 0.074mm;

a.3 - areia: partículas maiores que 0,074mm.

b - Quando a variação entre a faixa maior e a intermediária for superior a 60%, o nome do solo leva apenas o substantivo da faixa maior. Ex: silte (80%).

c - Quando a variação entre a faixa maior e a intermediária estiver entre 31% a 60%, o nome do solo é composto pelo substantivo da maior faixa mais a expressão “com pouco (a)”, mais substantivo da faixa intermediária. Ex: argila (65%) com pouca areia (18%).

d.1-Quando a variação entre as faixas estiver entre 10% e 30%, o nome do solo é composto pelo substantivo da maior faixa mais o adjetivo da faixa intermediária. Ex: silte (55%) arenoso (30%).

d.2-Quando quaisquer das faixas possuírem variações inferiores a 10%, o nome do solo leva o adjetivo destas faixas separadas por hífen. Ex: argila(49%) areno(27%)-siltosa (24%), argilo(46%)-siltoso(39%), argilo(37%)-areno(34%)-siltoso(29%).

No Anexo IV, é apresentada a distribuição cartográfica dos materiais inconsolidados da Região Metropolitana de Belém, na escala 1:50.000. A descrição das unidades e suas características consideradas são discutidas a seguir e ilustradas pelos seus perfis típicos.

#### 5.4.1.1 - Unidade I:

Esta unidade é associada aos depósitos de Sedimentos Recentes. apresenta granulometria predominantemente argilosa, com lentes e camadas de areia associada.

Perfil típico

1-70m SR, RE, AI, 6.2, MH-5

Esta unidade apresenta os valores médios, máximos e mínimos de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade ( $n$ ), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{s \text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ) descritos na Tabela 5.3, para cada nível.

Tabela 5.3 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade ( $n$ ), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d \text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ).

NÍVEL	LL			LP			IP			n		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
	46	65	24	24	47	15	22	36	8	66,94	70	52

NÍVEL	$\gamma_d$			$\gamma_s$			$\gamma_{d \text{ máx}}$			Wót		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
	0,95	1,2	0,88	2,66	2,68	2,62	-	-	-	-	-	-

#### 5.4.1.2 - Unidade II:

##### Perfil típico

0,5-4m	SPB; FSA; RE; 1.1, 1, 5 e 4; CL-2, CL-4; SC-1, CL-ML-4, SP-SC-1	0,5-3m	SPB; RE, FA, 1, SW-1, EP-1
0,5-5m	SB; FC; RE; 4, 1.1, 1.2, 10; CL-4, CL-2, CH-7	0,5-4m	SB; FAA; RE; 1.2; SW-SC-1
0-2,5m	SB; AF; OR; R	0-4m	SB; FAF; RE; 1, CL-2
2-8m	RE, HA; 6.2, 9, 10, 15; MH-4, MH-5; CH-4, CL-4		

Trata-se de unidade associada aos sedimentos Pós-Barreiras e Barreiras. É constituída por 4 níveis do topo para a base temos:

- Nível 1, ocorre na superfície do terreno é associado ao Horizonte de Solo (ver item 5.3), nele estão representados dois sub-níveis: Sub-nível 1.1 associado a fácies Silto-Arenosa a Argilo-Arenosa (barro ou saibro) e Sub-nível 1.2 associado as fácies Arenosa branca (areia branca). A graduação entre os níveis é lateral e gradacional, onde a quantidade de finos (partículas < 0,075 mm) diminui até próximo a 0%. O Sub-nível

- 1.1 apresenta granulometria predominantemente areia com pouco silte (1.1) e marginalmente areia, areia argilo-siltosa e areia silto argilosa.
- Nível 2, ocorre logo abaixo do nível 1, com contato dado por linha de pedra ou superfície erosiva. Nele também foram individualizados dois sub-níveis: O Sub-nível 2.1 associado a fácies Concrecionária (piçarra) e o Sub-nível 2.2 vinculado a fácies Arenos-Argilosa (comumente utilizada em aterro na Região Metropolitana de Belém). O contato entre os dois sub-níveis é lateral e pode ser abrupto ou gradacional.
  - Nível 3, ocorre logo abaixo do nível 3, separando-se deste por contato abrupto. É formado por dois sub-níveis: o Sub-nível 3.1 associado a fácies Arenito Ferruginoso; a qual ocorre na forma de lentes entre o Nível 3 e 4. O Sub-nível 3.2 é associado a fácies Arenoso Ferruginizado, sendo constituído predominantemente por areia não consolidada a qual quando cortada desagrega-se rapidamente descalçando os níveis superiores (Níveis 1 e 2), ocasionado instabilizações.
  - Nível 4, ocorre logo abaixo dos Níveis 2 e 3, sempre em contato abrupto. É correlacionada ao Horizonte Argiloso, sendo formada por espesso pacote de argila.

Esta unidade apresenta os valores médios, máximos e mínimos de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade ( $n$ ), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{s\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ) descritos na Tabela 5.4, para cada nível.

#### 5.4.1.3 - Unidade III

Perfil típico			
0,5-5m	SB; FC; RE; 4, 1.1, 1.2, 10; CL-4, CL-2, CH-7	0,5-4m	SB; FAA; RE; 1.2; SW-SC-1
0-2,5m	SB; AF; OR; R	0-4m	SB; FAF; RE; 1, CL-2
2-8m	RE, HA; 6.2, 9, 10, 15; MH-4, MH-5; CH-4, CL-4		

Trata-se de unidade associada aos sedimentos Barreiras, representa áreas da unidade 2, onde processos erosivos removeram o nível 1 (Sedimentos Pós-barreiras). Nestas áreas observamos em superfície os Níveis 2 – descrito na Unidade II. Ocorrendo em profundidade os níveis seguintes. Ocorre em relevos colinosos localizados entre as Unidades I e II.

Tabela 5.4 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ).

NÍVEL	LL			LP			IP			n		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
Sub-nível 1.1	20	32	SLL	NP	18	11	7	17	SIP	40,6	47,3	33,1
Sub-nível 1.2	SLL	SLL	SLL	NP	NP	NP	SIP	SIP	SIP	-	-	-
Sub-nível 2.1	42	55	22	21	28	10	21	33	12	43,7	48,6	37,1
Sub-nível 2.2	25	28	21	15	20	NP	10	16	SIP	36,5	42,5	35,8
Sub-nível 3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 3.2	21	34	SLL	NP	13	NP	NP	21	NP	39,4	44,7	33,9
Nível 4	59	73	36	21	54	19	38	59	19	45,7	53,1	34,2

NÍVEL	$\gamma_d$			$\gamma_s$			$\gamma_{d\text{ máx}}$			Wót		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
Sub-nível 1.1	1,60	1,81	1,42	2,69	2,76	2,64	1,87	1,92	1,84	9,3	12	7
Sub-nível 1.2	-	-	-	2,65	2,66	2,65	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 2.1	1,58	1,76	1,42	2,81	2,92	2,69	1,8	1,92	1,6	14	25	10
Sub-nível 2.2	1,7	1,76	1,68	2,7	2,84	2,65	1,83	1,9	1,79	11	14	9
Sub-nível 3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 3.2	1,65	1,82	1,49	2,73	2,84	2,69	1,76	1,87	1,59	13,3	18,6	13,3
Sub-nível 4	1,67	1,69	1,56	2,67	2,83	2,60	-	-	-	-	-	-

A Unidade 3 apresenta os valores médios, máximos e mínimos de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{s\text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót.}$ ) descritos na Tabela 5.5, para cada nível.

## 5.5 - MAPA DE FAIXAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DOS CORPOS D'ÁGUA (Anexo V)

A legislação brasileira estabelece algumas áreas no território nacional que devem ser objeto de preservação permanente; entre estas áreas encontram-se as florestas nas margens dos cursos d'água, cuja faixa mínima de proteção é definida pelo Código Florestal (lei nº 4771) de 15 de setembro 1965, que estabelece como faixa marginal mínima de proteção dos corpos d'água:

- Corpos d'água com largura inferior a 10m  $\Rightarrow$  faixa de preservação mínima de 30m de largura;
- Corpos d'água de 10 a 50m de largura  $\Rightarrow$  faixa de preservação mínima de 50m;
- Corpos d'água de 50 a 200m de largura  $\Rightarrow$  faixa de preservação mínima de 100m de largura;
- Corpos d'água de 200 a 600m de largura  $\Rightarrow$  faixa de preservação mínima de 200m;
- Corpos d'água de largura superior a 600m  $\Rightarrow$  faixa de preservação mínima de 500m de largura.

Tabela 5.5 - Valores médios (M), máximos (Má) e mínimos (Mí) para cada nível da unidade I de Limite de liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), porosidade (n), massa específica seca ( $\gamma_d$ ), massa específica dos sólidos ( $\gamma_s$ ), massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{d \text{ máx.}}$ ) e umidade ótima ( $W_{ót}$ ).

NÍVEL	LL			LP			IP			n		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
Sub-nível 2.1	42	55	22	21	28	10	21	33	12	43,7	48,6	37,1
Sub-nível 2.2	25	28	21	15	20	NP	10	16	SIP	36,5	42,5	35,8
Sub-nível 3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 3.2	21	34	SLL	NP	13	NP	NP	21	NP	39,4	44,7	33,9
Nível 4	59	73	36	21	54	19	38	59	19	45,7	53,1	34,2

NÍVEL	$\gamma_d$			$\gamma_s$			$\gamma_{d \text{ máx}}$			Wót		
	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí	M	Má	Mí
Sub-nível 1.1	1,60	1,81	1,42	2,69	2,76	2,64	1,87	1,92	1,84	9,3	12	7
Sub-nível 1.2	-	-	-	2,65	2,66	2,65	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 2.1	1,58	1,76	1,42	2,81	2,92	2,69	1,8	1,92	1,6	14	25	10
Sub-nível 2.2	1,7	1,76	1,68	2,7	2,84	2,65	1,83	1,9	1,79	11	14	9
Sub-nível 3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-nível 3.2	1,65	1,82	1,49	2,73	2,84	2,69	1,76	1,87	1,59	13,3	18,6	13,3
Sub-nível 4	1,67	1,69	1,56	2,67	2,83	2,60	-	-	-	-	-	-

O mapa de Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água é um mapa de diagnóstico elaborado a partir da mapa de águas superficiais. O mapa de águas superficiais foi elaborado com base nos mapas topográficos folhas Belém (MI-348-3, com retificação do traçado do Igarapé Uriboquinha, executada pelo Eng. Florestal do IBGE Adonias Pereira do Araújo), Mosqueiro (MI-384-2), MI-384/2 (Santo Antônio do Tauá) e MI-384/4 (Santa Izabel), na escala 1:50.000

produzidas pelo Serviço Geográfico do Exército Brasileiro em 1982. A essa base foram acrescentadas algumas drenagens obtidas nas 29 folhas na escala 1:10.000, confeccionadas pela Terra Foto em 1973 para a Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belém – CODEM.

Os vários elementos que compõem o mapa de águas superficiais foram em parte digitalizados no programa AutoCad versão 2000 e vetorizados no sistema de informações geográficas Arc View, versão 3.2.

No Arc View por processo automático associou-se a largura de cada corpo d'água cartografado no mapa de águas superficiais a faixas de proteção estabelecidas no Código Florestal, produzindo-se assim, o Mapa de Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água da Região Metropolitana de Belém, na escala 1:50.000 (Anexo V).

## 5.6 - MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (ANEXO VI)

A área central da cidade de Belém é circundada por um cinturão de áreas institucionais que ao mesmo tempo que mantém um grande cinturão de áreas verdes, impedem a instalação de novas atividades como loteamentos habitacionais (que poderiam beneficiar-se de toda a infraestrutura urbana disponível no entorno) e atividades como as quais este trabalho busca avaliar: áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção (Anexo IX) e áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário (Anexo X).

Para elaboração do mapa de áreas institucionais e unidades de conservação foi utilizada a base topográfica na escala 1:50.000 produzidas pelo Serviço Geográfico do Exército Brasileiro em 1982 a saber: folhas Belém (MI-348-3, com retificação do traçado do Igarapé Uriboquina, executada pelo Eng. Florestal do IBGE Adonias Pereira do Araújo), Mosqueiro (MI-384-2), MI-384/2 (Santo Antônio do Tauá) e MI-384/4 (Santa Izabel); digitalizadas no programa Autocad versão 2000. A esta base foram acrescentadas as várias áreas institucionais e unidades de conservação presentes na Região Metropolitana de Belém.

O processo de mapeamento constou de compilação de mapeamentos já realizados (Pará & IBGE 1995); consultas aos arquivos digitais da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente e ao acervo digital da empresa Geoinformática; além de trabalhos de campo para

a checagem de cada polígono mapeados com auxílio de GPS; o que resultou na elaboração do documento apresentado no Anexo VI.

No mapa de áreas institucionais e unidades de conservação foram individualizadas 4 unidades:

- Áreas Institucionais – que inclui em sua maior expressão as áreas que formam parte do entorno da área central de Belém formada pelos aeroportos de Val-de-Cans e Júlio Cesar, áreas da Marinha e do Exército Brasileiro. Nesta unidade destaca-se também os distritos industriais de Ananindeua e Icoaraci.
- Áreas de Proteção Ambiental – APA Belém; a qual contém a Universidade Federal do Pará (Campus do Guamá), Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, EMBRAPA E ELETRONORTE dentre uma série de outras atividades. Na APA Belém está localizado o Lixão do Aurá – atual local de disposição final dos resíduos sólidos domésticos produzidos na cidade de Belém e nos municípios de Ananindeua e Marituba, atividade está totalmente incompatível com os objetivos de uma unidade de conservação. A atividade de mineração é proibida o que é dado pelo Artigo 6º do Decreto Nº 1.551, de 03 de maio de 1993 que institui a APA Belém, a saber:

“**Art. 6º** - Na APA Belém de que trata este Decreto, não serão permitidas atividades de terraplanagem, mineração, dragagem e escavação que venham causar danos ou degradação do meio ambiente e/ou perigo para pessoas ou para a biota, bem como qualquer atividade industrial, potencialmente capaz de causar poluição.”

No seu Artigo 7º restringe projetos de urbanização:

“**Art. 7º** - Nenhum projeto de urbanização poderá ser implantado dentro dos limites da APA, sem prévia autorização da Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, que exigirá:

- I. adequação como zoneamento ecológico-econômico da área;
- II. implantação do sistema de coleta e tratamento de esgotos;
- III. sistemas de vias públicas sempre que possível em curvas de nível e rampas suaves, e dotado de sistema de drenagem e galerias de águas pluviais;
- IV. lotes de tamanho mínimo o suficiente para o plantio de árvore em pelo menos 20% (vinte por cento) da área do terreno;
- V. programação de plantio de áreas verdes com uso de espécies nativas;

VI. traçado de ruas e lotes comercializáveis com respeito à topografia com inclinação inferior a 10% (dez por cento). ”

- Parque do Estado – circunda os lagos Bolonha e Água Preta mananciais da Área Metropolitana de Belém geridos pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). Foi instituído pelo Decreto estaduais 1552 de 03 de maio de 1993. Os objetivos de criação do Parque do Estado são dados pelo Artigo 3º, enquanto as atividades vetadas em sua área de abrangência são estabelecidas pelo Artigo 5º ambos transcritos a seguir:

**Art. 3º** - O Parque Ambiental de Belém tem por objetivos:

- I. propiciar um espaço de lazer para a comunidade, bem como possibilitar o desenvolvimento de atividades científicas, culturais, educativas, turísticas e recreativas;
- II. assegurar a potabilidade da água através do manejo dos mananciais e da recuperação das áreas degradadas;
- III. ampliar a vida útil dos lagos Bolonha e Água Preta;
- IV. preservar os animais silvestres que se refugiam no local devido a expansão das áreas urbanas circunvizinhas;
- V. assegurar a integridade das florestas e demais formas de vegetação de preservação permanente existentes na área, de acordo com o estabelecimento no artigo 2º da Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, cuja remoção é vedada, com vistas a contribuir na consecução de um índice mínimo de cobertura florestal na Região Metropolitana de Belém;
- VI. conservar amostras representativas da biodiversidade paraense, constituindo um banco genético em condições de fornecer propágulos para projetos de arborização e reflorestamento ecológicos, bem como para pesquisas científicas;
- VII. proteger a paisagem;
- VIII. assegurar o convívio da população humana com outras formas de vida vegetal e animal;

- IX. valorizar os municípios de Belém e Ananindeua permitindo o desenvolvimento do turismo;
- X. promover a manutenção das condições ambientais proporcionadas pela vegetação, resultando em benefícios para a melhoria da qualidade de vida da população.

**Art. 5º** - Fica vedado na área do Parque:

- I. quaisquer obras, aterros e escavações que não se restrinjam ao previsto no Plano de Manejo;
- II. exploração mineral de qualquer natureza, em especial pedreiras, saibreiras e argileiras;
- III. a deposição de lixo e outros resíduos;
- IV. a coleta de plantas ornamentais e da lenha;
- V. o abate e o corte de plantas nativas, o plantio de árvores, arbustos e demais formas de vida vegetal, bem como, o porte de instrumento destinado à corte;
- VI. a perseguição, apanha, coleta, aprisionamento e abate de exemplares da fauna, bem como o porte de armas e outros tipos de artefatos utilizados para a captura e o extermínio;
- VII. a introdução de espécies animais exóticas e a presença de animais domésticos, salvo o caso de animais que possam oferecer serviços a critério da administração do Parque e que tenham sua área de confinamento definida;
- VIII. a prática de qualquer ato que possa provocar a ocorrência de incêndio;
- IX. atividades religiosas, reuniões associativas ou outros eventos que possam trazer prejuízos ao patrimônio natural;
- X. a instalação ou a fixação de placas, tapumes, avisos ou sinais, ou quaisquer outras formas de comunicação audiovisual ou de publicidade que não tenham relação direta com programas interpretativos;
- XI. a prática de esportes nocivos ao ambiente;
- XII. qualquer forma de ocupação agrícola ou pecuária.

- Fazenda Pirelli – Antigo empreendimento agropecuário da fabricante de Pneus Pirelli; atualmente é de propriedade da Governo do Estado do Pará, no momento possui destino final indefinido.
- Comunidade do Abacatal – Antiga comunidade quilombola.

### 5.7 - MAPA DE ÁREAS DE VÁRZEA E TERRA FIRME (ANEXO VII)

O ambiente de várzea caracteriza-se por inundações periódicas o que confere ao ambiente uma dinâmica acelerada, porém frágil as intervenções antrópicas que podem desestabilizar com facilidade os ecossistemas presentes. Neste sentido optou-se por separar as áreas de várzeas por dois motivos: o primeiro pelo fato desta área ser restritiva a disposição de resíduos sólidos domésticos. O segundo por ser a principal fonte de argila utilizada na cerâmica local.

Para individualização das áreas de várzea foi utilizado sensoriamento remoto e trabalhos de campo. Como produto de sensor remoto foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:40.000 executadas pela TerraFoto S.A. de 1977, que em função de sua idade apresentam os elementos do meio físico mais preservados que os disponíveis nas imagens de satélite. Após individualização das áreas de várzea seus limites foram plotados na base 1:50.000. A partir daí os limites fotointerpretados foram checados e ajustados em trabalhos de campo, de modo a produzir o mapa de áreas de várzea e terra firme da Área Metropolitana de Belém (Anexo VII).

Concluído o documento, seu arquivo digital no formato DWG (Autocad versão 2000) foi exportado para o programa Arc View e vetorizado com vistas a elaboração dos mapas de áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção (Anexo IX) e áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário (Anexo X).

No de Áreas de Várzea e Terra Firme (Anexo VII) são individualizadas 2 (duas) unidades Terra Firme e Várzea.

A unidade Terra Firme é formada por terrenos posicionados acima do nível mais alto das marés, constituídos por extensos tabuleiros e relevo colinoso.

O limite entre estes terrenos e as áreas de várzea é dado pelo relevo colinoso (limite gradacional) ou por falésias (limite abrupto), em geral ativas, o que em alguns locais têm representado conflitos com as atividades humanas como nas proximidades da praia do Farol, em Mosqueiro, onde a erosão na base da falésia é responsável pela eliminação de parte do quintal de

uma residência, Figura 5.37, ameaçando nas proximidades a rede de distribuição de energia elétrica, localizada a poucos centímetros da face da falésia. Na praia do Bispo – ainda na Ilha do Mosqueiro, residências localizadas nas proximidades de falésias ativas encontram-se em situação de risco em função de processo erosivo acelerado, Figuras 5.38 e 5.39.



Figura 5.37 – Falésia ativa, nas proximidades do Hotel Farol – Ilha do Mosqueiro – onde parte do quintal de uma residência foi eliminado pela ação das ondas e das marés.

A unidade Várzea é formado por áreas submetidas a inundações periódicas ocasionadas pela maré e/ou pela dinâmica pluviométrica regional. É constituída por várzea alta, várzea baixa e igapó.

A várzea alta é caracterizada por inundações esporádicas, durante o equinócio nas preamarés e durante o período chuvoso (janeiro a maio).

A várzea baixa ocorre logo após a margem dos corpos d'água separando este da várzea alta. É inundada, diariamente, pela maré e/ou precipitação pluviométrica.

O igapó é representado por áreas de várzeas permanentemente inundadas.



Figura 5.38 – Falésia ativa, nas proximidades do Hotel Farol – Ilha do Mosqueiro – resultando na exposição de tubulação residencial e em risco ao sistema de distribuição de energia elétrica.



Figura 5.39 – Falésia ativa, na Praia do Bispo – Ilha do Mosqueiro – causando comprometimento das fundações de uma residência e trincamento da habitação.

## 5.8 - MAPA DE USO DO SOLO (ANEXO VIII)

O mapa de uso do solo é um mapa de diagnóstico fundamental para a definição da adequabilidade a instalação de atividades humanas, uma vez, que ao apresentar as várias atividades desenvolvidas em uma região, identifica conflitos existentes além de possibilitar a antecipação de conflitos que podem advir da instalação de novas atividades; sendo este último objetivo, o perseguido pelo documento apresentado.

O mapa de uso do solo apresentado no Anexo VIII, foi elaborado com o objetivo de subsidiar a elaboração do mapa de áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção (Anexo IX) e do mapa de áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário (Anexo X). Neste sentido o elemento mais importante a ser mapeado seriam as áreas urbanizadas uma vez que a presença de habitações humanas é um limitante restritivo a essas atividades.

O presente documento, foi elaborado com base em sensoriamento remoto e trabalhos de campo. O sensoriamento remoto foi executado a partir de imagem de satélite do mapeador temático Americano Landsat 7, composição colorida: R5G4B3, de 13 de julho de 1999. Na etapa inicial do trabalho a imagem foi georeferenciada com base nas bases topográficas 1:50.000 do Ministério do Exército e 1:10.000 da CODEM, além de pontos de GPS obtidos em toda a Área Metropolitana de Belém.

Após o georeferenciamento, foi realizada uma classificação automática por elementos principais no programa Arc View, a qual delimitou as respostas espectrais mais gerais presentes na área. A partir desta classificação inicial automática, foi realizada uma classificação supervisionada a partir de trabalhos de campo onde áreas de solo exposto que comumente confunde-se com áreas urbanas e áreas desmatadas com vegetação tiveram um tratamento diferenciado.

Como produto final, foram obtidas 4 (quatro) unidades de uso do solo: águas, área desmatada, áreas urbanizadas e vegetação, as quais podem ser visualizadas no Anexo VIII. Após a definição das unidades de uso do solo, o documento foi vetorizado no programa Arc View versão 3.2.

## 5.9 - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO (ANEXO IX)

A Região Metropolitana de Belém (RMB) constitui uma das áreas mais densamente povoadas da Região Norte do Brasil (aproximadamente 1,5 milhões de habitantes), apresentando elevadas taxas de crescimento urbano e industrial, em relação ao restante do Estado do Pará, o que é responsável por proporcional demanda por materiais naturais de construção.

Como é comum a compartimentação geológica da RMB apresenta estreita relação com os materiais naturais de construção. Na área foram identificadas duas unidades básicas de interesse: Sedimentos Recentes e Sedimentos Pós-Barreiras/Barreira. Essa relação estreita tornou possível avaliar aspectos relacionados a possibilidade de ocorrência, viabilidade e condições de exploração em que a extração de determinado material ocorre; acrescentado-se para tanto apenas algumas variáveis adicionais como acesso, uso do solo, nível d'água, etc..

As substâncias minerais da Região Metropolitana de Belém foram divididas em dois grupos principais: substâncias minerais não metálicas de emprego na indústria cerâmica e de emprego direto na construção civil. A Tabela 5.6 associa os tipos de materiais naturais de construção à geologia.

Os dados sobre materiais naturais de construção permitiram elaborar a Carta de Áreas Preferenciais à Exploração de Materiais Naturais de Construção da RMB, na escala 1:50.000 (Anexo IX), a qual levou em consideração, entre outros parâmetros, as características do meio físico, sócio-econômicas e ambientais.

As substâncias minerais da Região Metropolitana de Belém, podem ser divididas em substâncias minerais não metálicas de emprego na indústria cerâmica e de emprego direto na construção civil.

### 5.9.1 - Substâncias minerais não-metálicas de emprego direto na indústria cerâmica

As argilas empregadas na indústria cerâmica, são divididas em dois grupos:

- vermelha: confecção de tijolos, telhas e peças de artesanato;
- branca: azulejos, pisos cerâmicas, tijolos, telhas e peças de artesanato.

São exploradas no Horizonte Argiloso dos Sedimentos Barreiras– e depósitos aluvionais atuais e sub-atuais (Sedimentos Recentes), os quais tem ampla distribuição nas várzeas (dos rios, furos, igarapés, etc.) e manguezais, Figura 5.30. Seu uso industrial (principalmente cerâmica branca) é prejudicado pelos variados graus de mosqueamento por óxido de ferro (Horizonte Argiloso dos Sedimentos Barreiras) e pela concentração elevada de matéria orgânica (depósitos aluvionares, Sedimentos Recentes).

Tabela 5.6 - Associação entre a geologia da Região Metropolitana de Belém e os Materiais Naturais de Construção Civil.

UNIDADE GEOLÓGICA		MATERIAS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO	USO CORRENTE
Sedimentos Recentes		Argila Vermelha	Tijolos, telhas, peças de artesanato, pisos cerâmicos
		Argila branca	Azulejos, tijolos, telhas, peças de artesanato, pisos cerâmicos
Horizonte de Solo	Fácies Siltosa-Argilo Arenosa	Argila	Mistura para argamassa
	Fácies Arenosa Branca	Areia	Agregado argamassa, asfalto betuminoso, etc..
Linha de seixos		Agregado graúdo	Mistura para argamassa, gabiões, enrocamento
Horizonte Ferruginoso	Fácies Concrecinária	Concreções lateríticas	Bases e sub-bases de pavimento e aterros em geral
	Fácies Areno argilosa	Areia argilosa	Aterros em geral
	Fácies Arenito Ferruginoso	Agregado graúdo	Mistura para argamassa, gabiões, enrocamento
	Fácies Arenoso Ferruginizado	Areia	Aterro Hidráulico
Horizonte Argiloso	Fácies: Argila Mosqueada, Argila Laminada e Argila Maciça	Argila	Azulejos, tijolos, telhas, peças de artesanato, pisos cerâmicos

### 5.9.2 - Substâncias minerais não-metálicas de emprego direto na construção civil

Os materiais de emprego direto na construção civil são representados por:

- Argilas para argamassa: estão associadas ao Horizonte de Solo (fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa), Figuras 5.10, 5.13 e 5.14.
- Concreções ferruginosas: também conhecidas como piçarra, relacionam-se ao Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário, Figuras 5.9, 5.15, 5.16, 5.19, 5.20. Têm

amplo uso na RMB, como bases e sub-bases de estradas, Figuras 5.40 e 5.41, e aterros, Figuras 5.42, 5.43 e 5.44.

c) Arenito ferruginoso: também conhecida com pedra preta ou Grês – do – Pará, estão associados ao Horizonte Ferruginoso, Fácies Arenito Ferruginoso, sendo formados a partir da cimentação por hematita de seqüências arenosas, areno-argilosas e até conglomeráticas; esses materiais podem ser também retirados da linha de seixos que separa os Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras, a depender do tamanho das concreções e do uso pretendido. São amplamente utilizados na RMB em: fundações de casas, Figuras 5.45 e 5.46, gabiões, muro de arrimo, etc..

d) Horizontes superficiais de solo: também conhecidos como capa de covão ou terra preta, Figura 5.47, corresponde ao horizonte A dos solos; têm como usos principais o aterramento de jardins e construção de hortas, ressalta-se entretanto que em projetos de extração de materiais naturais de construção civil esse material deveria ser em muitos casos armazenado para posterior recuperação da área degradada pela mineração.

#### 5.9.2.1 - Areias e seixos utilizados na construção civil da RMB

Em função da importância que esses materiais têm na Região Metropolitana de Belém, optou-se por analisá-los a parte.

As areias são utilizadas na RMB principalmente em concreto hidráulico na construção de casas, prédios, etc. Estão relacionadas aos depósitos aluvionares Recentes, atuais e sub-atuais. Muitos depósitos foram originados a partir do retrabalhamento do Horizonte de Solo o que chama a atenção para a possível presença de ágata e quartzo metamórfico nesses materiais. A presença de sílica mal formada levanta a necessidade de se avaliar a reatividade dos agregados aos alcalis do cimento, o que ainda não foi avaliado nos materiais utilizados como agregados na RMB. Existir a possibilidade de extração desse bem mineral dos sedimentos de fundo transportados pelos vários cursos d'água da área da RMB, como sugere a Figura 5.48, o que passa pelo melhor entendimento da concentração de sais trazidos pelas marés salinas, principalmente durante o período de menor precipitação pluviométrica (junho a dezembro).



Figura 5.40 – Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário, utilizado como base de pavimento em conjunto habitacional na Rod. Augusto Montenegro-Belém.



Figura 5.41 – Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário, utilizado como base de pavimento em conjunto habitacional na Rod. Augusto Montenegro-Belém.



Figura 5.42 – Lixão do Aurá – local de extração de material para cobertura do lixo, no caso Horizonte Ferruginoso, fácies Concrecionário.



Figura 5.43 - Jazida de material de empréstimo (fácies Concrecionário), interdita pela SECTAM. Região do Aurá. Ponto A5.



Figura 5.44 - Visão geral da jazida da empresa Terraplena de aterro (fácies Concrecionário) e barro (Fácies Silto arenoso a Argilo-arenoso), em atividade. ilha do Outeiro, Ponto O5.



Figura 5.45 – Material a ser utilizado na fundação de casas, Horizonte Ferruginoso, fácies Arenito Ferruginizado.



Figura 5.46 – Detalhe do material a ser utilizado na fundação de casa Horizonte Ferruginoso  
fácies Arenito Ferruginoso



Figura 5.47 - Visão geral de um areial em atividade na ilha do Mosqueiro, com exploração de areia (fácies arenosa) e capa de covão (horizonte superficial do solo), Ponto M24.

Todo o seixo consumido na RMB é produzido na região de São Miguel do Guamá e Ourém, distantes cerca de 100 a 150 km de Belém, sendo este material transportado por rodovias em caçambas e caminhões. Esse material é formado por quartzo metamórfico, o que torna necessário avaliar sua reatividade com os alcalis do cimento.

Parte da areia produzida em São Miguel do Guamá e Ourém vem do subproduto do seixo, outra parte vem dos leitos de rios e igarapés. Na Região Metropolitana de Belém, entretanto a maior fonte de areia observada durante os trabalhos de campo, provém da Fácies Arenosa Branca do Horizonte de Solo, compondo extensas áreas em Belém e nas ilhas de Mosqueiro e Outeiro, conhecidas como covões ou areais, Figuras 5.11 e 5.47.

Existe hoje por parte do Governo do Estado e órgãos federais uma grande preocupação com a agressão ambiental causada pelos produtores de seixo e areia, principalmente nas nascentes e mananciais de rios. Alguns dos impactos gerados pela execução inadequada dessa atividade são: rebaixamento do nível d'água, remoção da cobertura vegetal e do solo fértil, mudança na topografia gerando depressões que acumulam água e não raramente são utilizadas para disposição inadequada de lixo, o que contamina o lençol freático, gera mal cheiro e torna o ambiente propício à proliferação de animais vetores de doenças, Figuras 5.49 e 5.50.

Com isto a Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM) e o 5º Distrito do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), estão intensificando a fiscalização de empresas mineradoras que atuam ilegalmente.

Como pode ser notado na Tabela 5.7, com dados coletados pelo DNPM, a maioria dos mineradores opera de maneira ilegal, somente algumas apresentam licença ambiental, sendo preocupante o atual estágio deste tipo de lavra, principalmente por sua atuação na Região Metropolitana de Belém. A Figura 5.51 exhibe a seqüência necessária a legalização de exploração potenciais ou clandestinas de materiais naturais de construção.

Os dados obtidos também não correspondem a realidade. Para fugir dos impostos e taxas, os mineradores declaram aquém do volume lavrado. Informações seguras consideram o volume citado na Tabela 5.7, como metade do volume de produção destes materiais.

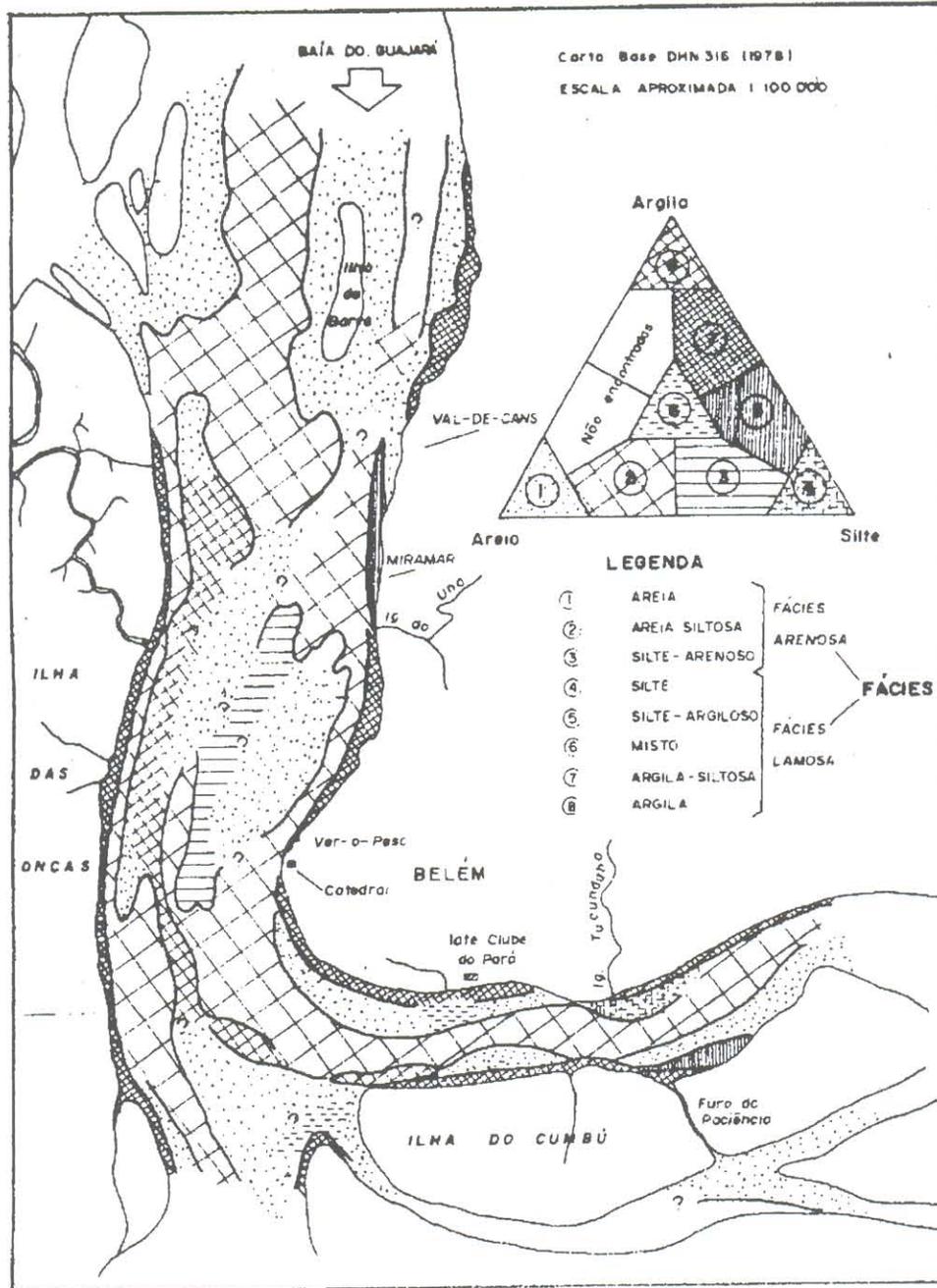


Figura 5.48 – Distribuição granulométrica dos sedimentos nas proximidades da cidade de Belém (Pinheiro 1987).



Figura 5.49 - Jazida abandonada de aterro (Horizonte Ferruginoso, fácies Arenó-Argilosa) e barro (Horizonte de Solo), com rebaixamento do nível d'água, remoção da cobertura vegetal e do solo fértil, mudança na topografia gerando depressão que acumulou água pluvial e foi utilizada para disposição de lixo, contaminando o lençol freático, gerando mal cheiro e tornando o ambiente propício à proliferação de animais vetores de doenças, região do Aurá, Ponto A3.



Figura 5.50 - Visão geral do local oficial para disposição final dos resíduos sólidos dos municípios de Belém e Ananindeua; em primeiro plano a lagoa artificial formada a partir da depressão gerada pela extração de materiais de construção, região do Aurá.

Tabela 5.7 – Produção de materiais de construção civil levantados pela DNPM.

Situação	Nome ou Titular	Município	Valor Carrada	Carradas/Dia	Minério (m3)	Venda (R\$)	Substância
Clandestina	Célio Iobato	Ananindeua	15,00	30	180	450,00	Argila Laterítica
Clandestina	Anadeu Begot	"	30,00	20	120	600,00	Argila amarela
Falta renovar	Ettema	"	20,00	20	240	400,00	Argila Laterítica
Clandestina	Gilberto	"	10,00	10	100	400,00	"
Falta Lic. Amb.	Belterra	"	10,00	30	300	300,00	Arg. Laterítica e Pedra
Clandestina	Olival S. Cunha	"	10,00	40	450	400,00	Areia
Paralizada	Reinaldo Begot	Sta. Bárbara	-	-	-	-	"
"	Tergal	"	25,00	8	96	200,00	"
Clandestina	Reinaldo Begot	"	-	-	-	-	Seixo e Pedra
Paralisada	J. Leandro/J. Begot	Sta. Isabel	15,00	35	350	525,00	Areia
Clandestina	Bessa	Sto. Ant. Tauá	20,00	35	350	700,00	"
Rev. Lic. Amb.	Conspetrol	"	30,00	30	360	900,00	"
"	Belterra	Sta. Isabel	90,00	3	36	270,00	Seixo
?	Novo Horizonte	Ourém	90,00	5	60	450,00	"
Clandestina	José Nojoza	"	90,00	5	60	450,00	"
"	Transjelúcio	"	90,00	5	60	450,00	"
Ren. Lic. Amb.	Batuira	"	100,00	6	60	600,00	"
Clandestina	Prático	Sta. Luzia	100,00	3	30	300,00	"
Ren. Lic. Amb.	J.S. Barroso	"	100,00	3	36	300,00	"
Clandestina	Paulo Thé	"	140,00	5	60	700,00	"
Clandestina	Tocos In. e Com.Ltda.	S. M. do Guamá	130,00	5	50	650,00	"
"	Seixeira Rithelli	"	120,00	3	36	360,00	"
"	Seixeira São Geraldo	"	100,00	2	20	200,00	"
"	Manassés Gervásio	"	110,00	3	30	330,00	"
"	Jurandir dos Santos	"	80,00	2	20	160,00	"
"	Pedro de Paiva	"	15,00	-	-	-	Brita
Litúgio Judicial	Pedreira Sta. Mônica	Tracuateua	-	-	-	-	-
TOTAL					3.104 m3	R\$ 9.255,00	

FONTE: 5ºDS/DNPM – 1997

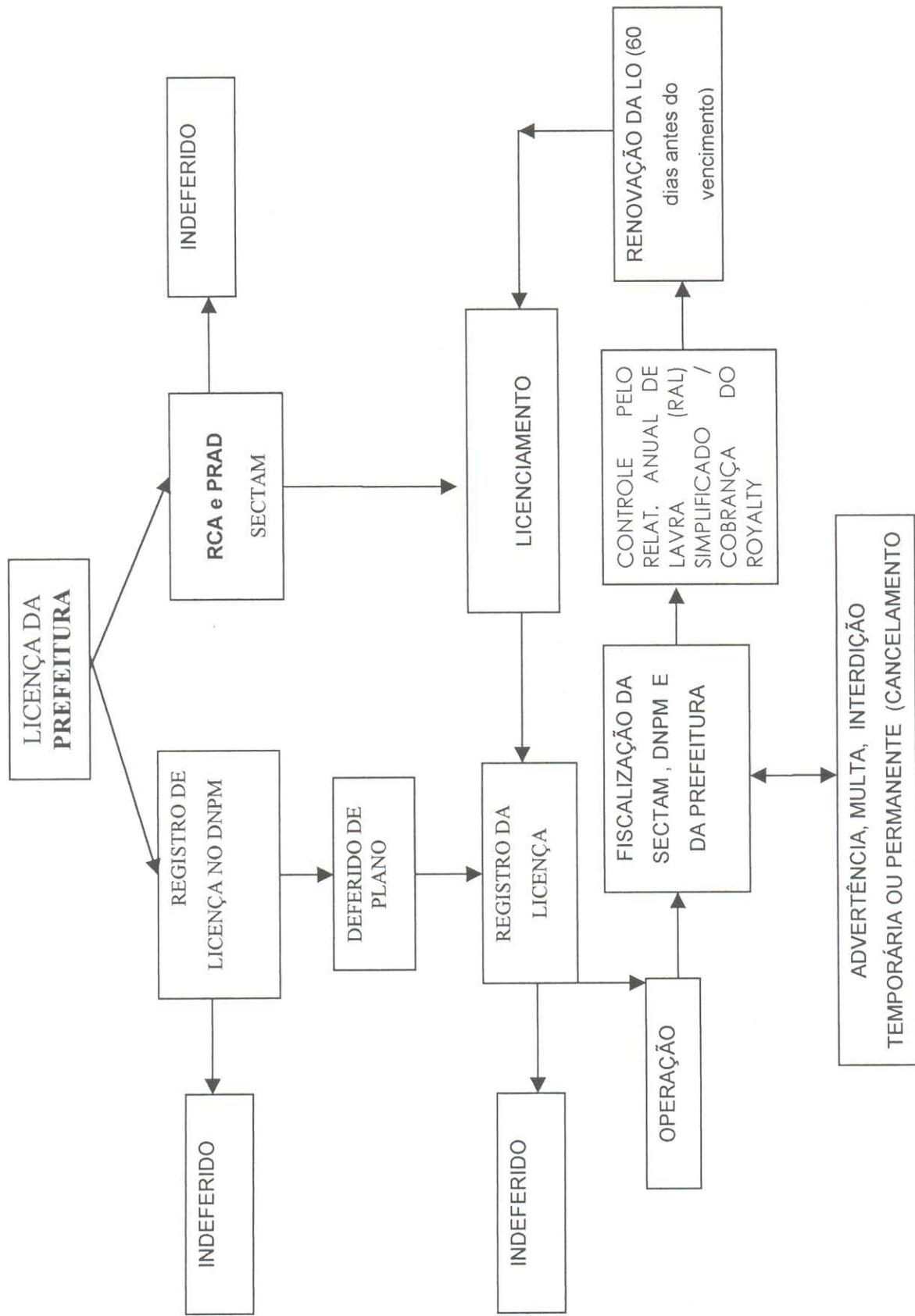


Figura 5.51 - Seqüência de procedimentos necessários à legalização de exploração de materiais naturais de construção.

### 5.9.3 - Definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção

Para definição da adequabilidade a exploração de materiais naturais de construção na Região Metropolitana de Belém foram considerados atributos restritivos que tem representando sérias limitações a essa atividade na área de estudo. Os atributos considerados foram:

- Áreas institucionais - as quais têm uso consolidado que impedem a disponibilização destes locais ao desenvolvimento de atividade mineral. Foi retirado deste mapa o polígono da fazenda Pirelli uma vez que está área ainda não apresenta uso definitivo.
- Áreas urbanas e de expansão urbana - a atividade mineira em geral, causa uma série de impactos no meio ambiente tráfego de veículos pesados, mudança na topografia, aumento do nível de ruído e partículas sólidas em suspensão, etc., o que faz com essa atividade seja incompatível com as atividades típicas das áreas urbanizadas e de expansão urbana da Região Metropolitana de Belém. Nesse sentido, com base no Mapa de Uso do Solo (Anexo VIII), foi criado um faixa de segurança de 500m no entorno de toda área urbana e de expansão urbana, criando-se em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Arc View versão 3.2) o Mapa de Áreas Distantes 500m de Área Urbana e de Expansão Urbana. Dentro deste polígono a atividade de exploração de materiais naturais de construção não é restritiva ao atributo áreas urbanizadas e de expansão urbana. A distancia de 500 m foi adotado por ser esta a distância mínima: aterros sanitários - habitações sugerida pelo IPT (1995) como suficiente para mitigar os impactos ambientais desta atividade, no geral, muito mais agressiva ao meio ambiente que à exploração de materiais naturais de construção.
- Faixa de Proteção Permanente dos Corpos D'água - qualquer área dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água foi considerada inadequada ao desenvolvimento da atividade analisada. Na análise deste atributo foi utilizado o Mapa de Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água (Anexo V).
- Geologia – os materiais geológicos condicionam a possibilidade ou não de ocorrência de materiais naturais de construção passíveis de exploração econômica. Nesse sentido o Mapa Geológico(Anexo III) foi utilizado associando-se as unidades geológicas aos materiais naturais de construção, como realizado na Tabela 5.6.

Em ambiente de SIG os vários atributos acima citados foram cruzados de modo a se obter apenas os polígonos que preenchessem as seguintes características:

- Estivesse associado a uma unidade geológica;
- Não estivesse em área institucional;
- Estivesse a uma distância mínima de 500m de área urbana ou de expansão urbana.
- Não estivesse localizado dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água definida pelo Código Florestal.

O Anexo IX apresenta toda a seqüência de interseções realizadas entre os atributos acima citados.

Como resultado desta interseção obteve-se quatro unidades de mapeamento a saber:

- Adequadas à exploração de argila, com restrição do nível d'água menor que 1m de profundidade. Esta unidade ocorre dentro da área de várzea, associada ao Sedimentos Recentes é a principal fonte de argila para cerâmica vermelha e artesanato da RMB.
- Adequada à exploração de areia, barro, piçarra, pedra preta, areia ferruginizada e argila, é associada aos Sedimentos Pós-Barreiras e Barreiras.
- Adequada à exploração de piçarra, pedra preta, areia ferruginizada e argila, é associada aos Sedimentos Barreiras.
- Áreas Inadequadas. São áreas que apresentam um ou mais parâmetros restritivos ao desenvolvimento de exploração de materiais naturais de construção.

A Carta de Áreas Preferências à Exploração de Materiais Naturais de Construção e os vários critérios utilizados na sua confecção, podem ser visualizados no Anexo IX. Esse Anexo apresenta também uma sobreposição entre as várias áreas sugeridas como preferenciais à exploração de materiais naturais de construção e imagem Landsat 7 de 13/07/1999 o que permite ter uma idéia aproximada da situação da área no contexto da Região Metropolitana de Belém.

As unidades definidas no Anexo IX apenas indicam áreas que não apresentam restrição aos atributos analisados. A exploração racional desses recursos naturais deve ser precedida de estudo de viabilidade técnica-econômica. Para Gandolfi *et al.* (1977), esse estudo deve conter no mínimo:

◆ Características geológicas:

- Reserva: satisfazer às necessidades do consumo que se prevê para uma obra ou para um mercado;
- Qualidade tecnológica da rocha: adequadas ao uso pretendido, tendo a jazida uma homogeneidade aceitável;
- Topografia: que permita fácil extração e rápido escoamento;
- Espessura do material estéril;
- Posição do lençol freático;
- Descontinuidades físicas.

◆ Características geográficas:

- Distância da fonte de consumo;
- Facilidade de acesso.

Concomitantemente ao estudo de viabilidade técnica-econômica deve ser realizada a legalização da área a ser lavrada junto ao órgão ambiental e ao DNPM, conforme Figura 5.51.

## 5.10 - CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

A Região Metropolitana de Belém, com cerca de 1,5 milhões de habitantes, produz aproximadamente 1.200 toneladas de resíduos sólidos por dia, os quais são depositados de maneira precária nos limites com o município de Ananindeua, na área de depósito de resíduos sólidos do Aurá, transformando-se num problema ambiental e social para a capital paraense. Essa área, conhecida como o “lixão do Aurá”, localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém (APA) e possui aproximadamente 1.000.000 m<sup>2</sup> dos quais 200.000 m<sup>2</sup> estão ocupados por lixo e lagoas de oxidação, Figuras 5.50 e 5.52 (Morales no prelo).

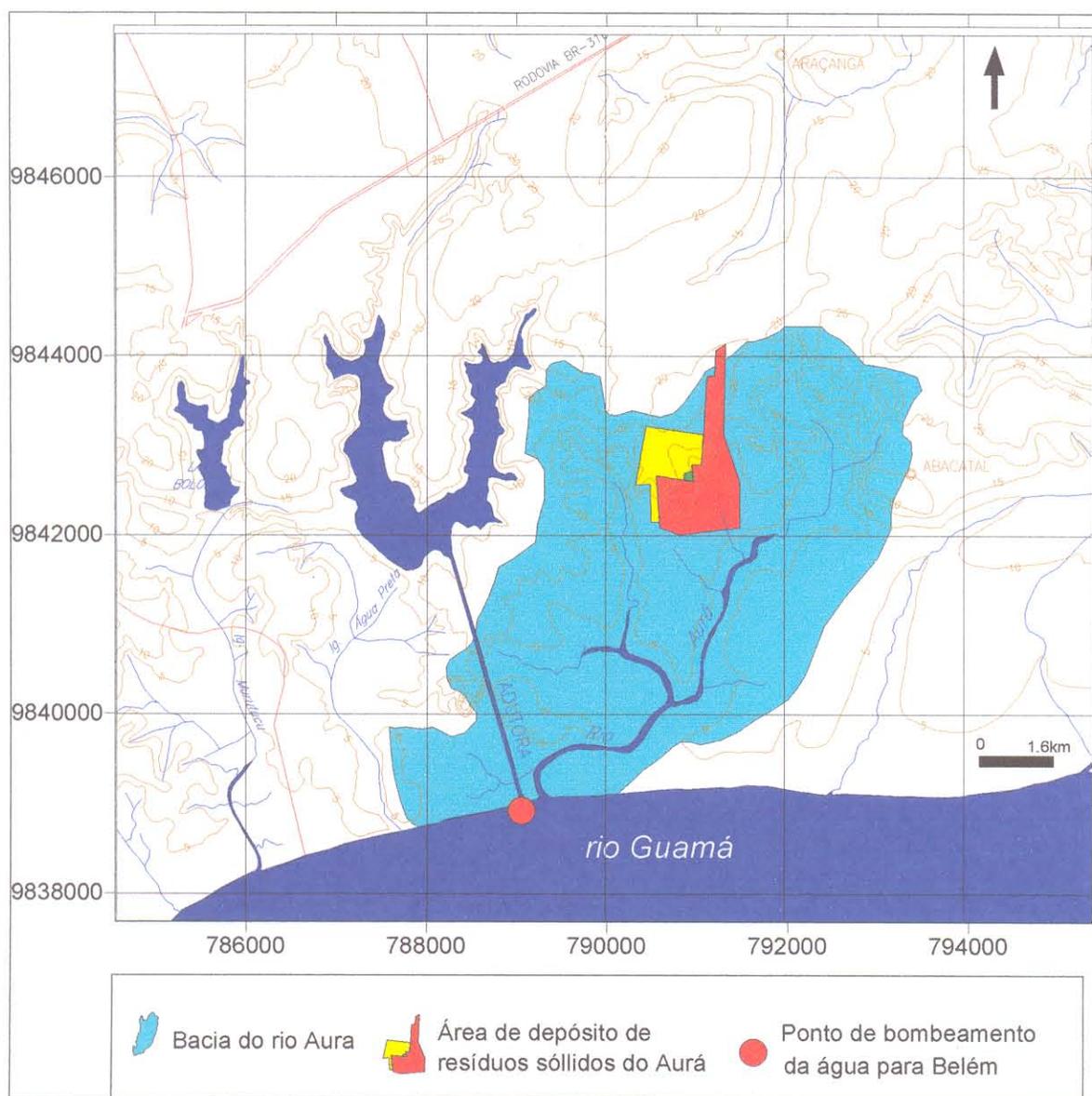


Figura 5.52 – Contexto geral do Lixão do Aurá (Morales no prelo).

Durante os últimos 10 anos, o “lixão do Aurá” tem acumulado aproximadamente três milhões de toneladas de lixo. As características geológicas e hidrogeológicas da área são inadequadas, permitindo a proliferação superficial e subterrânea do chorume derivado da decomposição dos detritos acumulados neste depósito. A influencia da maré acelera a saída do chorume que através do rio Aurá desemboca no rio Guamá a 150 m da estação de captação d’água para o abastecimento da cidade de Belém, tornando o problema ambiental ainda mais delicado, Figura 5.52.

Neste sentido faz-se necessária a proposição de critérios que visem definir locais mais adequados à instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém. Os critérios utilizados neste trabalho para propor áreas preferências a instalação de um aterro sanitário na RMB foram:

- Áreas institucionais, as quais tem uso consolidado que impedem a disponibilização destes locais ao desenvolvimento da atividade proposta.
- Áreas urbanas e de expansão urbana. A atividade de um aterro sanitário, impõe na sua área de entorno uma série de impactos no meio ambiente como: aumento do tráfego de veículos, alteração negativa na qualidade do ar, aumento do nível de ruído e partículas sólidas em suspensão, desvalorização de imóveis, etc.; o que faz com essa atividade seja incompatível com as atividades típicas das áreas urbanizadas e de expansão urbana da Região Metropolitana de Belém. Nesse sentido com base no Mapa de Uso do Solo (Anexo VIII), foi criada uma faixa de segurança de 500m no entorno de toda área urbana e de expansão urbana, criando-se em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Arc View versão 3.2), o Mapa de Áreas Distantes 500m da Área Urbana e de Expansão Urbana, mostrado no Anexo X. Dentro deste polígono a instalação de aterros sanitários é considerada restritiva em função da proximidade com áreas urbanas. Essa faixa de proteção foi sugerida por IPT (1995) - ver Tabela 3.17.
- Faixa de Proteção Permanente dos Corpos D'água, qualquer área dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água foi considerada inadequada ao desenvolvimento da atividade analisada. Na análise deste atributo foi utilizado o Mapa de Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água (Anexo V). Com base neste documento foi produzido em ambiente de SIG a carta de áreas externas a faixa de proteção permanente dos corpos d'água conforme pode ser visualizado no Anexo X, dentro destes polígonos a instalação de aterros sanitárias é considerada não restritiva a esse atributo.
- Várzea – as áreas de várzea apresentam ecossistemas que podem ser impactados negativamente pelo chorume produzidos pelos resíduos sólidos domésticos. Algumas das restrições deste ambiente são: contaminação das águas superficiais pelo chorume e metais pesados, o lençol freático nessa região fica, no geral, abaixo de 1m de profundidade tendo-se assim alto risco de contaminação do lençol freático, as áreas de

várzea são constituídas por argilas moles a muito moles de baixa resistência e alta compressibilidade que podem limitar a espessura e a altura das células de lixo. Com base no Mapa Áreas de Várzea e Terra Firme (Anexo VII) foi elaborado em ambiente de SIG a carta área de terra firme (ver Anexo X), dentro desses polígonos a implantação de aterros sanitários a considerada não restritiva ao atributo áreas de várzea.

Em ambiente de SIG os vários atributos acima citado foram manipulados e cruzados (ver Anexo X) de modo que obtivéssemos apenas os polígonos que preenchessem as seguintes características:

- Não estivesse localizado em área de várzea;
- Não estivesse localizado em área institucional;
- Estivesse a uma distância mínima de 500m de área urbana ou de expansão urbana;
- Não estivesse localizado dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água definida pelo Código Florestal

Como resultado desta interseção obteve-se três unidades de mapeamento a saber:

- Áreas adequadas a instalação de aterro sanitário com restrição de acesso. Estas áreas embora adequadas aos atributos considerados, não apresentam acesso rodoviário;
- Áreas adequadas a instalação de aterro sanitário para os atributos considerados;
- Áreas inadequadas a instalação de aterro sanitário. Apresentam um ou mais parâmetros considerados restritivos ao desenvolvimento da atividade.

A Carta de Áreas Preferências à Instalação de Aterros Sanitários o e os vários critérios utilizados na sua confecção, podem ser visualizados no Anexo X. Esse Anexo apresenta também uma sobreposição entre as várias áreas sugeridas como preferenciais à instalação de aterros sanitários e imagem Landsat 7 de 13/07/1999 o que permite ter uma idéia aproximada da situação da área no contexto da Região Metropolitana de Belém.

Na definição das áreas preferenciais a instalação de aterro sanitário na Região Metropolitana de Belém foram considerados apenas atributos considerados restritivos ou seja aqueles que separadamente justificam ou impedem a atividade. A seleção dos mesmos materializou-se em função da experiência de insucesso do lixão do Aurá.

Com base no documento produzido (Anexo X) pode-se aplicar criteriosamente os atributos sugerido na Tabela 3.17 no auxílio da tomada de decisão quanto a melhor área dentre as selecionadas.

Os mapas de prognóstico da várias metodologias analisadas alcançaram em alguns casos elevado padrão de qualidade, quanto a definição de critérios a serem considerados em sua elaboração, como é o caso das cartas de adequabilidade a disposição final de resíduos sólidos. Nota-se que todas as metodologias são eficientes na determinação dessa adequabilidade, quando se compara os critérios nelas definido; com a localização real da maioria dos locais onde são dispostos os resíduos sólidos domésticos na Região Metropolitana de Belém – em geral inadequados do ponto de vista dos atributos do meio físico; chega-se a conclusão que não existe falta de critérios a serem considerados para localização de áreas para aterro sanitário; o que acontece sim é uma ineficiência por parte dos profissionais detentores desse conhecimento em compartilha-lo com a sociedade. De modo que juntos possam associar os vários atributos do meio físico (parâmetros geológico-geotécnicos) ao processo de tomada de decisão quanto a localização das atividades humanas relacionadas (engenharia civil, meio ambiente, planejamento, etc.).

## 5.11 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.11.1 - Quanto aos produtos cartográficos elaborados para a Região Metropolitana de Belém, escala 1:50.000

#### QUANTO A CARTA DE DECLIVIDADE

Na Região Metropolitana de Belém foram identificadas 5 classes de declividade, a saber: 0-1%; 1-2%; 2-5%; 5-10% e 10 a 15%, onde mais de 90% da área se enquadra na declividade entre 0 e 2%. Essa padrão de declividade causa dificuldades na rede de drenagem pluvial facilitando entupimentos que freqüentemente geram alagamentos localizados. Essa declividade é também responsável por inundações periódicas em áreas de várzea que mesmo urbanizadas continuam apresentando inundações nos períodos de maior precipitação pluviométrica, principalmente, associados as marés de sizígia.

## QUANTO AO MAPA GEOLÓGICO

Não foram identificados falhamentos ativos no Quaternário e nos Sedimentos Barreiras. As reentrâncias observadas nos litoral das ilhas são creditadas à ação das ondas que, ao encontrarem níveis mais resistentes como a Fácies Arenito Ferruginoso, têm dificuldade de ultrapassá-los, erodindo os extratos seguintes ao longo da linha de costa, sendo comum na passagem de uma praia a outra blocos de arenito ferruginoso que funcionam como tómbolos protegendo as praias da ação das ondas.

Na Região Metropolitana de Belém, foram individualizadas três unidades litológicas, da base para o topo: Formação Pirabas, Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras e Sedimentos Recentes.

Os Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras foram subdivididos em três horizontes do topo para a base:

- Horizonte de “Solo”, formado por: fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa e Fácies Arenosa Branca
- Horizonte Ferruginoso, formado por: Fácies Concrecionário, Fácies Areno Argilosa, Fácies Arenito Ferruginoso e Fácies Arenoso Ferruginizado
- Horizonte Argiloso, formado por: Fácies Argila Mosqueada, Fácies Argilitos e Fácies Argilito Maciço

## MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS:

Na Região Metropolitana de Belém os limites das unidades geológicas coincide com os limites das unidades de materiais inconsolidados. Rochas de maior resistência são associadas apenas a Fácies Arenito Ferruginoso que ocorre na forma de lentes entre o horizonte Ferruginoso e Argiloso dos Sedimentos Barreiras.

Foram individualizadas 3 unidades de Materiais Inconsolidados:

Unidade I, associada aos depósitos de Sedimentos Recentes, apresenta granulometria predominantemente argilosa, com lentes e camadas de areia associada.

Unidade II, associada aos sedimentos Pós-Barreiras e Barreiras. É constituída por 4 níveis do topo para a base temos:

- Nível 1, associado ao Horizonte de Solo. Formada por dois sub-níveis: Sub-nível 1.1, associado a fácies Silto-Arenosa a Argilo-Arenosa – (barro ou saibro), e Sub-nível 1.2 associado as fácies Arenosa branca (areia branca).
- Nível 2, ocorre logo a baixo do nível 1, com contato dado por linha de pedra ou superfície erosiva. Formado por dois sub-níveis: O Sub-nível 2.1 associado a fácies concrecionária (piçarra) e o Sub-nível 2.2 vinculado a fácies Areno-Argilosa.
- Nível 3, ocorre logo abaixo no nível 2, separando-se deste por contato abrupto. É formado por dois sub-níveis: o Sub-nível 3.1 associado a fácies Arenito Ferruginoso; a qual ocorre na forma de lentes entre o Nível 3 e 4. O Sub-nível 3.2 é associado a fácies Arenoso Ferruginizado, sendo constituído predominantemente por areia não consolidada, a qual quando cortada desagrega-se rapidamente descalçando os níveis superiores (Níveis 1 e 2), ocasionado instabilizações.
- Nível 4, ocorre logo baixo dois Níveis 2 e 3, sempre em contato abrupto. É correlacionada ao Horizonte Argiloso, sendo formada por espesso pacote de argila.

Unidade III, associada aos sedimentos Barreiras, representa áreas da unidade II, onde processos erosivos removeram o nível 1 (Sedimentos Pós-barreiras).

## CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

A RMB apresenta estreita relação com os materiais naturais de construção.

- Sedimentos Recentes: argila vermelha e argila branca;
- Sedimentos Pós-Barreiras (Horizonte de Solo):
  - Fácies Siltosa-Argilo Arenosa: Argila;
  - Fácies Arenosa Branca: Areia;
- Linha de seixos: agregado graúdo;
- Sedimentos Barreiras
  - Horizonte Ferruginoso:
    - Fácies Concrecinária: concreções lateríticas;

- Fácies Arenosa argilosa: areia argilosa;
- Fácies Arenosa Ferruginosa: agregado graúdo;
- Fácies Arenosa Ferruginizada: areia ferruginizada;
- Horizonte Argiloso: composta pelas Fácies Argila Mosqueada, Argila Laminada e Argila Maciça: argila.

A presença de sílica mal formada na areia e no seixo utilizados na RMB levanta a necessidade de se avaliar – em trabalhos futuros - a reatividade dos agregados aos alcalis do cimento.

A exploração de materiais naturais de construção na RMB gera entre outros impactos: rebaixamento do nível d'água, remoção da cobertura vegetal e do solo fértil, mudança na topografia gerando depressões que acumulam água e não raramente são utilizadas para disposição inadequada de lixo, o que contamina o lençol freático, gera mal cheiro e torna o ambiente propício à proliferação de animais vetores de doenças. A maioria dos mineradores opera de maneira ilegal, somente algumas apresentam licença ambiental, sendo preocupante o atual estágio deste tipo de lavra, principalmente por sua atuação na Região Metropolitana de Belém.

Quanto a definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção

Para definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção na Região Metropolitana de Belém foram considerados como atributos: áreas institucionais, áreas urbanas e de expansão urbana, faixa de proteção permanente dos corpos d'água e geologia.

Foram identificadas 4 unidades no Mapa de Áreas Preferenciais à Exploração de Materiais Naturais de Construção:

- Adequadas à exploração de argila;
- Adequada à exploração de areia, barro, piçarra, pedra preta, areia ferruginizada e argila;
- Áreas Inadequadas, áreas que apresentam um ou mais parâmetros restritivos à exploração de materiais naturais de construção.

## CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Foram consideradas áreas preferenciais a instalação de aterro sanitário na RMB, os locais que:

- Não estivesse localizado em área de várzea;
- Não estivesse localizado em área institucional;
- Estivesse a uma distância mínima de 500m de área urbana ou de expansão urbana.
- Não estivesse localizado dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água definida pelo Código Florestal

Foram identificadas 4 unidades no Mapa de Áreas Preferenciais à instalação de aterro sanitário:

- Áreas adequadas a instalação de aterro sanitário com restrição de acesso. Áreas adequadas aos atributos considerados que não apresenta acesso rodoviário;
- Áreas adequadas à instalação de aterro sanitário para os atributos considerados;
- Áreas inadequadas a instalação de aterro sanitário, apresentam um ou mais parâmetros considerados restritivos ao desenvolvimento da atividade.

### 5.11.2 - Quanto ao uso de Sistema de Informações Geográficas

O uso do Programa Arc View versão 3.2, possibilitou:

- maior rapidez, exatidão e economia na execução do serviço;
- produziu documentos cartográficos com melhor nível de apresentação quando comparado aos sistemas Cad;
- criar um banco de dados cartográficos e temáticos, que pode ser periodicamente atualizado, com vistas a melhorar os documentos apresentados e a produzir novos mapas no auxílio à tomada de decisão do planejamento da Área Metropolitana de Belém.

## 6 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 - QUANTO À ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS GERAIS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

A avaliação das metodologias internacionais apresenta bases para padronização de princípios, sistemas e métodos, proporcionando o ordenamento das informações geológicas/geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo. Estabelece também quais os tipos de problemas que podem ser abordados e quais produtos cartográficos precisam ser gerados para tal fim. Entretanto, não fornece indicações detalhadas quanto a forma de executar o mapeamento.

As três principais metodologias brasileiras de cartografia geotécnica tem seus princípios assentados nas metodologias internacionais apresentando, entretanto, instruções detalhadas quanto às formas de obtenção dos vários produtos cartográficos, preenchendo, assim, a lacuna deixada pelas metodologias internacionais.

As três principais metodologias nacionais podem ser subdivididas em dois grupos: o primeiro, representado pela metodologia do IPT, a qual se iniciou a partir de situações específicas, tais como os problemas de instabilização de encostas observados nas cidades de Santos(SP) e Petrópolis (RJ). Nessas áreas, o intenso e desordenado processo de ocupação gerou conflitos na inter-relação homem/meio físico, conflitos estes que necessitaram de respostas efetivas e imediatas, face ao problema instalado, apresentando forte interação com o risco geológico.

O segundo grupo é representado pelas metodologias desenvolvidas pela EESC-USP e pelo IG-São Paulo, as quais centraram suas atenções na cartografia geotécnica como ferramenta de auxílio na tomada de decisão no planejamento urbano e regional, buscando assim prever a interação entre as atividades humanas e o meio físico.

A discussão das metodologias permitiu levantar os principais atributos do meio físico, suas formas de obtenção, métodos de agrupamento, avaliação e análise dos mesmos, bem como os vários produtos cartográficos gerados. No desenvolvimento das discussões, procurou-se enfocar as condições sócio-econômicas e do meio físico do Trópico Úmido Brasileiro. Para tanto,

foram consideradas, na Amazônia Legal; as cidades com mais de 20.000 habitantes na área urbana, essa análise demonstrou que embora a Amazônia apresente dimensões continentais, a população encontra-se muito concentrada, deste modo, o uso de mapeamento geotécnico na Amazônia Legal pode ser otimizado podendo-se definir como prioritárias as áreas que apresentam maior densidade populacional.

Na avaliação das várias metodologias, observou-se que todas partem de um inventário do meio físico, produzindo um conjunto de mapas iniciais, seguido por uma fase de diagnóstico, a qual consiste em produzir mapas das várias propriedades pertinentes aos componentes do meio físico e que servem para caracterizá-lo. Esse diagnóstico é seguido de uma fase de prognóstico, que consiste em confrontar as várias características do meio físico frente aos processos tecnológicos produzidos por uma determinada atividade o que torna possível delimitar áreas equipotencias (onde predominam impactos positivos) e equiprobemáticas (predominam impactos negativos) a essa atividade. Isso pode ser feito de duas formas: através de mapas de adequabilidade a determinada atividade ou através de um mapa de zoneamento geral.

Para a formulação das diretrizes para a cartografia geotécnica do trópico úmido, foram utilizadas as metodologias internacionais para padronização de princípios, sistemas e métodos. Assim se fez para proporcionar o ordenamento das informações geológicas e geotécnicas para fins de planejamento e uso do solo: todavia para a elaboração das instruções detalhadas quanto à forma de executar o mapeamento, as metodologias nacionais mostraram-se mais adequadas.

Os mapas de prognóstico alcançaram, em alguns casos elevado padrão de qualidade quanto à definição de critérios a serem considerados em sua elaboração, como é o caso do mapa de adequabilidade à disposição final de resíduos sólidos. Nota-se que todas as metodologias são eficientes na determinação dessa adequabilidade; quando se compara os critérios nelas definidos; com a localização real da maioria dos locais onde são dispostos os resíduos sólidos domésticos na Região Metropolitana de Belém e na maioria do Brasil, em geral inadequados do ponto de vista dos atributos do meio físico, chega-se à conclusão que não existe falta de critérios a serem considerados para localização de áreas para aterro sanitário. Faltam sim, ações políticas capazes de vincular esse conhecimento já sedimentado na geologia de engenharia ao processo de tomada de decisão quanto à localização das atividades humanas relacionadas (engenharia civil, meio ambiente, planejamento, etc.).

## 6.2 - QUANTO A FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO TRÓPICO ÚMIDO

As diretrizes formuladas para a cartografia geotécnica no trópico úmido constituem o esboço inicial do que pode vir a ser uma nova proposta metodológica de cartografia geotécnica, ou um documento de consulta, com vistas a estabelecer complementações às propostas metodológicas existentes.

## 6.3 - QUANTO AOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, ESCALA 1:50.000

### QUANTO A CARTA DE DECLIVIDADE

Na Região Metropolitana de Belém foram identificadas 5 classes de declividade, a saber: 0-1%; 1-2%; 2-5%; 5-10% e 10 a 15%, onde mais de 90% da área se enquadra na declividade entre 0 e 2%. Essa padrão de declividade causa dificuldades na rede de drenagem pluvial facilitando entupimentos que freqüentemente geram alagamentos localizados. Essa declividade é também responsável por inundações periódicas em áreas de várzea que mesmo urbanizadas continuam apresentando inundações nos períodos de maior precipitação pluviométrica, principalmente, associadas as marés de sizígia.

### QUANTO AO MAPA GEOLÓGICO

Não foram identificados falhamentos ativos no Quaternário e nos Sedimentos Barreiras. As reentrâncias observadas nos litoral das ilhas são creditadas à ação das ondas que, ao encontrarem níveis mais resistentes como a Fácies Arenito Ferruginoso, têm dificuldade de ultrapassá-los, erodindo os extratos seguintes ao longo da linha de costa, sendo comum na passagem de uma praia a outra blocos de arenito ferruginoso que funcionam como tómbolos protegendo as praias da ação das ondas.

Na Região Metropolitana de Belém, foram individualizadas três unidades litológicas, da base para o topo: Formação Pirabas, Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras e Sedimentos Recentes.

Os Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras foram subdivididos em três horizontes do topo para a base:

- Horizonte de “Solo”, formado por: fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa e Fácies Arenosa Branca
- Horizonte Ferruginoso, formado por: Fácies Concrecionário, Fácies Arenosa Argilosa, Fácies Arenito Ferruginoso e Fácies Arenoso Ferruginizado
- Horizonte Argiloso, formado por: Fácies Argila Mosqueada, Fácies Argilitos e Fácies Argilito Maciço

#### MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS:

Na Região Metropolitana de Belém os limites das unidades geológicas coincide com os limites das unidades de materiais inconsolidados. Rochas de maior resistência são associadas apenas a Fácies Arenito Ferruginoso que ocorre na forma de lentes entre o Horizonte Ferruginoso e Horizonte Argiloso dos Sedimentos Barreiras.

Foram individualizadas 3 unidades de Materiais Inconsolidados:

Unidade I, associada aos depósitos de Sedimentos Recentes, apresenta granulometria predominantemente argilosa, com lentes e camadas de areia associada.

Unidade II, associada aos sedimentos Pós-Barreiras e Barreiras. É constituída por 4 níveis do topo para a base temos:

- Nível 1, associado ao Horizonte de Solo. Formada por dois sub-níveis: Sub-nível 1.1, associado a fácies Silto-Arenosa a Argilo-Arenosa – (barro ou saibro), e Sub-nível 1.2 associado as fácies Arenosa branca (areia branca).
- Nível 2, ocorre logo a baixo do nível 1, com contato dado por linha de pedra ou superfície erosiva. Formado por dois sub-níveis: O Sub-nível 2.1 associado a fácies concrecionária (piçarra) e o Sub-nível 2.2 vinculado a fácies Arenosa-Argilosa.
- Nível 3, ocorre logo abaixo no nível 2, separando-se deste por contato abrupto. É formado por dois sub-níveis: o Sub-nível 3.1 associado a fácies Arenito Ferruginoso; a qual ocorre na forma de lentes entre o Nível 3 e 4. O Sub-nível 3.2 é associado a

fácies Arenoso Ferruginizado, sendo constituído predominantemente por areia não consolidada, a qual quando cortada desagrega-se rapidamente descalçando os níveis superiores (Níveis 1 e 2), ocasionado instabilizações.

- Nível 4, ocorre logo abaixo dos Níveis 2 e 3, sempre em contato abrupto. É correlacionada ao Horizonte Argiloso, sendo formada por espesso pacote de argila.

Unidade III, associada aos sedimentos Barreiras, representa áreas da unidade II, onde processos erosivos removeram o nível 1 (Sedimentos Pós-barreiras).

#### CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS À EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

A RMB apresenta estreita relação com os materiais naturais de construção.

- Sedimentos Recentes: argila vermelha e argila branca;
- Sedimentos Pós-Barreiras (Horizonte de Solo):
  - Fácies Siltosa-Argilo Arenosa: Argila;
  - Fácies Arenosa Branca: Areia;
- Linha de seixos: agregado graúdo;
- Sedimentos Barreiras
  - Horizonte Ferruginoso:
    - Fácies Concrecinária: concreções lateríticas;
    - Fácies Areno argilosa: areia argilosa;
    - Fácies Arenito Ferruginoso: agregado graúdo;
    - Fácies Arenoso Ferruginizado: areia ferruginizada;
  - Horizonte Argiloso: composta pelas Fácies Argila Mosqueada, Argila Laminada e Argila Maciça: argila.

A presença de sílica mal formada na areia e no seixo utilizados na RMB levanta a necessidade de se avaliar – em trabalhos futuros - a reatividade dos agregados aos alcalis do cimento.

A exploração de materiais naturais de construção na RMB gera entre outros impactos: rebaixamento do nível d'água, remoção da cobertura vegetal e do solo fértil, mudança na topografia gerando depressões que acumulam água e não raramente são utilizadas para disposição

inadequada de lixo, o que contamina o lençol freático, gera mal cheiro e torna o ambiente propício à proliferação de animais vetores de doenças. A maioria dos mineradores opera de maneira ilegal, somente algumas apresentam licença ambiental, sendo preocupante o atual estágio deste tipo de lavra, principalmente por sua atuação na Região Metropolitana de Belém.

Quanto a definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção

Para definição das áreas preferenciais à exploração de materiais naturais de construção na Região Metropolitana de Belém foram considerados como atributos: áreas institucionais, áreas urbanas e de expansão urbana, faixa de proteção permanente dos corpos d'água e geologia.

Foram identificadas 4 unidades no Mapa de Áreas Preferenciais à Exploração de Materiais Naturais de Construção:

- Adequadas à exploração de argila;
- Adequada à exploração de areia, barro, piçarra, pedra preta, areia ferruginizada e argila;
- Áreas Inadequadas, áreas que apresentam um ou mais parâmetros restritivos à exploração de materiais naturais de construção.

#### CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Foram consideradas áreas preferenciais a instalação de aterro sanitário na RMB, os locais que:

- Não estivesse localizado em área de várzea;
- Não estivesse localizado em área institucional;
- Estivesse a uma distância mínima de 500m de área urbana ou de expansão urbana;
- Não estivesse localizado dentro da faixa de proteção permanente dos corpos d'água definida pelo Código Florestal.

Foram identificadas 4 unidades no Mapa de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterro Sanitário:

- Áreas adequadas a instalação de aterro sanitário com restrição de acesso. Áreas adequadas aos atributos considerados que não apresenta acesso rodoviário;
- Áreas adequadas à instalação de aterro sanitário para os atributos considerados;

- Áreas inadequadas a instalação de aterro sanitário, apresentam um ou mais parâmetros considerados restritivos ao desenvolvimento da atividade.

#### 6.4 - QUANTO AO USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O uso do Programa Arc View versão 3.2, possibilitou:

- maior rapidez, exatidão e economia na execução do serviço;
- produziu documentos cartográficos com melhor nível de apresentação quando comparado aos sistemas Cad;
- criar um banco de dados cartográficos e temáticos, que pode ser periodicamente atualizado; com vistas a melhorar os documentos apresentados e a produzir novos mapas no auxílio à tomada de decisão do planejamento da Área Metropolitana de Belém.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE & IPT 1995. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. Coordenador geral: Omar Yazbek Bitar. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Geologia, 1995. (Série Meio Ambiente), 247p.
- ABGE 1998. *Geologia de Engenharia*. Editores Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. – São Paulo : Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Vários Autores. Vários Consultores. 587p.
- ACKERMANN, F.L. 1964. Geologia e fisiografia da Região Bragantina. *Cadernos da Amazonia*. Manaus, INPA, nº 2.
- ACKERMANN, F.L. 1969. *Esboço para a geologia entre as cidades de Belém – Rio Gurupi e Atlântico – Rio Guamá*. Belém, Imprensa Universitária do Pará – UFPA, 90p.
- AGUIAR, A.D.C. 1995 *Mapeamento Geotécnico da Folha Conchal-SP: Escala 1:50.000*. São Carlos.. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Dissertação Mestrado).
- AGUIAR, R. L. 1989. *Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP: contribuição ao planejamento*. São Carlos, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Dissertação Mestrado).
- ALEVA, G.J.J. 1983. On weathering and denudation of humid tropical interfluves and their triple planation surfaces. *Geologie en Mijnbouw*, [s.l.], v.62, nº 3, p.383-388.
- ARANTES, J.L.G., DAMASCENO, B.C., KREBS, A.D.J. 1972. *Projeto Argila-Belém 2*. Convênio DNPM/CPRM. 40p. (Relatório Final).
- AUTRET, P. LAN, T.N. 1983. Application de l'essai au Bleu de Méthylène aux Graveleux Latéritiques. *Revue Générales des Routes et des Aérodrômes*. N 586. Paris, França.
- ÁVILLA, I. G. et al. 1987a. Carta geotécnica do Município de Itapevi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. *Anais*. São Paulo, ABGE. V.2, p. 401-412.

- ÁVILLA, I. G.; MORETTI, A. O.; CHUNG, W. C.; PRANDINI, F. L.; SANTOS, M. T. N. 1987b. Carta geotécnica do município de São Paulo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo, 1987, *Anais*. São Paulo, ABGE. p. 389-399.
- BARROSO, J. A.; CABRAL, S. 1984. Materiais naturais de construção nas folhas Petrópolis e Itaipava (IBGE 1:50 000), RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, Belo Horizonte, 1984. *Anais*. Belo Horizonte, ABGE. V.2, p.147-162.
- BARROSO, J. A.; CABRAL, S.; PEDROTO, A.E.S., LINO, G.L.S. 1986. Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metrolitan region.. In: International Congress of the IAEG, 5, Buenos Aires. *Proceedings*. Buenos Aires, IAEG. V.6, p.1725-1730.
- BARROSO, J. A.; CABRAL, S.; MATTA, C.S. 1993. Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao plano diretor do município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, Poços de Caldas. *Anais*. São Paulo, ABGE. V.2, p.167-176
- BARROSO, J.A. 1989. Experiência de mapeamento geológico-geotécnico no Rio de Janeiro: escalas, detalhes a considerar e resultados. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS, 2, Porto Alegre, 1989. Porto Alegre, p. 218-227.
- BARROSO, J.A.; CABRAL, S.; FERNANDES, C.E.M.; PEDROTO, A.E.S.; SILVA JUNIOR, G.C.; BARROS, W.T. 1987. Problemas de mapeamento geológico-geotécnicos em encostas com favelas de alta densidade populacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo. *Anais*. São Paulo, v.2 p. 267-278.
- BEAULIEU, J. 1979. *Identification géotechnique de matériaux argileux naturels par la mesure de leur surface au moyeu du bleu de méthylène*. Paris. 133p. Thèse de doctorat de 3<sup>o</sup> cycle. Univ. de Paris-Sud, Orsay.
- BELCHER, D. 1946. Engineering application of aerial reconnaissance. *Geol. Soc. Americal Bull.*, 57, p.727-734.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R 1975. Equação de Perdas de Solo. *Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas*, Campinas, nº 21, 25p..
- BIGARELLA, J.J., ANDRADE, G.O. 1964. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). 2 ed. *Pernambuco*: Instituto de Ciências da Terra da Universidade Federal de Pernambuco. v.2, p. 2-14.

- BITAR, O. Y.; CERRO, L.E.S.; NAKAZAWA, V.A. 1992. Carta de risco geológico e carta geotécnica. Uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, Pereira, 1992. Pereira. V.1, p.35-41.
- BORGES, M.S. & ANGÉLICA, R.S. 1986) *Levantamento geológico da Ilha do Mosqueiro- Estado do Pará*. Belém: Universidade Federal do Pará, Projeto Fosfatos na Amazônia, 1986, 34p. (Relatório Técnico).
- BORTOLUCCI, A. A. 1983. *Caracterização geológico-geotécnica da região de São Carlos - SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 69 p. (Dissertação Mestrado).
- BUENO, B.S.; VILAR, O.M. 1984. *Mecânica dos solos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Publicação 015/88.
- CABRAL, S. 1979. *Mapeamento geológico-geotécnico da Bacia de Jacarepaguá e encostas adjacentes*. Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, 135p. (Dissertação Mestrado).
- CALIJURI, M.L; ROHM, S.A. 1993. *Sistema de Informação Geográfica*. Viçosa, Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 31p.
- CANTARELLA, H; ANDRADE, J.C. de 1992. O Sistema Internacional de Unidades e a ciência do solo. *Boletim Informativo do Soc. Bras. de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, nº 3, set./dez..
- CARTWRIGHT, K. 1982. *Bull. Of the Assoc. of Eng. Geologists*. U.S.A., v.XIX, nº 2, p.197-201.
- CARVALHO, *et al.* 1979. *Carta geotécnica de Ouro Preto*. Belo Horizonte : Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação Mestrado).
- CARVALHO, J.B.Q.; MEDINA, J.; NOGAMI, J.S. 1985. Characterization, Identification and Classification of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils for Geotechnical Purposes. Topic1.3: Geotechnical Classifications. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE, Theme 1: Characterization, identification and Classification of Tropical Soils - Progress Report 1981-1985

- CASANOVA, F.L. 1986. O Ensaio de Azul de Metileno na Caracterização de Solos Lateríticos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, XXI, Salvador, 1986. *Anais*. Salvador, ABPv, p.277-286.
- CODEM. 1979. *Plano de desenvolvimento da Grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema*. Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém. V. 1, tomos 1 e 2.
- COLLARES, E.D. 1994. *Mapeamento geotécnico da Quadrícula de Bragança Paulista (escala 1:50 000): ênfase nos materiais inconsolidados*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Dissertação Mestrado).
- COLLARES, E.G.; LORANDI, R 1994. Geotechnical characterization of weathered material in tropical regions. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 7<sup>o</sup>, Lisboa, 1994. *Proceedings*. Lisboa, v.5 p. 3433-3439.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. 1978. *Geomorphology in environmental management: an introduction*. 1<sup>o</sup> ed., London, p. 352-379.
- COSTA, M.L. 1990. Lateritos e laterização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36<sup>o</sup>, Natal, 1990, *Anais*. Natal, SBG, v1, p.404-424.
- COSTA, M.L; ANGÉLICA, R.S.; AVELAR, J.OG de 1991a. Outeiro e Mosqueiro: Exemplos de evolução laterítica imatura. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, 1991, *Anais*. Belém, SBG – Núcleo Norte, 610p., p.479-494.
- COSTA, J.B.S., IGREJA, H.L., BORGES, M.S, HASUI, Y. 1991b. Tectônica mesozóica-cenozóica da Região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3. Rio Claro, 1991. *Boletim...* Rio Claro: UNESP/SBG, 1991. V.1, p.96-97.
- COULON, F. K. 1973. *Mapa geotécnico das folhas de Morretes e Montenegro-RS*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, 128p. (Dissertação Mestrado).
- COULON, F. K. 1976. A geologia e o planejamento urbano: questões para debate e/ou reflexão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., Rio de Janeiro, 1976. *Anais*. Rio de Janeiro, ABGE. v.3. p. 370-372.

- COUTINHO, R. Q.; SILVA, J. M. J.; TEIXEIRA, D. C. L.; GENEVOIS, B. B. P.; FERREIRA, S. R. de M.; GUSMÃO FILHO & AZEVEDO, J. de. 1990. Carta geotécnica da cidade do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. *Anais*. Salvador, ABGE. v.1. p.429-440.
- COUTINHO, R.Q. 1989. Experiência do mapeamento geotécnico em Recife: metodologia e tipos de cartas temáticas. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA, II, Porto Alegre, 1989. Porto Alegre p.288-303.
- DAVIS, J.C. 1986. *Statistics and data analysis in geology*. 2 ed. John Wiley and Sons, 1986.
- DE BIASI, M. 1992. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP*. São Paulo, nº 6, p.45-60.
- DEERE, D.U.; PATTON, F.D. 1971. Slope stability in residual soils. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4º, Puerto Rico, 1971. *Proceedings*. New York: ASCE, v.1, p.87-170.
- ELIS, V.R. 1993. *A aplicação da geofísica para análise do meio físico: importância para elaboração de mapeamento geotécnico*. Rio Claro : Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2v. (Dissertação Mestrado).
- EMPRAPA 1983. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos-SNLCS*. SISOLOS- manual de uso. Rio de Janeiro, 254p.
- FABBRI, G.T.P.; SÓRIA, M.H.A. 1991. Aplicação do Ensaio de Azul de Metileno à Classificação de Solos - Uma primeira aproximação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, XXV, São Paulo. *Anais*. ABPv, São Paulo, p.382-399.
- FABBRI, G.J.P. 1994. *Caracterização da Fração Fina de Solos Tropicais Através de Adsorção de Azul de Metileno*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1v. (Tese Doutorado).
- FARIAS, E.S, NASCIMENTO, F.S, FERREIRA, M.A.A. 1992. *Área de Belém/Outeiro*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 247 p. (Relatório Final).
- FERRANTE, J. E. T. 1990. *Mapeamento geotécnico regional da Bacia do Alto Jacaré-Guaçu, SP: com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v., (Dissertação Mestrado).

- FERREIRA, M. L. C. 1988. *Proposta metodológica para desenvolvimento e implementação de um banco de dados geotécnicos*. São Paulo : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 353p. (Tese Doutorado).
- FERREIRA, S.R.M.; COUTINHO, R.Q. 1988. Banco de dados de argilas-solos orgânicos do Recife. In: MICROGEO 88, São Paulo, 1988. *Anais*. São Paulo, 1988, p. 363-373.
- FINLAYSON, A. A. & BUCKLAND, A. J. 1987. The use of terrain evaluation for urban and regional planning. In: SIMPOSIUM " ON THE ROLE OF GEOLOGY I. URBAN DEVELOPMENT, 3., Hong Kong, 1986. *Bulletin. Geological Society of Hong Kong*, nº3, pp. 67-78.
- FINLAYSON, A. A. 1984. Land surface evaluation for engineering practice: applications of the Australian PUCE system for terrain analysis. *Quarterly Journal Engineering geology, London*, (17): 149-158,.
- FINLAYSON, A.A. 1981. The PUCE System for Terrain Analysis - a summary. *Australian Geomechanics News*, Australia, (2): 37-44.
- FONTES, A. T. 1997. *Aspectos do macrozoneamento utilizando SIG enquanto instrumentos de gestão ambiental: diagnóstico e cenários regionais no estudo de caso da Região de Ribeirão Preto*. 1997. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. (Dissertação Mestrado).
- FORNASARI FILHO, N. et al. 1992. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (IPT, Boletim 61).
- FORTES, R.M. 1990. *Método Expedido de Identificação do Grupo MCT de Solos Tropicais Utilizando-se Anéis de PVC Rígido*. São Paulo : Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 195p. (Dissertação Mestrado).
- FOSTER, S.S.D., HIRATA, R.C.A (1991) *Groundwater pollution evaluation; the methodology using available data*. CEPIS -PAHO/WHO. Lima, 78p.
- FRANZINELLI, E. 1982. Contribuição à geologia da costa do Estado do Pará, entre a baía de Curuçá e Maiaú. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO DO BRASIL, 4. Rio de Janeiro, Atas... Rio de Janeiro: K. Suguio, M.R.M. de Meis & M.G. Tessler (Org.), 1982, p.305-323.

- FRANZINELLI, E. 1992. Evolution of the geomorphology of the coast of the state of Pará, Brazil. In: SYMPOSIUM SUR L'EVOLUTION DES LITTORAUX DE GUYANE ET DE LA ZONE PENDANT LE QUATERNAIRE, 1992, Cayenne. Collection Colloques et Séminaires... Editions de l'ORSTOM, Proust, M.T. (Org.), p.203-230.
- FREITAS, C. C. L.; PRANDINI, F.L.; NUNES, C. M. & NACHBAL, B. 1990. Carta geotécnica do município do Guarujá: situações de risco nas diferentes unidades homogêneas. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1., São Paulo, 1990. *Atas*. São Paulo, ABGE, p. 359-369.
- FROELICH, A.J.; GARNAAS, A.D.; VAN DRIEL 1976. Franconia Area, Fairfax Count, Virginia. Planning a New Community in an Urban Setting: Lehigh. In: Robison, G.D. & Spieker, A.M. (Eds) Nature to be Commanded must be obeyed. United States Geological Survey, Washington D.C., Professional Paper 950.
- GANDOLFI et al. 1977. *Geologia para engenheiros Civis*. São Carlos, EESC/USP, 1977. V. 1 e V.2.
- GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L.V. 1982. Discussão e adaptação de metodologia para mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 5, Argentina, 1982. *Atas*. Argentina, v.III, p.245-258.
- GENEVOIS, B. et al. 1990. Desenvolvimento de banco de dados geotécnicos da cidade de Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. *Anais*. Salvador: ABGE/ABMS. v.1, p. 441-444.
- GEOLOGICAL SOCIETY 1990. Tropical residual soil. *Quarterly Journal of Engineering*. England, v.23, nº 1.
- GOBARA, W.J.; JÚNIOR, F.A.; BARROS, J.M.C. 1986. Os ensaios de caracterização - 9 anos de programa interlaboratorial. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre, ABMS-Anais...v.1, p.21-32.
- GÓES, A.M., ROSSETTI, L.F., NOGUEIRA, A.C.R., TOLEDO, P.M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Belém, v.2, 1990, p.3-15.

- GÓES, A.M., TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras da região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú, 1980. Anais... Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, v.2, p. 766-771.
- GÓES, A.M. 1981. *Estudos sedimentológicos dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 55p. (Dissertação de Mestrado).
- GRANT, K. & FINLAYSON, A.A. 1978. The assessment and the evaluation of geotechnical resources in urban or regional environments. Amsterdam, *Eng. Geol.*, v12, nº 3, p. 219-293.
- GRANT, K. 1975a. *The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes. I Principles*. Australia. Division of Applied Geomechanics. Commonwealth Scientific and Industrial Research organization, 32 p.
- GRANT, K. 1975b. *The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes. II Procedures for Terrain Classification*. Australia. Division of Applied Geomechanics Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. 68p.
- GREHS, S. A. 1967.. A importância do geólogo no estudo preventivo de escorregamentos, deslizamentos e outros aspectos correlatos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, Curitiba. *Anais*. Curitiba, SBG, p.119-123.
- GREHS, S. A. 1970a. O uso de mapas geológicos, mapas de vegetação e mapas de drenagem na seleção de alternativas para o projeto de barragens de irrigação, Projetos Sudeste. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 2ª.
- GREHS, S.A. 1970b. O papel do geólogo no planejamento, informação básica. In: SIMPÓSIO SOBRE PESQUISA RODOVIÁRIA, 4º, Rio de Janeiro, 1970. Separata nº 446.
- GREHS, S.A. 1971. Caracterização geológica geotécnica preliminar das alternativas de locais para barragens de irrigação, Projeto nº 1, município de Alegrete - Projeto Sudeste 1, São Paulo.
- GRUBER, G.A.G. 1993. *Mapeamento geotécnico da folha de Cosmópolis (SP)*. São Carlos : Universidade do Estado de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v., 167p. (Dissertação de Mestrado).

- GUERRA, S.M.S. 1992. SINGRE - Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Resumos*. São Paulo, v.2, p. 221-222.
- HABERLEHNER 1966. Princípios de mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Rio de Janeiro. *Resumos*. Rio de Janeiro, SBG. p.37-39. (Boletim, 1).
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, p.1-31.
- HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E.; SCHOBENHAUS, C. 1984. Elementos geofísica e geológicos da Região Amazônica. Subsídios para o modelo tectônico. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, Anais, Manaus, DNPM, p.129-140.
- HEINE, D. H. 1966. Levantamento geotécnico do estado da Guanabara. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 20, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro. p. 41. (Boletim nº1).
- HIRATA, R.C.A. et al. 1992. Aplicação e discussão do método de unidades homogêneas para o planejamento territorial. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. *Anais*. Rio de Janeiro, ABGE. v.3, p.373-382.
- HOFMANN 1976. Mapping for urban land - use planning in southeast queensland - a first approach, Krefeld, F.R. Germany. *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.* (14) : 113-117.
- IAEG 1976. *Engineering geological maps - a guide to their preparation*. Earth Sciences, nº 15. CEGM, IAEG, UNESCO press.
- IAEG 1981. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. *Bull. IAEG*, nº24, p.235-274.
- IBGE 1991. *Mapeamento geral do Brasil - 1991*. Rio de Janeiro, IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Cartografia.
- IBGE 1996. *Contagem da população - 1996*. Rio de Janeiro, IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

- IGNATIUS, S.G. 1988. *Uso dos limites de Atterberg e da análise granulométrica na identificação e classificação de solos tropicais para fins de engenharia civil*. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, (Dissertação de Mestrado).
- IGREJA, H.L.S., BORGES, M.S., ALVES, R.L., COSTA JÚNIOR, P.S.C., COSTA, J.B.S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas do Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, 1990. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, v.5, p.2110-2123.
- IGREJA, H.L. 1992 *Aspectos tectono-sedimentares do Fanerozóico do NE do Estado do Pará*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 192p. (Tese de doutorado)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1978. *Levantamento do condicionantes do meio físico e estabelecimento de critérios normativos para a ocupação urbana dos morros de Santos e São Vicente (carta geotécnica)*. São Paulo. (IPT relatório nº 11 599).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1980. *Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para planejamento da ocupação urbana*. São Paulo. (Monografia nº 3. Publ. IPT nº 1153).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1984. *Carta geotécnica da grande São Paulo*. São Paulo. 13p. (IPT. Comunicação Técnica, 350. Publicação, 1618).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1994. *Carta geotécnica do Estado de São Paulo escala 1:500.000*. 1º ed., São Paulo. 13p. (publicação IPT. 2089/2v.).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1995. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo. 278p. (publicação IPT. 2163).
- INSTITUTO GEOLÓGICO 1990. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Sorocaba-SP*. 2v. São Paulo, IG/SMA.
- INSTITUTO GEOLÓGICO 1991. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Itú-SP*. 3v. São Paulo, IG/SMA, Secretaria de Meio do Estado de São Paulo.
- INSTITUTO GEOLÓGICO 1993. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas-SP*. 2v. São Paulo, IG/SMA- Secretaria de Meio do Estado de São Paulo.

- INSTITUTO GEOLÓGICO 1995. *Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico-geológico na porção média da bacia do rio Piracicaba, SP*. 5v. São Paulo, IG/SMA-Secretaria de Meio do Estado de São Paulo.
- KATZER, F 1933. Geologia do Estado do Pará (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de História Natural e Etnografia*. Belém, v.9, p.1-269.
- KIEFER, R.W. 1967 Terrain analysis for metropolitan fringe area planning. *Journal of Urban Planning and Development Division*, ASCE Paper 5649, p. 119-138.
- LANDIM, P.M.B 1998. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo, Fundação Editora da UNESP, 1998.
- LOLLO, J.A. 1994. "Landforms": conceituação, descrição e aplicabilidade na caracterização preliminar de unidades do meio físico para a cartografia geotécnica. In: SEMINÁRIOS GERAIS EM GEOTECNIA, São Carlos, 1994. EESC, USP.
- MACIEL FILHO, C.L. 1977. *Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria, RS*. Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 123p. (Dissertação Mestrado).
- MATHEWSON, C. C.; FONT, R. G. 1973. Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process. *The Geological Society of America*. U.S.A., Engineering geology. Case histories, boulden, (10): 23-28.
- MATTOS J.T. de 1994. *Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento geológico*/ Disciplina ministrada no IGCE-UNESP, Rio Claro-SP, no período de agosto-dezembro de 1994.
- MEDINA, J.A. 1989. A importância do estudo de solos tropicais e subtropicais. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS, 2, Porto Alegre. Porto Alegre, p.1-12.
- MENDES, R.L.R. 2000. *Geofísica aplicada ao mapeamento de aquíferos da Região Metropolitana de Belém*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado).
- MIO, G. de. 1992. *Mapeamento geotécnico da Quadrícula de Mogi-Guaçu-SP*. São Carlos : Universidade de São Paulo, 103p. (Dissertação de Mestrado).
- MORALES, G.P. no prelo. *Quantificação dos parâmetros indicadores de chorume nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área de abrangências do lixão do Aurá*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. (Tese de Doutorado).

- MOREIRA, E.C. 1994. *Sistemas de gerenciamento de dados aplicados ao processo de mapeamento geotécnico*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. nº 5 (Monografia Geotécnica).
- MOREIRA, E.C. et al. 1992. Um exemplo de aplicação de um sistema de gerenciamento de dados ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Resumos*. São Paulo, v.2, p.216.
- MOREIRA, E.C.; ZUQUETTE, L.V. 1992. Revisão bibliográfica: Sistema de Informação Geográfica aplicados ao mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Resumos*. São Paulo, v.2, p.222.
- MOURA, P. de A. 1932. Reconhecimento geológico do vale do Tapajós. *Bol. Serv. Geol. e Mineral.*, Rio de Janeiro, 67: 1-53.
- NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, F. L.; SANTOS, A. R. & FREITAS, C. G. L. de. 1991. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2. São Paulo. *Atas*. São Paulo, SBG. p. 329-336.
- NICKLESS, E.F.P. 1982. *Environmental geology of the Glenrothes district, Fife Reguion. Discription of 1:25.000 sheet NO 20*. Institut of Geological Sciences Natural Environmental Research Council. London her Masjesty's Stationery Office. 22p, 18 maps.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F 1994. Identificação expedita dos grupos da Classificação MCT para solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, X, Foz do Iguaçu. *Anais*. Paraná, ABMS, p. 1293-1300.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F 1995. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Ed. Villibor, São Paulo, 240p.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. 1979. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin of the IAEG*, Krefeld, (19): 196-199.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. 1980. Caracterização e classificação gerais de solos para a pavimentação: limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15<sup>a</sup>, Belo Horizonte.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. 1981. Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, RJ, v.1, p.30-41.

- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. 1985. Additional Considerations about a New Geotechnical Classification for Tropicals Soils, I, São Paulo, 1985. In: TropicalLS'85, ABMS, v.1, p.165-174.
- NOGAMI, J.S.; COZZOLINO, V.M.N. 1985. Identificação de Solos Tropicais: Dificuldades e Proposta de um Método Preliminar. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, XX, Fortaleza. *anais*. ABPv, Fortaleza, v.1, p.115-134.
- NOGUEIRA, J.B. 1998 *Mecânica dos Solos – Ensaio de Laboratório*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 248p. 1995.
- NOGUEIRA, J.B. 1988. *Mecânica dos solos*. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 179p.
- PARÁ & IBGE 1995. *Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas Região Metropolitana de Belém e Adjacências: projeto de estudo do meio ambiente em sítios de extração de materiais de construção na região de Belém-Benevides, Estado do Pará*. Pará- Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração - e IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Belém, 1995. 157p – 2v. (Relatório Final).
- PEJON, O. J. 1992. *Mapeamento geotécnico de Piracicaba, 1:100 000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e apresentação de atributos*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos 2v (Tese Doutorado).
- PINHEIRO, R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências 152p.(Dissertação de Mestrado).
- PRANDINI, F. L., ÁVILA, J. G.; CONSTANZO JUNIOR, J.; CARLSTRON FILHO, C.; BOTTURA, J. A.; TEIXEIRA, A. L. 1978a. Uma carta geotécnica dos terrenos adjacentes ao canal do rio Tietê de Osasco a Guarulhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, São Paulo. *Anais*. São Paulo, ABGE. T.2, p.281-298.
- PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A. & FREITAS, C. G. L. de. 1991. *A cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais*. São Paulo, IPT. (Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais).
- PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FERNANDES, A. 1990. As características e fenômenos do meio-físico de interesse para elaboração de Plano Diretor Municipal: o papel da geologia de engenharia. In: SEMINÁRIO SOBRE O PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, São Paulo. *Anais*. São Paulo, PMSP.

- PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G.; GREHS, S. A. 1974a. Geologia ambiental ou de planejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, SBG.
- PRANDINI, F.L 1976. O Brasil e a geologia de planejamento territorial e urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, v.3, p.354-370.
- PRANDINI, F.L. 1974. Geological geotechnical factors conditioning environmental degradation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE I.A.E.G., 2., São Paulo. São Paulo, v.3, p.168-170.
- PRANDINI, F.L. et al. 1974b. Condicionantes geológicas e geotécnicas da degradação ambiental - alguns casos brasileiros -SP. *Bol. nº 1*, ABGE, p.1-11.
- PRANDINI, F.L. et al. 1978b. *Aspectos geotécnicos*. In: HASUI, Y., *Geologia da Folha S.J. dos Campos (SP). SF-23-Y-D-II*. IPT, publicação 1113- série monografias, 2, São Paulo, p.43-46.
- PRANDINI, F.L. et al. 1979. Metodologia da carta geotécnica aplicada as áreas marginais do canal do Rio Tietê, de Osasco e Guarulhos. In: SIMPÓSIO DE CARTOGRAFIA, 9., Curitiba.
- PRANDINI, F.L. et al. 1982. A Bacia do Ribeira de Iguapé: aspectos de meio físico no uso e ocupação dos solos. In: SIMPÓSIO SOBRE A OCUPAÇÃO DO VALE DO RIBEIRA, São Paulo, p.29-33.
- PRANDINI, F.L. et al. 1989. *Carta geotécnica do Município de Guarujá-SP*. Relatório IPT. São Paulo.
- QUAY, J.R. 1966. Use of soil surveys in subdivision designy in soil surveys and land use planning. *Soil Sci. Soc. of America and American Soc. of Agronomy*, p.76-87.
- RIVEREAU, J.C. 1970. *Curso de fotointerpretação: notas de aula*. Société Geotéchnip et cooperation technique française. Tradução e revisão Funck, R.A. & ALMEIDA, J.A.P., Universidade Nacional de Brasilia.
- ROBERTS 1977. *Geotechnology*. New York, Pergamon Press. 347p.
- RODRIGUES, J.E. 1996. *Evolução de critérios de caracterização dos materiais inconsolidados no mapeamento geotécnico da Região Centro Leste do Estado de São Paulo*. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 166p. (Livre Docência).
- ROSSETTI, D.F, GÓES, A.M, TRUCKENBRODT, W. 1989. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.2, p.17-29.

- ROSSETTI, D.F., TRUCKENBRODT, W., GÓES, A.M. 1989. Estudo Paleoambiental e Estratigrafia dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.1, n. 1, p.24-74.
- SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. *Boletim Instituto de Geoc. Geologia*. Rio de Janeiro, 3:21-36.
- SADOWSKI, G.R. 1992. Aplicações de Sistema Geográfico de Informação em mapeamento geológico-geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo. *Resumos*. São Paulo, v.2, p.219-220.
- SANEJOUAND, R. 1972. *La cartographie géotechnique en France*. Paris. Ministère de L'Equipement et du Langement, Paris, DAFU. 96p.
- SARAIVA, R.M. 1995. *Mapeamento geotécnico da Folha de Socorro com base na análise das formas de relevo ( "landforms")*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Dissertação de Mestrado).
- SAVIGEAR, R.A. 1965. A technique of morphological mapping. *Ann. Ass. Am. Geograf.*, 55, p.514-538.
- SCHALLER, H.; VASCONSELOS, D.N.; CASTRO, J.C. 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXV, Anais. São Paulo. SBG, v.3, p. 189-202.
- SILVA, S.O. & LOEWENSTEIN, P. 1968. Contribuição à geologia da Folha de São Luis (SA-23) no estado do Pará - novas localidades e razão magnésio – cálcio do calcário *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi*, Belém, Série Geologia nº 12, 17p.
- SOARES, P.C; FIORI, P.A. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 16, Campinas. Atas, São Paulo, v.32, p. 71-104.
- SOUZA, N.C.D.C. de 1992. *Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguai (escala 1:50 000): com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, N.C.D.C. de; ZUQUETTE, L.V. 1991. Mapeamento geotécnico com base em perfis típicos de alteração para caracterização de unidades de terreno. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2º, São Paulo. *Atas*. São Paulo, p. 345-352.

- SPEIGHT, J.G. 1977. Landform pattern description from aerial photographs. *Photogrammetria*, v.32, p. 226-233.
- STURARO, J.R.; CAVAGUTI, N.; RIEDEL, P.S.; BÓRIO, N.J.; CAMARGO, A.A.X. 1993. Elaboração de banco de dados e análise estatística básica de dados de sondagens de simples reconhecimento-aplicação na cidade de Bauru-SP. *Geociências*, São Paulo, 12 (2) : 449-459.
- STURARO, J.R.; LANDIM, P.M.B. 1994. Técnica geoestatística para extrapolação da superfície potenciométrica em centros urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Baneário de Camboriú. *Resumo*. Camboriú, v.1, p. 551-552.
- TABACZENSKI, R. R. 1995. *A utilização do sistema de informações geográficas para o macrozoneamento ambiental*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, (Dissertação de Mestrado).
- THORNTHWAITE, C.W.; MATTE, J.R. 1955. The Water Balance. *Climatology*, Centerton, New Jersey, Drexel Inst. of Techn., v.8 n.1, 104p..
- VARNES, D. J. 1974. The Logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. *Professional Paper*, nº 837, U.S. Geological Survey, 48p..
- VEIGA, J. & COSTA, A.F.M.V. 1997. *Contribuição a proposta de mapeamento geotécnico da área urbana de Belém*. Belém : Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Construção Civil. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- VENEZIANI, P.; DOS ANJOS, C.E. 1982. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos, 61p.. Publicação nº INPE-2227-MO/014, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- VIBERG, L.; ADESTAM, L. 1980. Geotechnical terrain classification for physical planning - A Swedish Research Project. *Bulletin of the I.A.E.G.*, Krefeld, nº 21, p.174-178.
- VIEIRA, L.S, SANTOS, W.H.PO., FALESI, I.C., FILHO, J.P.S.O. 1967. *Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará*. Instituto de Pesquisa Experimental Agropecuária do Norte. Boletim Técnico nº 47, Belém, 63p.
- WENTWORTH, C.J. 1930. A simplifield method of determining the average slope of land surface. *American Journal Sciences*, 5th series, v.20, p.184-194, set..

- WISCHMEIR, W.H.; SMITH, D.D. 1960. A Universal Soil-Loss Equation to Guide Conservation Farm Planning. In: INT. CONGR. SOIL SCI., 7, Madison, Wisc., Transactions. 1:418-425.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. 1990a. Mapeamento Geotécnico: uma proposta metodológica. *Revista de Geociências*, Rio Claro, (9): pp. 55-66, 1990.
- ZUQUETTE, L.V. 1987. *Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica Para as Condições Brasileira*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 4 vol. (Tese de Doutorado).
- ZUQUETTE, L.V. 1991. *Mapeamento geotécnico: Ribeirão Preto*. Relatório Científico FAPESP, inédito, v.2, 269p. (Relatório Técnico).
- ZUQUETTE, L.V. 1993. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos : Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2v. (Tese de Livre Docência).
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. 1988. Mapeamento geotécnico: levantamento e análise das metodologias e sistemáticas mais utilizadas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, VII, Belém, 1988. *Anais*. Belém. P.591-605.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. 1990b. Geotechnical mapping: a basic document to urban planning. In: INT. CONGRESS OF THE I.A.E.G., 6<sup>th</sup>, Amsterdam, 1990.