Campus de São Carlos

**ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL DO DISTRITO
FEDERAL: Procedimentos Metodológicos e sua
Inserção na Gestão Ambiental**

Volume I

AUTOR: RENÉ LEVY AGUIAR

ORIENTADOR: PROF. DR. NILSON GANDOLFI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**ZONEAMENTO GEOTÉCNICO
GERAL DO DISTRITO FEDERAL:**
*Procedimentos Metodológicos e sua
Inserção na Gestão Ambiental*

Volume I

René Levy Aguiar

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos/EESC, da Universidade de São
Paulo/USP, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Nilson Gandolfi

São Carlos
1997

A282z	<p>Aguiar, René Levy</p> <p>Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal: <i>Procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental</i> / René Levy Aguiar. -- São Carlos, 1997. 2 v.</p> <p>Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1997 Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi</p> <p>1. Mapeamento Geotécnico - Zoneamento - Gestão Ambiental.</p> <p>1. Título</p>
-------	--

Enquanto persistir o subdesenvolvimento, a gestão ambiental não ultrapassará o limite do ensaio acadêmico.

René Levy Aguiar (DF - fev./95)

À Deus e aos meus pais Samuel e Wilma e, especialmente, a minha amada esposa Adélia e adorado filho Samuel (minha verdadeira Tese de vida).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nilson Gandolfi (meu eterno orientador) pelos ensinamentos, apoio e paciência constantes durante o desenvolvimento de todos os nossos trabalhos e, sobretudo amizade demonstrada ao longo de todos esses anos de convivência;

Ao Governo do Estado do Amazonas pela autorização de afastamento para realização do programa de doutorado;

À CAPES/PICD pela concessão da bolsa de estudo desde o início do doutorado;

À FINEP, pelo apoio através do Projeto FINEP/PADCT - IG/UnB *Estudos Geológicos e Geotécnicos para o Zoneamento do Distrito Federal com Uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento*, ao Instituto de Geociências, por intermédio do Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses (coordenador do projeto) e ao Departamento de Engenharia Civil da UnB, através do Prof. Dr. Newton Moreira de Souza (vice-coordenador do projeto), pela inestimável colaboração e apoio logístico;

Ao DER-DF e CAESB pelo fornecimento de perfis de poços, sondagens e/ou resultados de ensaios laboratoriais;

Às empresas particulares de sondagens e/ou perfuração de poços - SONDA, EMBRE, INFRASOLO e COLORADO, por intermédio de seus diretores presidentes, que disponibilizaram todo seu acervo de perfis;

Aos proprietários de sítios e fazendas localizadas na área mapeada, que permitiram o ingresso em suas terras para as observações e coletas de amostras durante a etapa de campo;

À CODEPLAN pelo fornecimento da base digital e de informações diversas;

Ao meu bom amigo Prof. Dr. Newton Moreira de Souza pelas incansáveis discussões e sugestões e, principalmente, por suas horas dedicadas a ensinar, pacientemente, a arte da utilização do sistema de informações geográficas do INPE (SGI), e acompanhamento rigoroso dos ensaios executados no âmbito do Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil - FT/UnB;

A MSc. Adélia Dídia Calôba Aguiar, do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM, pela colaboração e apoio durante a execução do trabalho, inclusive na leitura crítica deste texto, fazendo oportunas e valiosas observações;

Aos meus irmãos, cunhados, sobrinhos e ao Chico pelo apoio mesmo que inconsciente.

Aos Professores do Departamento de Geotecnia, pela atenção, paciência e principalmente pelos conhecimentos transmitidos;

Aos colegas de pós-graduação da Área de Geotecnia e aos funcionários do Departamento de Geotecnia.

SUMÁRIO

VOLUME I

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Aspectos sobre Mapeamento Geotécnico no Brasil	4
1.3 Objetivos do Trabalho	6
1.3.1 Geral	6
1.3.2 Específicos	6
1.4 Elementos Conceituais	7
1.4.1 Impacto Ambiental	7
1.4.2 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	9
1.4.2.1 Estudo de Impacto Ambiental (EIA)	9
1.4.2.2 Diagnóstico Ambiental (DA)	9
1.4.2.3 Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)	10
1.4.3 Planejamento Ambiental	10
1.4.4 Gestão Ambiental	11
1.4.5 Sistema, Subsistema, Ecossistema e Teoria Geral dos Sistemas	13
1.4.6 Ecodesenvolvimento	14
1.4.7 Geoprocessamento	15
1.4.7.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	15
1.4.7.2 Modelo Numérico do terreno (MNT)	16
1.4.8 Mapeamento/Cartografia Geotécnica	16
1.4.9 Técnica Modelo, Método, Sistemática e Metodologia	17
2. PLANEJAMENTO DO MEIO FÍSICO	18
2.1 Aspectos Gerais	18
2.2 Impactos Ambientais	19
2.3 Objetivos do Planejamento Ambiental	21
2.4 Métodos Clássicos do Planejamento Físico	23
2.4.1 Método de LEWIS	23
2.4.2 Método Automático de STEINITZ	25
2.4.3 Método de MC HARG	27
2.4.4 Método de HILLS	28
2.4.5 Método de LYNCH	33
2.4.6 Método de JOHNS	34
2.5 Sequência Sumária do Processo de Planejamento	36
2.5.1 Dimensão Física do Planejamento	39
2.5.2 Descrição da Sequência	40
2.6 Inventário e Valoração	41
2.6.1 Objetivos e Condições do Inventário	41
2.6.2 Delimitação de Unidades Homogêneas	42
2.6.3 Valoração da Qualidade do Meio Físico	44
2.7 Avaliação de Impacto Ambiental	45
2.7.1 Considerações Iniciais	45
2.7.2 Principais Métodos	47
2.7.2.1 Método <i>Ad Hoc</i>	49

2.7.2.2 Método das Listagens de Controle (<i>Checklist</i>)	49
2.7.2.3 Método das Matrizes de Interação	51
2.7.2.4 Método das Redes de Interação - Diagrama de Sistemas	54
2.7.2.5 Método da Superposição de Cartas	55
2.7.2.6 Modelos de Simulação	56
2.7.2.7 Combinação de Métodos	57
3. TÓPICOS DAS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO RELACIONADAS AO PLANEJAMENTO/GESTÃO AMBIENTAL	60
3.1 Sistematização de MATEWSON & FONT	60
3.2 Metodologia da IAEG	63
3.2.1 Definição de Mapa Geotécnico	64
3.2.2 Classificação dos Mapas Geotécnicos	64
3.2.3 Princípios do Zoneamento Geotécnico	65
3.2.4 Técnicas para Aquisição e Interpretação de Dados	66
3.2.4.1 Métodos de Obtenção de Dados	68
3.2.4.2 Análise e Interpretação dos Dados	68
3.3. Cartografia Geotécnica na FRANÇA	69
3.3.1 Classificação das Cartas Geotécnicas	69
3.3.2 Cartas de Zoneamento e as Cartas de Aptidão	71
3.3.3 Problemas Metodológicos do Mapeamento Geotécnico	72
3.3.4 Conclusões	72
3.4 Programa PUCE	73
3.4.1 Análise do Terreno	73
3.4.2 Classificação para Avaliação do Terreno	73
3.4.3 Definição das Classes de Terreno	74
3.4.4 Nomenclatura Sistemática de Classes de Terreno	75
3.4.5 Procedimento para uma Classificação Regional de Terreno	75
3.4.6 Procedimento para a Classificação Detalhada do Terreno	76
3.5 Metodologia da Antiga TCHECOSLOVÁQUIA	76
3.5.1 Classificação Quantitativa de Dados Fundamentais	76
3.5.2 Mapa de Condições de Geologia de Engenharia	77
3.5.3 Mapas de Zoneamento de Geologia de Engenharia	77
3.5.4 Mapas de Finalidade Especial	78
3.5.5 Otimização, Seleção e Decisão	78
3.6 Metodologia de ZUQUETTE	80
3.6.1 Atributos	82
3.6.2 Classificação dos Documentos	83
3.6.2.1 Mapas Auxiliar e Básicos	85
3.6.2.2 Cartas Derivadas ou Interpretativas	87
4. METODOLOGIA DE TRABALHO	92
4.1 INTRODUÇÃO	92
4.2 ETAPAS DE TRABALHO	93
4.2.1 Levantamento das Informações Básicas	95
4.2.2 Interpretação Preliminar	98
4.2.3 Trabalho de Campo	101
4.2.4 Reinterpretação	106
4.2.5 Integração dos Dados	110
5. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO DISTRITO FEDERAL - DF	117
5.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	117
5.2 GEOMORFOLOGIA	119
5.3 PEDOLOGIA	122
5.4 VEGETAÇÃO E USO DA TERRA	123
5.5 CLIMA	125

5.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS	129
5.7 ASPECTOS DA OCUPAÇÃO E AMBIENTAIS	131
6. PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS	141
6.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXOS I e II)	141
6.2 CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO III)	143
6.3 MAPA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL HIDROSTÁTICO (ANEXO IV)	144
6.3.1 Aquífero do Sistema Poroso	146
6.3.2 Aquífero do Sistema Fissural	147
6.4 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO V)	149
6.4.1 Litoestratigrafia	149
6.4.1.1 Grupo Canastra	152
6.4.1.2 Grupo Paranoá	157
6.4.2 Mapa Litológico (ANEXO VI)	169
6.4.3 Arcabouço Estrutural	170
6.4.4 Recursos Minerais	172
6.5 MATERIAIS INCONSOLIDADOS	174
6.5.1 Posição Estratigráfica	175
6.5.2 Mapa das Unidades de Materiais Inconsolidados (ANEXO VII)	175
6.5.2.1 Materiais Residuais	177
6.5.2.2 Materiais Retrabalhados	223
6.5.3 Mapa de Texturas dos Materiais Inconsolidados (ANEXO VIII)	231
6.5.4 Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados (ANEXO IX)	232
6.6 CARTA DE VULNERABILIDADE DO MEIO FÍSICO (ANEXOS X e XI)	233
6.6.1 Método de Elaboração	234
6.6.2 Representação das Unidades Finais	236
6.7 CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL	237
6.7.1 Método de Confecção	238
6.7.2 Unidades Geotécnicas Finais	239
6.8 INSERÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS NA GESTÃO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL	240
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	244
7.1 CONCLUSÕES	245
7.2 RECOMENDAÇÕES	251
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	253

APÊNDICE 1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

APÊNDICE 2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS REPRESENTATIVAS DAS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

APÊNDICE 3 – ARQUIVOS DE REGRA UTILIZADOS PARA O CRUZAMENTO DOS MAPAS

APÊNDICE 4 - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS FRENTE ÀS LIMITAÇÕES DO MEIO FÍSICO

VOLUME II

ANEXOS

- I - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO - DADOS COLETADOS
- II - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO - DADOS PRODUZIDOS
- III - CARTA DE DECLIVIDADE
- IV - MAPA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL HIDROSTÁTICO
- V - MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO
- VI - MAPA LITOLÓGICO
- VII - MAPA DAS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS
- VIII - MAPA DE TEXTURAS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS
- IX - MAPA DE ESPESSURAS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS
- X - CARTA DE VULNERABILIDADE DO MEIO FÍSICO
- XI - CARTA DE VULNERABILIDADE DO MEIO FÍSICO (NÍVEL HIDROSTÁTICO)
- XII - MAPA DE COMBINAÇÃO DO SUBSTRATO ROCHOSO x DECLIVIDADE
- XIII - MAPA DE COMBINAÇÃO DE MATERIAL INCONSOLIDADO x ESPESSURA
- XIV - CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama do método de LEWIS	24
Figura 2.2 - Diagrama do método de STEINITZ	26
Figura 2.3 - Diagrama do método de MC HARG	29
Figura 2.4 - Seqüência do método de MC HARG	30
Figura 2.5 - Diagrama do método de HILLS	31
Figura 2.6 - Diagrama do método de LYNCH	33
Figura 2.7 - Diagrama do método de JOHNS	35
Figura 2.8 - Esquema genérico de um processo de planejamento	39
Figura 2.9 - Esquema da dimensão física do planejamento	40
Figura 2.10 - Diagrama de fluxo para o desenvolvimento de programas de atuação	53
Figura 2.11 - Fluxo de desenvolvimento do método LESA	58
 Figura 3.1 -Transformação gradual das informações do meio físico inventariadas no mapeamento geotécnico e os processos que podem subsidiar no planejamento ambiental	 79
Figura 3.2 - Processo analítico otimizado para a seleção de locais com maior adequabilidade ao uso e ocupação racionais	81
Figura 3.3 - Condições para elaboração do mapeamento geotécnico e principais finalidades básicas	84
 Figura 4.1 - Análise genérica para a execução do mapeamento geotécnico.	 94
Figura 4.2 - Modelo da ficha de campo elaborada para o mapeamento geotécnico do Distrito Federal	102
Figura 4.3 - Sequência metodológica proposta e aplicada no mapeamento geotécnico do Distrito Federal	113
 Figura 5.1 - Mapa de localização do Distrito Federal	 118
Figura 5.2 - Unidades geomorfológicas do Distrito Federal	121
Figura 5.3 - Representação genérica dos solos do Distrito Federal	123
Figura 5.4 - Paisagens do Distrito Federal	126
Figura 5.5 - Mapa de bacias hidrográficas do Distrito Federal	132
Figura 5.6 - Aterro do Jôquei Clube que recebe quase a totalidade do lixo produzido no Plano Piloto (Ponto RA-367)	137
Figura 5.7 - Placa sinalizadora para disposição de resíduos em erosão situada às margens da rodovia DF-290 (Ponto RA-498)	137
Figura 5.8 - Conflito entre o poder público e posseiros na invasão de lotes em Samambaia ocorrido em 02.07.96 (Ponto RA-473)	139
Figura 5.9 - Mapa do macrozoneamento proposto para o DF pelo Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal - IPDF	140
 Figura 6.1 - Vista aérea do campo de murundus na nascente do córrego do Acampamento (Ponto RA-734)	 147
Figura 6.2 - Coluna litoestratigráfica da região do Distrito Federal	151
Figura 6.3 - Corte de estrada exibindo filito pouco alterado e avermelhado (Ponto RA-603)	153
Figura 6.4 - Escorregamento de material decorrente de corte de estrada paralelo à descontinuidade da rocha (Ponto RA-603)	154

Figura 6.5 - Escarpa sustentada por lente de quartzito (Ponto RA-421)	155
Figura 6.6 - Escorregamento de blocos de quartzito em talude de estrada.(Ponto RA-425)	156
Figura 6.7 - Detalhe de pequenas lentes de quartzito na ardósia (Ponto RA-807)	159
Figura 6.8 - Tectônica dúctil afetando os metarritmitos arenosos (Ponto RA-805)	161
Figura 6.9 - Exposição de quartzito exibindo estruturas primária (acamamento) e secundária (fraturas) (Ponto RA-425)	162
Figura 6.10 - Empastilhamento ocorrido nos metarritmitos argilosos (Ponto RA-086).	164
Figura 6.11 - Dobramento de quartzito da Unidade PMp2 (Ponto RA-388)	164
Figura 6.12 - Corte de estrada exibindo metargilito (base) e metassiltito laminado da unidade PMp1 (Ponto RA-178)	166
Figura 6.13 - Exposição de calcário laminado (C) na pedreira da Fazenda Limoeiro (Ponto RA-169)	168
Figura 6.14 - Exploração de metamarga (B) na pedreira da Contagem (Ponto RA-172)	168
Figura 6.15 - Cascalheira próxima à Ceilândia cujo material é utilizado pelo DER-DF na construção de estradas (Ponto RA-412)	173
Figura 6.16 - Perfil da unidade P1.1a apresentando os graus V e VI e, ainda, erosão subterrânea (Ponto RA-631)	180
Figura 6.17 - Aspecto da erosão nos materiais da subunidade P1.1p (Ponto RA-242)	183
Figura 6.18 - Erosão do Gama nos materiais da subunidade P2.1a (Ponto RA-493)	186
Figura 6.19 - Cascalheira próxima à Brazlândia originada a partir de processos pedogenéticos dos metapelitos da unidade PMp2 (Ponto RA-352)	189
Figura 6.20 - Porto de areia exibindo material residual da subunidade P2.2, onde o perfil de alteração mostra os Graus VII e VI (Ponto RA-502)	193
Figura 6.21 - Material concrecionário da subunidade P5.1c, retirado para construção da barragem de Santa Maria (Parque Nacional de Brasília - Ponto RA-743)	203
Figura 6.22- Material arenoso friável e blocos originados de quartzito da unidade litoestratigráfica PMp7 (Ponto RA-054)	209
Figura 6.23 - Perfil de alteração típico da unidade C1.1p apresentando os graus V e VI (Ponto RA-603)	215
Figura 6.24 - Linha de seixo intercalada em material argiloso, com nítida indicação de retrabalhamento (Ponto RA-578)	225
Figura 6.25 - Material pedregulhoso composto por fragmentos rochosos variados e arredondados (Ponto RA-234)	230
Figura 6.26 - Inserção do mapeamento geotécnico no processo de gestão ambiental, por intermédio do Zoneamento Geotécnico Geral (Z.G.G.) e da Carta de Vulnerabilidade	242

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Duas visões da política ambiental vigente	15
Tabela 2.1 - Síntese comparativa entre os métodos tradicionais de planejamento físico	37
Tabela 2.2 - Comparação entre os principais métodos de avaliação de impacto ambiental	59
Tabela 3.1 - Número mínimo de observações	82
Tabela 3.2 - Análise comparativa entre as diferentes metodologias	89
Tabela 4.1 - Informações sintéticas sobre os produtos e equipamentos utilizados na etapa inicial da realização do zoneamento geotécnico do Distrito Federal	99
Tabela 4.2 - Síntese dos perfis de alteração em solos residuais	105
Tabela 4.3 - Quantidades mínimas de amostras para ensaios de laboratório	106
Tabela 4.4 - Utilizações das características físicas dos materiais inconsolidados	109
Tabela 5.1 - Características das principais unidades geomorfológicas do Distrito Federal	127
Tabela 5.2 - Características climáticas: médias mensais	129
Tabela 5.3 - Aspectos básicos das unidades de conservação do Distrito Federal	135
Tabela 6.1 - Propriedades geotécnicas das rochas carbonáticas que ocorrem no Distrito Federal	167
Tabela 6.2 - Áreas ocupadas pelos tipos litológicos que ocorrem no Distrito Federal, em relação à sua área total.	170
Tabela 6.3 - Reservas de recursos minerais não-metálicos, segundo a especificação - Distrito Federal	174
Tabela 6.4 - Critérios para nomenclatura dos materiais inconsolidados.	176
Tabela 6.5 - Áreas ocupadas pelas diferentes texturas individualizadas, em relação à área total do Distrito Federal	232
Tabela 6.6 - Distribuição areal das classes de espessuras dos materiais inconsolidados estabelecidas em relação ao total da superfície do Distrito Federal	233
Tabela 6.7 - Pesos e valores utilizados na ponderação dos atributos para elaboração dos anexos X e XI	235
Tabela 6.8 - Intervalos definidos para as classes de estabilidade/vulnerabilidade	236
Tabela 6.9 - Representação areal das diferentes classes de estabilidade/vulnerabilidade no Distrito Federal	237

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABGE	- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABMS	- Associação Brasileira de Mecânica dos Solos
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	- Avaliação de Impacto Ambiental
APA	- Área de Proteção Ambiental
ASCII	- <i>American National Standard Code for Information Interchange</i>
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CAESB	- Companhia de Água e Esgoto de Brasília
CBR	- Índice de Suporte Califórnia
cm	- Centímetro
CODEPLAN	- Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central
COMECOM	- Conselho de Ajuda Econômica Mútua
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSIRO	- <i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization</i>
CTC	- Capacidade de Troca Catiônica
DA	- Diagnóstico Ambiental
DER-DF	- Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal
DF	- Distrito Federal
DNPM	- Departamento Nacional da Produção Mineral
DSG-ME	- Diretoria de Serviço Geográfico - Ministério do Exército
DWG	- Extensão do Arquivo de Desenho do Autocad
DXF	- <i>Data Exchange File</i>
M. E. grãos	- Massa Específica dos Grãos
e.mg	- Equivalente Miligrama
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
EIA	- Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	- Gramo
GDF	- Governo do Distrito Federal
Gr.	- <i>Greenwich</i>
H.R.B.	- <i>Highway Research Board</i>
H₂O	- Água
IAEG	- <i>International Association of Engineering Geology</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT	- Instituto de Ciência e Tecnologia
IEMA	- Instituto de Ecologia e Meio Ambiente
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	- Índice de Plasticidade
IPDF	- Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

ISC	- Índice Suporte Califórnia
ISRM	- <i>International Society of Rock Mechanics</i>
KCl	- Cloreto de Potássio
km	- Quilômetro
Ko	- Fator de Erodibilidade
KSIM	- <i>Kane Simulation Model</i>
L	- Leste
LESA	- <i>Local Environmental Sensitivity Program</i>
LL	- Limite de Liquidez
LP	- Limite de Plasticidade
m	- Metro
M. E. máx	- Massa Específica Seca Máxima
MCT	- Miniatura, Compactado, Tropical
Mini-MCV	- <i>Mini-Moisture Condition Value</i>
mm	- Milímetro
MNT	- Modelo Numérico de Terreno
MPa	- Megapascal
N	- Norte
n	- número de golpes (SPT)
NA	- Nível d'água
NOVACAP	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital
NP	- Não-Plástico
°C	- Grau Centígrado
PDOT	- Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PUCE	- <i>Pattern-Unity-Component-Evaluation</i>
RA	- Região Administrativa
RIMA	- Relatório de Impacto Ambiental
S	- Sul
SBG	- Sociedade Brasileira de Geologia
SEMATEC	- Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia/DF
SGI	- Sistema Geográfico de Informação
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SPT	- <i>Standard Penetration Test</i>
SUCS	- Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TFSA	- Terra Fina Seca ao Ar
UnB	- Universidade de Brasília
USP	- Universidade de São Paulo
UTM	- Projeção Universal Transversa de Mercator
W hig.	- Umidade Higroscópica
W ót.	- Umidade Ótima
W	- Oeste
Z.G.G.	- Zoneamento Geotécnico Geral

RESUMO

AGUIAR, R.L. (1997). *Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental*. São Carlos - SP, 1997. 2 V. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Nas diferentes metodologias de mapeamento geotécnico adotadas em inúmeros trabalhos no Brasil, o relacionamento dessa ferramenta com o processo de gestão ambiental apresenta graus de dificuldade variados, sobretudo na definição das unidades homogêneas que tenha significado objetivo na questão ambiental. O estudo realizado no Distrito Federal, abrangendo a totalidade de sua área (aproximadamente 5.814 km²), apresenta sequência operacional compatível com as exigências da escala 1:100.000, seguindo uma sistemática baseada principalmente nas propostas metodológicas adotadas no âmbito da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, no sentido de contribuir tanto no conhecimento geotécnico local quanto no estabelecimento da importância do papel do mapeamento geotécnico nas diferentes fases do planejamento e implementação de ações de controle ambiental, em uma região que é normalmente o foco das atenções do País.

Este trabalho analisa formas e classificação das informações, além da operacionalização das mesmas frente aos efeitos do diagnóstico e planejamento do espaço físico. São inseridas metodologias e modelos clássicos no tratamento do meio físico para a ordenação territorial e, principalmente, a sistemática aplicada e proposta para execução de trabalhos visando subsidiar o processo de gestão ambiental.

Palavras Chaves: Mapeamento Geotécnico, Zoneamento Geotécnico Geral, Gestão Ambiental, Distrito Federal.

ABSTRACT

AGUIAR, R.L. (1997). *General engineering geological zoning of the Federal District, Brazil: methodological proceeding and environmental management insertion*. São Carlos - SP, 1997. 2 V. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Due to its relevance, the definition relationship between the geotechnical units with environmental management has a major role in several engineering geological mapping methodologies used in many works in Brazil. A study in the Federal District-Brazil (5.814 km²), was done according with an operational sequence compatible with the 1:100.000 scale requirements. It follows a methodology based on different concepts adopted at EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos). This paper summarizes such procedures and includes some examples of their application, to add information to the local geotechnical knowledge and to show the importance of engineering geological mapping in many different periods of the planning and execution of the environmental control.

This work analyses the incoming data and classify them, later show how to use them in the diagnostic and planning of physical space. This thesis summarizes several methodologies and classical models of physical environment for territorial zoning and specially introduces a systematic used in Federal District with the objective of subsidize environmental management process.

Key Words: Engineering Geological Mapping, General Engineering Geological Zoning, Environmental Management, Federal District-Brazil

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Desde os primórdios da civilização, o homem vem usando os recursos naturais sem as devidas cautelas. Primitivamente, utilizou tais recursos com intuito de se alimentar e se vestir de forma rudimentar. Tais necessidades tão elementares se comparam com as exigências atuais do homem urbano, produzindo fortes impactos e incidências sobre o meio natural.

Não obstante, há dois aspectos fundamentais que diferenciam completamente o problema atual dos de outras épocas: a escala mundial do processo de degradação, como consequência do aumento demográfico verificado na atualidade, e o exagerado crescimento da capacidade de transformação do meio ambiente, que muitas vezes foge das possibilidades de previsão e controle, pela evidente falta de mecanismos de autoajuste do sistema.

A preocupação com as questões ambientais se fortaleceu a partir dos anos setenta - sobretudo após a I Conferência de Estocolmo sobre Meio Ambiente Humano, em 1972, inicialmente nos países mais desenvolvidos, com relação à contaminação e destruição ou esgotamento dos recursos naturais e, posteriormente, à manutenção do equilíbrio ecológico e paisagístico de tal forma que acabaram por se incluir na temática dos recursos ambientais. Tal preocupação, em seguida, se estendeu às demais nações, manifestada em diferentes níveis e respostas científicas e tecnológicas.

As constantes contradições entre as formas de abordagem da problemática ambiental nas regiões industrializadas/desenvolvidas e por aquelas em via de desenvolvimento, sempre passa pela difícil relação **meio ambiente x desenvolvimento**. Nas primeiras se propõem acentuados níveis de preservação e conservação dos recursos e baixos índices de contaminação, enquanto nas outras se defende o máximo aproveitamento dos mesmos recursos, de maneira a satisfazer às necessidades básicas das populações.

Tal dicotomia é verificada no âmbito de países continentais como o Brasil, provocada pelo desequilíbrio no desenvolvimento das diferentes regiões geográficas, sendo muitas as causas que produzem esta situação, podendo-se destacar sinteticamente as seguintes: escassez de informações sobre os espaços passíveis de ocupação; não consideração do homem como componente maior do ecossistema; não inclusão de custos e benefícios sociais na avaliação de programas e projetos; planejamento e gestão fragmentados e setorializados dos recursos naturais, além da total predominância do interesse privado de curto prazo sobre o público.

Qualquer enfoque, na solução dos problemas, deve atender aos seguintes princípios:

- a) levantamento de informações básicas e/ou complexas sobre as diferentes áreas;
- b) preservação dos recursos naturais não renováveis;
- c) manejo racional dos recursos naturais renováveis.

A evolução gradativa do tema *planejamento do desenvolvimento e o meio ambiente* tem possibilitado o enriquecimento de conceitos e metodologias para o estabelecimento de interações entre ambos, proporcionando o surgimento de novos instrumentos de análise que contemplam o meio físico, não do ponto de vista estático, como simples oferta dos recursos naturais, mas sim com enfoque dinâmico, preocupado essencialmente, haja vista as interrelações existentes, com a sociedade.

Com base em estudos realizados na bibliografia disponível, pode-se comprovar que as metodologias, desenvolvidas sob a denominação de MAPEAMENTO GEOTÉCNICO parecem referir-se na maioria dos casos a metodologias de planejamento do espaço físico, realizadas a partir de inventário dos recursos naturais e, freqüentemente, das características sócio-econômicas do território, objetivando alcançar resultados em termos de usos do solo, que levam em conta as capacidades e limitações do ambiente e não somente as propriedades geotécnicas dos materiais.

Esta visão de planejamento ambiental/territorial aparece também complementada pelos aportes metodológicos que derivam dos estudos de impactos ambientais sobre projetos específicos. Tal processo deixa de ser eminentemente sequencial e passa a interativo, pela simples constatação de sucessão cíclica que se realimenta constantemente, gerando soluções e propostas para contínua tomada de decisões.

O planejamento tem continuidade na gestão, ou seja, na colocação em prática das determinações do plano. Entretanto, e modernamente também, se considera artificial a separação entre planejamento e gestão - esta última concebida como uma etapa interativa cujos dados reabastecem as fases do primeiro.

Quando se trata do estudo do meio físico, onde se desenvolvem ações para as quais se planeja, a gestão ambiental sugere que, através do conhecimento do comportamento e interrelações dos sistemas naturais (e sócio-econômicas), se podem otimizar os usos alternativos dos recursos. Assim, supera-se a visão limitada da gestão como ação meramente corretiva, para se dar maior alcance através de ação preventiva e, mais ainda, ordenadora do espaço geográfico e do manejo dos recursos ambientais.

É ponto comum que a introdução da dimensão ambiental, no processo de planejamento e tomada de decisões, objetiva que as considerações do tipo econômico e social estejam relacionadas com as possibilidades que oferece cada ambiente específico. Em inúmeros países, os processos de planejamento se iniciam e fundamentam em diagnósticos setoriais e globais, onde a dimensão ambiental somente aparece desagregada segundo os recursos e os âmbitos considerados, introduzindo distorções e contradições que mais tarde ocasionam custos reais nos processos de desenvolvimento econômico e social.

No Brasil, várias tentativas de realização de diagnósticos do meio físico vêm sendo realizadas de forma esporádica e seguindo diferentes metodologias, com vista a avaliar o estado/qualidade ambiental.

Alicerçado neste tipo de experiência, acredita-se na necessidade de realizar contribuição de ordem metodológica que possa ser utilizada para melhor compreensão das interações entre análise do meio físico, ambiente e desenvolvimento, estabelecendo parâmetros para a determinação das áreas nas quais se queira implementar estratégias de melhor aproveitamento dos recursos naturais, dentro do contexto global de desenvolvimento.

O problema metodológico a ser resolvido tem complexidades de ordem conceitual e operacional. As primeiras iniciam com a definição de meio físico, ambiente e suas relações com os aspectos sociais/culturais e econômicos, cuja abordagem deve ser feita do ponto de vista da Teoria Geral dos Sistemas. As dificuldades operacionais surgem não somente das características atuais das instituições ligadas a estes setores, mas também das condições de incertezas e de subjetividade que permeiam no conceito ambiental.

1.2 ASPECTOS SOBRE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO NO BRASIL

O mapeamento geotécnico tem servido, nas últimas décadas, como ferramenta aplicável a diversos campos, dentre os quais e principalmente da ordenação dos espaços geográficos.

Aspectos relacionados ao meio físico e às situações decorrentes da ação antrópica são verificados ao longo da execução do trabalho, no sentido de fornecer subsídios geotécnicos para se alcançar o planejamento adequado e/ou a utilização específica dos espaços.

A preocupação com os problemas de uso e ocupação ordenados do meio físico resulta da crescente percepção da sua importância para a própria sociedade no tocante às questões ambientais, cada vez mais frequentemente em pauta em todos os setores sociais. Tais aspectos decorrem, na realidade, das consequências desastrosas da relação do homem com o meio físico - ao utilizar inadequadamente seus recursos, chegando mesmo a desconsiderar os limites da natureza.

Características históricas do uso predatório das terras no Brasil têm gerado processos de deteriorização ambiental, implicando em pesados ônus à sociedade como um todo e colocando em risco, principalmente, a continuidade das espécies, inclusive a humana.

A implantação de um sistema-base para a gestão ambiental, onde o mapeamento aparecesse como peça fundamental, asseguraria desenvolvimento adequado e equilibrado do espaço. A atualização permanente de dados, alicerçada no dinamismo dos elementos do meio físico, biótico e abiótico, poderia possibilitar a representação e fiscalização sistemática da paisagem, oferecendo com isso melhor aparelhamento técnico-científico e administrativo de organismos públicos e privados.

Esses fatos têm incentivado, recentemente no País, o avanço da cartografia geotécnica como ferramenta essencial, dentro do moderno conceito de planejamento, na busca de informações primordiais que possam subsidiar a compatibilização do uso e ocupação do solo às limitações e potencialidades do meio físico.

Dois problemas fundamentais devem ser considerados: primeiro, o estabelecimento de metodologia adequada às diferentes regiões brasileiras, visto o vazio científico em grande parte do território; em segundo lugar, o atendimento aos objetivos da investigação - reconhecimento dos recursos ambientais, com rapidez e qualidade necessárias à orientação dos diversos campos de aplicação e respectivos interessados (sobretudo órgãos governamentais) na montagem da estratégia de ocupação do espaço que, nas últimas décadas, tem sido feita de maneira acelerada e irracional, sem qualquer tipo de ordenação.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1 Geral

Realizar o zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal - DF, utilizando-se inclusive de técnicas de geoprocessamento, com o objetivo de auxiliar na orientação e planejamento da ocupação do espaço físico e uso dos recursos naturais disponíveis, possibilitando desta forma fortalecer a componente metodológica do mapeamento geotécnico integrando-o, mais efetivamente, no processo de gestão ambiental.

1.3.2 Específicos

- Implementar metodologia para estudo dos atributos do meio físico necessários ao zoneamento geotécnico, aplicável em qualquer região do País, usando-se como modelo o DF;
- Elaborar sistemática eficaz do mapeamento geotécnico que permita o aprimoramento da gestão ambiental, em escala regional;
- Adequar as informações cartográficas e temáticas existentes, ao interesse do zoneamento geotécnico, e adquirir novos dados necessários à sua execução;
- Interpretar dados de sensoriamento remoto dispostos no formato digital, para execução e padronização das informações temáticas;

- Montar uma base de dados georelacional e georreferenciada das informações geotécnicas de interesse do zoneamento geotécnico geral;
- Classificação dos principais atributos do meio físico para fins de caracterização geotécnica e de contribuição ao zoneamento ecológico-econômico do DF;
- Levantar os problemas decorrentes da não observância dos limites impostos pelo meio físico, bem como auxiliar na proposição de alternativas adequadas à solução ou minimização dos mesmos.

1.4 ELEMENTOS CONCEITUAIS

Para contribuir na melhor compreensão das questões conceituais, serão apresentados, neste tópico, conceitos e definições de alguns termos frequentemente utilizados e aceitos pelo autor deste trabalho, quais sejam: impacto ambiental e avaliação de impacto ambiental, incluindo estudo de impacto ambiental, diagnóstico ambiental e relatório de impacto ambiental; planejamento ambiental; gestão ambiental; ecossistema; ecodesenvolvimento; mapeamento/cartografia geotécnica, e termos afins.

1.4.1 Impacto Ambiental

Na Resolução 001/86 do CONAMA(1991), impacto ambiental representa qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam : a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

LEOPOLD *et al.*(1971) estabelecem como sendo a troca de valor do meio ou de algum de seus elementos em particular, de um ponto, de um ecossistema ou da unidade operativa adotada, como consequência da reação ou do tipo de resposta do mesmo frente a influências externas.

CANTER(1977) defende que é qualquer alteração, no sistema ambiental físico, químico, biológico, cultural e sócio-econômico, atribuída a atividades humanas relativas às alternativas em estudo, para satisfazer às necessidades de um projeto.

Segundo MUNN(1979), uma *alteração* (ambiental) pode ser natural ou induzida pelo homem; *efeito* é uma alteração induzida pelo homem enquanto que *impacto* inclui um julgamento do valor da significância de um efeito.

Para HORBERRY(1984), o impacto ambiental é a estimativa ou o julgamento do significado e do valor do efeito ambiental para receptores natural e humano. Efeito ambiental, por sua vez, é a alteração mensurável da produtividade dos sistemas naturais e da qualidade ambiental, resultante de uma atividade econômica.

DIEFY(1985) considera que, do ponto de vista analítico, é a diferença entre as condições ambientais que existirão com a implantação de um projeto proposto e aquelas que existiriam sem tal ação.

A respeito deste termo BATALHA(1986) estabelece que o impacto ecológico é o efeito total que produz uma variação, seja natural ou provocada pelo homem, sobre as condições ambientais de uma região.

De acordo com a ABNT(1989), este termo diz respeito à alteração da qualidade do meio ambiente resultante de ação antrópica ou não, podendo o impacto ser avaliado através da relação entre as condições ambientais com ou sem a ação considerada.

Corrobora-se com a definição apresentada por BATALHA(1986), modificando-se apenas o termo impacto ecológico por impacto ambiental.

1.4.2 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

MOREIRA(1985 e 1990) conceitua avaliação de impacto ambiental como sendo um instrumento de política ambiental, formada por um conjunto de procedimentos capazes de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta e de suas alternativas, afirmando também que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão e por eles considerados. Além disso, os procedimentos devem garantir a adoção das medidas de proteção do meio ambiente determinadas, no caso de decisão favorável sobre a implantação do projeto avaliado.

1.4.2.1 *Estudo de Impacto Ambiental (EIA)*

Segundo MOREIRA(1990), é um dos elementos do processo de avaliação de impacto ambiental; trata da execução, por equipe multidisciplinar, das tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar, sistematicamente, as consequências da implantação de um projeto no meio ambiente.

Para ALONSO *et al.*(1991) o EIA abrange os trabalhos destinados a prognosticar as consequências da execução do projeto sobre o meio ambiente e estabelecer medidas corretivas. O estudo de impacto ambiental é o núcleo em torno do qual se articula o processo de avaliação de impacto ambiental.

Aceita-se como mais adequada esta última conceituação porque, além de concisa, consegue expressar toda a amplitude do EIA.

1.4.2.2 *Diagnóstico Ambiental (DA)*

Pela Resolução 001/86 do CONAMA(1991), entende-se por diagnóstico ambiental a completa descrição da área de influência de um projeto, bem como a análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental do local.

Em concordância com QUEIROZ(1992), o diagnóstico ambiental engloba o levantamento dos parâmetros dos meios físico, biótico e sócio-econômico, em uma área de influência previamente determinada, a fim de se conhecer a situação ambiental atual.

1.4.2.3 *Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)*

De acordo com MOREIRA(1990), o relatório de impacto ambiental é o documento que apresenta os resultados dos estudos técnicos e científicos de avaliação de impacto ambiental.

Sinteticamente, a Resolução 001/86 do CONAMA(1991) afirma que o RIMA deve refletir as conclusões do estudo de impacto ambiental contendo, no mínimo: objetivos e justificativas do projeto, descrição do projeto e suas alternativas, síntese do diagnóstico ambiental, descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, caracterização da qualidade ambiental futura, descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras, programa de acompanhamento e monitoramento e recomendações de alternativas mais favoráveis.

Considerar-se-á, então, o relatório de impacto ambiental, como a síntese conclusiva do estudo de impacto ambiental.

1.4.3 **Planejamento Ambiental**

É um conceito que vem sendo usado, exageradamente, para diversos fins e por diferentes tipos de profissionais.

WEDDLE(1973) subdividiu o conteúdo desta expressão em cinco formas ou títulos genéricos, bastante afins:

- Planejamento da Paisagem (*landscape planning*) - refere-se a preservação e conservação da paisagem, com fortes conotações ecológicas, e significa a aplicação de um enfoque de sistemas ao conjunto de elementos naturais ou introduzidos em uma área;

- Conservação e Gestão dos Recursos (*conservation and resources management*) - inclui o conceito anterior e o ultrapassa, pois seu objetivo vai mais além da preservação e proteção, chegando a uma ordenação positiva baseada na utilização racional e ótima, na medida do possível, do território;
- Planejamento do Uso do Solo (*land use planning*) - tem forte conotação urbanística, pois nessa situação o termo solo aplica-se a estudos de ordenação de áreas urbanas e periurbanas;
- Planejamento dos Recursos (*resources planning*) - considera o caráter independente dos recursos naturais e os efeitos em cadeia da exploração ou proteção de um deles;
- Planejamento Ambiental (*environmental planning*) - leva em consideração o segundo e terceiro títulos anteriores, sendo o processo através do qual se fixam os usos ótimos do território, isto é, a distribuição da atividade humana, de forma ótima, no território.

Em FARIAS *et al.*(1984), este tipo de planejamento reconhece o ambiente como um sistema físico e biológico a considerar, na consecução de seus objetivos.

De forma clara e objetiva, HOLLING(1978) sustenta que o planejamento ambiental gera uma série de alternativas de distribuição de usos no território, com a consideração dos elementos do meio natural como fatores fundamentais de localização.

1.4.4 Gestão Ambiental

CHADWICK(1971) e LEE(1975) conceituam a gestão ambiental como sendo a continuidade do planejamento, onde se inclui toda ação antrópica capaz de alterar essencialmente o ambiente sócio-econômico em relação com o cumprimento dos objetivos de um sistema específico, que via de regra, passa pelas seguintes etapas:

- a) identificação e descrição do sistema;
- b) definição dos objetivos com base nos problemas atuais, futuros e suas interrelações;
- c) geração de soluções que satisfaçam os objetivos, sem violar as restrições do sistema;
- d) seleção da solução mais adequada;
- e) execução e controle.

Para SELDEN(1973), tal processo pode ser entendido como a condução, direção e controle, pelo governo, do uso dos recursos naturais através de determinados instrumentos, o que inclui medidas econômicas, regulamentos e normas, investimentos públicos e financiamentos, requisitos interinstitucionais e judiciais.

No entendimento de HURTUBIA(1980), a gestão ambiental é a tarefa de administrar o uso produtivo de determinado recurso renovável, sem diminuição da produtividade e da qualidade ambiental, rotineiramente em conjunto com o desenvolvimento da atividade.

GARCIA & GARCIA(1980) consideram a gestão como o conjunto de ações explicitamente gerenciadas pela sociedade, para obter uma organização dos elementos do sistema que consiga a otimização de seus próprios objetivos.

De acordo com o IMC(1982), é a tentativa tanto de avaliar valores-limites das perturbações e alterações que, uma vez excedidos, resultam em recuperação significativamente demorada do ambiente, bem como de manter os ecossistemas dentro de suas zonas de resiliência (capacidade de absorver tensões externas), de maneira a maximizar a recuperação pelo homem dos recursos do ecossistema natural, assegurando sua produtividade prolongada.

Pode-se deduzir que, na realidade, o termo gestão ambiental se refere a incorporação da dimensão ambiental no planejamento e no processo de tomada de decisão política, transcendendo o âmbito do conhecimento, para também vincular-se ao plano da ação.

1.4.5 Sistema, Subsistema, Ecossistema e Teoria Geral dos Sistemas

BRANCO & ROCHA(1987) definem sistema como: um complexo de elementos (conjunto em interação; conjunto tal qual de objetos agrupados com relação entre os objetos e seus atributos, ou um todo organizado); conjunto de unidades interrelacionadas.

Para VASCO(1978) sistema é um conjunto de objetos com suas relações e operações; para o autor, todo sistema é subsistema de outros sistemas.

No mapeamento geotécnico, pode-se considerar como unidade de síntese e de análise os conceitos de sistema e subsistema geográficos, ou seja, os conjuntos de objetos com suas relações e operações existentes em um dado ambiente físico.

Concorda-se com a conceituação de FARIAS *et al.*(1984), quando afirmam que sistema é um grupo de componentes que se interrelacionam, de tal forma que as trocas em um componente podem afetar algum ou todos os demais componentes.

Segundo HURTUBIA(1980), em síntese, o ecossistema é uma unidade estrutural, funcional e de organização, consistente em organismos (inclusive o homem) e as variáveis ambientais de determinada área.

Clara e concisamente, GASTO(1980) defende que o ecossistema é um arranjo de componentes bióticos e abióticos, ou conjunto/coleção de elementos que estão conectados ou relacionados, de maneira que constituem uma unidade ou um todo.

Em ODUM(1983), entende-se por ecossistema ou sistema ecológico, qualquer unidade que inclua todos os organismos de uma determinada área, interagindo com o ambiente físico, de tal forma que um fluxo de energia leve à uma estrutura produtiva/consumidora definida, à uma diversidade biológica e à reciclagem de materiais (troca de materiais entre componentes vivos).

A ABNT(1989) sintetiza estes conceitos e estabelece que ecossistema é a unidade funcional do meio ambiente, que constitui um sistema onde, pela interação entre os diferentes organismos presentes e o ambiente, ocorre uma troca cíclica e recíproca de matéria e de energia, incluindo os poluentes.

A teoria geral dos sistemas pertence ao campo lógico-matemático. Seu propósito é fornecer princípios gerais de sistemas e se preocupa, principalmente, pela estrutura dos sistemas, tal como está definida pelas relações entre partes do sistema, a maneira em que estas relações determinam o comportamento dinâmico do sistema e sua história (CHURCHMAN, 1968; BERTALANFFY, 1972; VASCO, 1978 e BAKUZIS, 1969).

1.4.6 Ecodesenvolvimento

Segundo SACHS(1972, *in* MOREIRA, 1990), precursor do ecodesenvolvimento, desenvolvimento sustentável pode ser definido como um processo criativo de transformação do meio com a ajuda de técnicas ecologicamente prudentes, concebidas em função das potencialidades deste meio, impedindo o desperdício dos recursos, e cuidando para que estes sejam empregados na satisfação das necessidades de todos os membros da sociedade, dada a diversidade dos meios naturais e dos contextos culturais.

Para JUCHEM(1992), o ecodesenvolvimento é uma nova forma de enfocar e agir relativamente aos componentes ambientais, econômicos e sociais no processo de desenvolvimento.

Realizando análise comparativa, CARVALHO(1987) estabelece as diferenças entre as duas visões básicas de política ambiental que permitem bom entendimento a respeito do ecodesenvolvimento - Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Duas visões da política ambiental vigente (CARVALHO, 1987).

TÓPICOS	ECONOMIA NEOCLÁSSICA	ECODESENVOLVIMENTO
Causas dos Problemas Ambientais	Falha do mercado	Atual estilo de desenvolvimento
Solução	Ajuste no mecanismo de preços, incorporando as externalidades	Novo estilo de desenvolvimento
Principal Instrumento	Taxa de poluição. Venda de licenças para poluir	Planejamento participativo
Política Ambiental	Sinônimo de política de controle da poluição	Inclui diferentes aspectos do meio ambiente. Integrada com as demais políticas setoriais e com a política de desenvolvimento do país

1.4.7 Geoprocessamento

Segundo INPE(1997), o geoprocessamento expressa o conjunto de tecnologias que integram as fases de coleta (feita por imagens de satélite, de radar ou fotos aéreas, levantamentos topográficos e geodésicos, incluindo a tecnologia de posicionamento orbital - GPS e investigações de campo), processamento e uso de informações relacionadas ao espaço físico (através dos CADs, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas - SIGs), seus cruzamentos, análises e produtos (geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc.; devendo prever recursos para sua armazenamento, gerenciamento, manipulação e novas análises).

1.4.7.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Uma das definições mais claras e sucintas encontra-se em ARONOFF(1989) que considera SIG “conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georeferenciados”.

Para ASSAD & SANO(1993), é um sistema de elaboração, armazenamento, recuperação e análise de dados georeferenciados num ambiente computacional. Neste tipo de ambiente, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes informações geográficas, como imagem de satélite e modelos numéricos de terreno (MNTs).

Portanto, de forma simplificada, o SIG é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

1.4.7.2 *Modelo Numérico de Terreno (MNT)*

Conforme apresentado por SOUZA(1994), o termo modelo numérico de terreno diz respeito a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Está normalmente associado à altimetria, mas pode ser utilizado para modelar outros fenômenos de variação contínua (variáveis geofísicas, geoquímicas e geotécnicas, dentre outras).

1.4.8 Mapeamento/Cartografia Geotécnica

Para melhor entendimento das terminologias usualmente empregadas no mapeamento/cartografia geotécnica, inicialmente apresentar-se-ão alguns conceitos básicos, que apesar do uso frequente, nem sempre são uniformemente estabelecidos e/ou aceitos por profissionais deste campo de atuação. No entanto, não é objetivo deste tópico expor as inúmeras definições adotadas por diferentes e consagrados autores, mas apenas conceituá-los quanto a forma que serão empregados neste trabalho, sobre o restrito ponto de vista em questão.

- Mapa - representação gráfica dos atributos do meio físico em determinada escala, sem a realização de análise interpretativa.
- Carta - diferencia-se do anterior por incluir análise interpretativa destinada a fins práticos da atividade humana.
- Atributo - característica, qualitativa ou quantitativa, que identifica o componente de um sistema observado.

- Mapeamento Geotécnico - conjunto de processos sistemáticos de investigação dos atributos e suas relações, imprescindíveis ao estabelecimento de unidades geotécnicas, passíveis de representação em documentos cartográficos.
- Cartografia Geotécnica - distingue-se do mapeamento geotécnico por apenas estabelecer as unidades geotécnicas, com base em levantamentos temáticos executados anteriormente, sem a etapa de investigação.

1.4.9 Técnica, Modelo, Método, Sistemática e Metodologia

Adaptando-se as definições estabelecidas por AURELIO(1986) aos objetivos deste trabalho, os termos podem assumir os seguintes significados:

- Técnica - conjunto de processos especiais para execução ou realização de um trabalho;
- Modelo - conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema;
- Método - programa que regula previamente uma série de operações que se devem realizar, apontando erros evitáveis, em vista de resultado determinado;
- Sistemática - refere-se à classificação de um sistema estudado, seguindo determinada linha de pensamento e/ou ação;
- Metodologia - conjunto de técnicas utilizadas para ultrapassar a subjetividade no processo de investigação.

2. PLANEJAMENTO DO MEIO FÍSICO

2.1 ASPECTOS GERAIS

A partir da II Guerra Mundial, o planejamento surge como uma categoria aceita por diferentes grupos sociais em diversos níveis e setores, mesmo que restrita aos aspectos econômicos e espaciais.

Atualmente, existe a opinião mais ou menos generalizada de que o planejamento é uma característica da forma de manejo das atividades econômicas e sociais. Esse gerenciamento se apoia no uso de uma série de técnicas, instrumentos e metodologias para levar adiante e de forma racional tais atividades. WESTMAN(1985) considera que essas técnicas e metodologias, que permitem prever situações futuras e ordenar espacial e temporalmente uma série de atividades, são os instrumentos do planejamento.

Problemáticas específicas de países em via de desenvolvimento, como é o caso do Brasil, confere ao planejamento caráter muito peculiar, diferente. Todos esses países estão integrados a um sistema mais amplo cujo funcionamento é, por definição, dependente. Tais nações subdesenvolvidas são um subsistema do sistema mundial, onde as técnicas de planejamento são basicamente instrumentos de racionalização de políticas e seu uso, estando a aplicação e eficácia determinadas por condições do sistema, vinculadas à existência de uma institucionalidade e às condições econômicas, políticas, sociais, administrativas que suportam o processo de tomada de decisões e que são favoráveis a seu emprego (KAINUMA; NAKAMORI & MORITA, 1990).

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

A incidência da atividade humana em seu meio natural, no ecossistema de que toma parte, pode resumir-se em três grandes tópicos: a) mudança do uso do solo; b) contaminação; e c) esgotamento dos recursos, que pressupõe, finalmente, desperdício dos recursos naturais e se traduz na perda de oportunidades, tanto para o desenvolvimento quanto à qualidade ambiental.

Para BOLEA(1984), nos tempos atuais, as causas que originam a maioria dos impactos têm geralmente caráter pontual ou linear, afetando em termos relativos à pequena superfície. No entanto, isto não implica que o fenômeno tenha pouca importância, uma vez que:

- afeta a maior parte das populações;
- as causas embora sejam locais, os efeitos podem se prolongar por extensas áreas, manifestando-se em regiões afastadas da origem ou iniciar processo em cadeia de difícil previsão/controle;
- certas causas ou usos produtores de impacto se localizam, seletivamente, sobre espaços mais valiosos.

No concernente ao uso, os impactos ambientais se produzem por uma ou várias das seguintes circunstâncias:

1) *Impactos da ocupação* - gerado pela simples implantação de uma atividade. Podem ser de caráter irreversível e se manifestam pela degradação do solo, de suas potencialidades produtivas, da cobertura vegetal e da fauna localizada nas imediações. São modificados também os modelos de drenagem interna e externa, que muito condicionam a estabilidade e evolução dos equilíbrios naturais;

2) *Impactos produzidos pela emissão de contaminantes* - se a quantidade que é incorporada ao meio supera a capacidade de assimilação, produzem-se efeitos em cadeia sobre os ecossistemas existentes, efeitos que podem se manifestar a grande distância da origem. Esses agentes sólidos, líquidos e gasosos, atuam no ar, águas superficiais, solo e subsolo, além dos possíveis reflexos sobre a paisagem, flora e fauna;

3) *Impactos de difusão* - consequência da pressão que a localização e o desenvolvimento de uma atividade produzem sobre seu entorno. Naturalmente tais impactos se incluem, por vez, em uma das categorias anteriores;

4) *Impacto pela atração do desenvolvimento urbano e industrial* - esse quarto tipo de impacto, que pode ser bastante importante, ainda que normalmente se manifeste em espaços afastados da origem, se refere à atração que tais desenvolvimentos exercem sobre as populações rurais de zonas mais carentes provocando, por vezes, o desaparecimento do equilíbrio do homem com seu meio, culturas e formas originais e tradicionais de exploração primária eficaz da terra;

5) *Impactos produzidos pela extração de recursos naturais* - em determinada quantidade, produz o esgotamento parcial ou total do sistema. Esse tipo de impacto pode ter maior ou menor interesse ao modelo de planejamento físico, em função da distribuição dos usos no território e das técnicas a serem utilizadas, supondo-se admissível somente a exploração de forma ordenada.

Cabe enfocar as opções para solucionar/minimizar esses problemas sobre duas óticas:

- corretiva, quer dizer, enfrentar o problema já existente, cuja causa esteja localizada. A solução passará, quase sempre, por medidas tecnológicas de diferentes tipos, levando-se em consideração a reversibilidade ou irreversibilidade do impacto;

- preventiva, isto é, prever e resolver o problema antes de produzido. Esse enfoque conduz diretamente ao planejamento e, dentro desse, ao planejamento físico, que avalia os problemas espaciais ou, o que é melhor, ao planejamento integrado que inclui a problemática em seu conjunto e todos os seus aspectos - sociais, econômicos, físicos, políticos e ambientais.

Ambos enfoques, no comportamento humano racional, não são alternativos mas interativos e complementares. O desenvolvimento, particularmente o avanço da civilização, tem se confrontado com a perspectiva de planejamento, prevendo as consequências de qualquer opção, mas contemplando as possibilidades tecnológicas conhecidas e atribuindo certa margem de confiança aos novos avanços tecnológicos.

Desse ponto de vista, a problemática ambientalista, que comporta qualquer processo de desenvolvimento, traduz-se em uma questão simples de formulação - utilização racional dos recursos naturais. Cabe entender os recursos naturais em nova acepção, como os aspectos qualitativos do meio ambiente e esse como a superposição dos recursos naturais e sua interação mútua.

2.3 OBJETIVOS DO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

O objetivo a ser alcançado pelo planejamento depende substancialmente das características de âmbito geográfico ou região a ordenar. Esse ponto é especialmente importante para compreender toda a problemática envolvida na questão (MATHER, 1989).

Segundo WHITEHOUSE(1990), existem dois tipos de regiões bem contrastantes, que exigem enfoques completamente distintos:

a) *Áreas carentes, geralmente de caráter rural* - é o caso de amplas zonas do Brasil e também de outros países mais ou menos industrializados que, através de um processo de emigração, estão praticamente abandonadas. O problema que o planejamento físico tem a resolver consiste em definir as ações necessárias ao máximo aproveitamento dos recursos. Esse aproveitamento, logicamente, deve ser embasado na mudança dos usos atuais do solo, troca sugerida pelo processo de abandono a que está submetido.

É importante compreender a importância da produção sustentada, o uso sem exaustão dos recursos, ou seja, manejá-los de tal forma que passem às futuras gerações em boas condições de uso. Apesar de ser uma problemática basicamente distinta, podem ser utilizadas as mesmas técnicas de planejamento para a ordenação de zonas intactas, ainda não colonizadas, quando não se as direcionam, obviamente, à mudança de uso e sim apenas ao encontro e asseguramento de usos adequados;

b) *Áreas de crescimento rápido* - esses tipos de regiões se situam no outro ápice dos problemas e planejá-las requer técnicas radicalmente diversas. É o caso das grandes áreas metropolitanas e suas zonas de expansão. A questão não é o aproveitamento máximo dos recursos naturais, pois sua sustentação é basicamente artificial, mas a preservação e conservação dos mesmos, a manutenção de altos níveis de qualidade ambiental, refletidas pela ausência de elementos nocivos que alterem seu estado padrão.

Resumidamente, o planejamento nessas áreas, deve atender a localização da atividade (uso do solo) no território, de maneira que melhorem as condições de vida de toda a população.

Naturalmente, entre os dois extremos, haverá inúmeras regiões de características intermediárias que, não sendo carentes, têm um desenvolvimento e são relativamente estáveis. Cada tipo de área apresenta uma problemática geral, e particularmente ambiental, bem específica que determina objetivos diferentes e, conseqüentemente, procedimentos de planejamento também distintos, ainda que coincidam em algumas de suas fases.

2.4 MÉTODOS CLÁSSICOS DO PLANEJAMENTO FÍSICO

Os modelos a serem apresentados constituem experiências clássicas de planejamento físico em que as características do território e, por consequência, dos recursos naturais, se incorporam no planejamento como elementos-chave da tomada de decisões o que, muitas vezes levam a uma profunda avaliação dos impactos ambientais .

2.4.1 Método de Lewis (LEWIS, 1964)

Em seu trabalho, LEWIS(1964) concluiu que era mais útil distinguir os recursos mais importantes - *maiores* (águas superficiais, terras alagadiças e topografia) dos *adicionais*. A Figura 2.1 exibe a sequência do processo proposto por esse autor, cujas etapas são descritas a seguir:

- 1) delimitação da área total de estudo;
- 2) identificação dos usos a implantar e sua exigências;
- 3) seleção de uma área pequena de estudo (área-chave), que seja representativa da zona total em que podem ser examinadas as relações espaciais entre os recursos maiores e adicionais, cujos passos são os seguintes: *a)* identificação dos recursos que cumprem as exigências ou critérios de uso estabelecidos no item 2, distinguindo entre os maiores e os adicionais; *b)* inventário e mapeamento dos recursos maiores em três mapas diferentes; *c)* combinação e superposição dos três mapas de recursos maiores em somente um; *d)* inventário e mapeamento dos recursos adicionais; *e)* estabelecimento de zonas com objetivos específicos; *f)* combinação por superposição dos mapas dos recursos adicionais em um só, na mesma escala dos maiores e *g)* comparação dos recursos maiores e adicionais e estabelecimento das correlações oportunas;
- 4) inventário dos recursos maiores em toda área;
- 5) inventário dos recursos adicionais em toda a área (não é imprescindível);

Figura 2.1 - Diagrama do método de Lewis. Adaptado de LEWIS(1964).

- 6) valoração dos recursos mediante sistema de pontuação;
- 7) totalização dos valores, por soma aritmética, para identificação de áreas prioritárias;
- 8) determinação da demanda dos recursos propostos e definição de prioridades; estabelecimento das zonas necessárias para satisfazer a demanda e realização do projeto do seu desenvolvimento;
- 9) identificação das limitações e estabelecimento de usos específicos.

2.4.2 Método Automático de Steinitz (STEINITZ & ROGERS, 1968)

Método elaborado a partir de diferentes modelos matemáticos e técnicas automáticas, capazes de fornecer respostas eficazes ao problema da incorporação dos dados do meio físico ao planejamento territorial. O processo se realiza mediante auxílio de computadores, o que permite uma grande qualidade e rapidez no tratamento das informações.

A Figura 2.2 sintetiza, esquematicamente, esse método que basicamente engloba:

- 1) inventário dos elementos do meio físico e seu arquivo, sob formatos previamente codificados e referenciados geograficamente, em banco de dados legível por computador, do qual seja possível extrair documentos cartográficos automatizados;
- 2) estabelecimento das atividades potenciais;
- 3) determinação da atração, ou capacidade, e da vulnerabilidade do território para cada uma das atividades;
- 4) a partir dos mapas de atração e vulnerabilidade, e levando-se em conta aspectos do tipo econômico, social, político, etc., decide-se uma primeira proposta;

Figura 2.2 - Diagrama do método de Steinitz. Adaptado de STEINITZ & ROGERS(1968).

5) como resultado da avaliação, pode-se corrigir o plano primitivo para maior aproximação dos objetivos de aumentar a capacidade e diminuir o impacto.

Aparentemente confuso, exhibe ordem extremamente coerente e flexível para sua aplicação em diferenciadas situações/regiões.

2.4.3 Método de Mc Harg (MC HARG, 1969)

Especialista em planejamento regional e arquitetura paisagística, esse autor se preocupou especialmente com o modo pelo qual os processos biológicos, que considera recursos naturais, deveriam ser reconhecidos como critérios restritivos e orientadores no planejamento regional. Sua teoria consiste, resumidamente, em apresentar os processos naturais como *expressivos* e como *determinantes* do uso do solo. Seu método consiste na aplicação dos conhecimentos do meio natural para planejar a localização e forma de desenvolvimento (A).

Ao final da proposta, chega a um sistema de recomendações muito claras, bem argumentadas e coerentes, mas não finaliza de todo o processo de planejamento.

O procedimento se inicia com a elaboração de um inventário, que consiste no mapeamento dos seguintes fatores: clima, geologia, fisiografia, hidrologia, solos, flora, fauna e uso atual do solo (B). Para o levantamento feito nessa sequência, se tem em conta a relação de causa e efeito dos fatores citados, considerados como indicadores dos processos naturais, requerendo-se, assim, a compreensão da natureza como um processo.

Em seguida, são interpretados os dados do inventário relacionados com as atividades objeto de localização (2a), que se traduzem em mapas de capacidade intrínseca para cada uma das atividades (2b), que são basicamente: agricultura, recreação, silvicultura e uso urbano.

Por outra parte, se atribuem pesos aos processos, o que permite obter um zoneamento da área total segundo seu valor (3a). MC HARG(1969) estabelece quatro valores aos processos ou recursos naturais:

- qualidade inerente do processo;
- produtividade do processo;
- manutenção do equilíbrio ecológico e
- riscos potenciais derivados do uso inadequado dos processos ou recursos naturais.

Comparando-se ou confrontando os usos-objeto de localização entre si, obtém-se uma matriz de incompatibilidades (3b). Todos esses dados (mapas de valor, de capacidade e matriz de incompatibilidades) são sintetizados em mapa de adequação ou capacidade combinada para os quatro usos simples considerados e suas combinações compatíveis, ou seja, os usos múltiplos possíveis.

Paralelamente à sequência descrita, que o autor denomina de *inventário ecológico*, realiza-se um *inventário econômico* (C) conjugado à análise visual da paisagem, a partir do qual se estabelecem critérios de visibilidade (D). Esses dados unidos aos mapas de adequação e aos critérios de forma e desenho estabelecidos (E), constituem documentos que permitem instrumentar o planejamento. As figuras 2.3 e 2.4 exibem a sequência do processo descrito.

2.4.4 Método de Hills (HILLS, 1970)

O método de Hills pode ser resumido nos seguintes pontos:

- classificação do solo em unidades homogêneas;
- avaliação do potencial dessas unidades para usos múltiplos, alternativos ou combinados, segundo vários níveis e condições de ordenação.

Na Figura 2.5, pode-se observar a sequência do processo, que sumariamente se descreve:

1) a área total objeto do estudo é dividida sucessivamente em unidades cada vez menores, de acordo com um gradiente escalar de fatores climáticos e de formas externas do solo:

Figura 2.3 - Diagrama do método de Mc Harg. Adaptado de MC HARG(1969).

Figura 2.4 - Sequência do método de Mc Harg. Adaptado de MC HARG(1969).

A - Agricultura S - Silvicultura N - Reservas Naturais R - Recreação

Figura 2.5 - Diagrama do método de Hills. Adaptado de HILLS(1970).

- a) *Zonas* - baseadas em semelhanças climáticas amplas;
- b) *Subzonas* - divisão das zonas atendendo a estrutura geológica e a uma ampla gama de atributos: textura, profundidade do substrato rochoso, composição mineralógica e conteúdo em água;
- c) *Classes fisiográficas* - áreas dentro das subzonas, isoladas com base nas variações climáticas da temperatura do ar e da umidade localizadas, refletidas pelas comunidades vegetais; e
- d) *Tipos fisiográficos*- delimitadas mediante critérios de profundidade e umidade do solo.

2) elabora-se uma lista de usos a considerar e os requisitos físicos ou exigências de cada um. HILLS(1970) considera quatro usos gerais: agricultura(A), silvicultura (S), reservas naturais(N) e recreação (R), e divide cada um em usos mais concretos, para o que se estabelecem suas restrições.

3) determina-se, para cada tipo fisiográfico ou fase, o uso potencial em termos de capacidade, adequação e viabilidade, utilizando escalas distintas de valoração para cada nível.

a) *Capacidade de uso* - expressão do potencial produtivo (*lato sensu*) em condições ótimas de exploração. A avaliação se faz segundo uma escala de 7 graus (a-g);

b) *Adequação de uso* - refere-se ao grau de esforço para levar uma unidade desde seu estado atual até o nível estimado de exploração;

c) *Viabilidade de uso* - grau de conveniência para desenvolver uma unidade dadas as condições econômicas e sociais existentes ou previstas.

4) para cada unidade da paisagem se recomenda, como uso principal, aquela atividade que obteve a mais alta classificação de viabilidade.

5) finalmente, são elaborados mapas que representam os usos múltiplos principais e secundários que se tem recomendado à cada unidade do terreno.

De utilização restrita à quatro usos específicos pode ser implementado, com algumas necessárias e cuidadosas alterações, para outros tipos de usos.

2.4.5 Método de Lynch (LYNCH, 1972)

Esse método destaca os sistemas de interações entre os organismos e seu entorno; o território ou o espaço a ordenar é visto como sistema de estruturas, superfícies, espaços, elementos vivos, clima e outros, no qual se guarda como essenciais os conflitos que surgem da oposição espaço-tempo.

Levando em conta dados como o equilíbrio ecológico, a singularidade do local, a natureza do solo, os sistemas de erosão, a topografia, as encostas, a paisagem, o clima, o microclima e as qualidades intangíveis, elaboram-se mapas básicos por superposição entre eles. Tais mapas podem ser feitos por procedimentos automáticos ou manualmente, e se constituem em modelo de interpretação da área estudada, que permite tomar decisões de planejamento. Paralelamente, faz-se também análise de igual importância em relação aos usuários do local: suas necessidades, valores de comportamento, etc.

A Figura 2.6 é um diagrama do fundamento desse método, cuja essência são os aros de realimentação. Os movimentos cíclicos que se produzem facilitam a resolução do conflito espaço-tempo, já que representam, por sua vez, um processo evolutivo.

Figura 2.6- Diagrama do método de Lynch. Adaptado de LYNCH(1972).

Ressalta o autor que convém incorporar as técnicas computacionais ao modelo, tanto para o armazenamento de dados quanto para estabelecer diagnóstico contínuo com tais recursos e poder elaborar e avaliar diferentes soluções até chegar a melhor, por aproximações sucessivas.

A lista de dados que o autor recomenda para o estabelecimento das sequências do processo é a seguinte: **Dados Físicos** - geologia e solos; água; topografia; clima; ecologia; estruturas artificiais; e qualidades intuitivas. **Dados Culturais** - população residente; assentamentos humanos na área e proximidades; valor do local, direitos e restrições; passado e futuro; e imagem. **Correlação de Dados** - classificação da área em zonas de estruturas idênticas, qualidade e problemas; identificação dos pontos-chave, linhas e zonas; análise das mudanças atuais e futuras, aspecto dinâmico do local e identificação dos problemas importantes e das oportunidades.

LYNCH(1972) desenvolve técnicas para o estudo de cada um dos fatores citados e estabelece a sequência para chegar a solução única, mediante processo de otimização, o que torna o método bastante interessante e aplicável a distintos objetivos se houver disponibilidade de ferramentas computacionais compatíveis ao nível de exigência requerido.

2.4.6 Método de Johns (JOHNS, 1973)

É um modelo muito completo que inclui análise da capacidade intrínseca do território e estudo dos impactos produzidos por diferentes planos. O diagrama desse método é mostrado na Figura 2.7.

A partir de um programa geral de atuação, são estabelecidos os objetivos fundamentais a englobar por toda proposta deduzida do modelo. Realiza-se inventário descritivo dos fatores naturais, culturais, sociais ou econômicos que se consideram necessários, os quais são armazenados em banco de dados para posterior utilização.

Figura 2.7 - Sequência do método de Johns. Adaptado de JOHNS(1973).

Sobre a base de dados do inventário, se analisam: a *capacidade* ou potencial inerente ao solo para produzir certos bens e/ou serviços; a *adequação* ou possibilidades da área em seu estado atual, para introduzir ou manter nela as atividades propostas; e a *viabilidade* ou possibilidade em admitir as diferentes atividades. Com esses dados, são geradas distintas soluções (de **1** a **n**), que se submetem a uma análise de impactos. Sobre essa base e através dos objetivos almejados, faz-se avaliação de forma a conseguir a redução do impacto a níveis aceitáveis. Pode-se, assim, conseguir uma **proposta válida** que posteriormente dê lugar a um plano de atuação.

A Tabela 2.1 compara e apresenta resumidamente os métodos expostos anteriormente, para facilitar a avaliação e compreensão de seus conteúdos.

2.5 SEQUÊNCIA SUMÁRIA DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO

Segundo diversos autores, dentre os quais destacam-se LEE(1975), CHADWICK(1971) e CATANESE & STEISS(1978), a realização de um plano, no abstrato, passa necessariamente pelas seguintes etapas:

- 1) identificação e descrição do sistema: reconhecimento dos fatores condicionantes para a compreensão de sua estrutura e funcionamento;
- 2) definição dos objetivos com base nos problemas atuais e futuros, e suas interrelações;
- 3) geração de soluções que satisfaçam os objetivos sem violar as restrições do sistema;
- 4) seleção da solução que melhor satisfizer os objetivos, mediante processo de avaliação, para o que haverá de dar entrada em certas apreciações subjetivas e juízo de valor e,
- 5) execução e controle.

No concernente ao planejamento físico, cabe compreender a ordenação do território como um processo mediante o qual se estabelecem, em sentido amplo, as necessidades da população (atual e futura) e as formas de supri-las.

Tabela 2.1 - Síntese comparativa entre os métodos tradicionais de planejamento físico.

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

Tabela 2.1 - Síntese comparativa entre os métodos tradicionais de planejamento físico (*continuação*).

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

Por isto, o processo de planejamento pode se estruturar segundo duas linhas paralelas: uma de *demanda* (que estuda as problemáticas econômica e social, definindo o objetivo) e a linha de *oferta*, que examina as características do meio no qual se desenvolve a atividade humana (definindo as possibilidades atuais e potencialidade de atender a demanda).

Esquemáticamente, o processo de planejamento pode ser apresentado segundo a Figura 2.8.

Figura 2.8 - Esquema genérico de um processo de planejamento.
Modificado de OWENS(1992).

2.5.1 Dimensão Física do Planejamento

Neste tópico, será exposta exclusivamente a linha de oferta citada anteriormente, ou seja, o estudo do meio físico onde se desenvolve a atividade humana para a qual se planeja.

Na série da dimensão do planejamento, cujo esquema pode ser verificado na Figura 2.9 adaptada de WATHERN(1988), ainda que exposto de forma sequencial, são geradas ações de múltiplas interações entre os sucessivos passos e o conjunto é cíclico em seu todo.

Figura 2.9 - Esquema da dimensão física do planejamento.
Adaptado de WATHERN(1988).

2.5.2 Descrição da Sequência

A descrição da sequência anterior pode ser feita resumidamente da seguinte forma:

- 1) estabelecimento dos objetivos sobre a base das características da população que, no início do processo, podem ser mais ou menos imprecisos;
- 2) inventário das características físicas, biológicas e culturais do território, cujo detalhamento é função dos objetivos; os resultados do inventário são traduzidos em mapas temáticos;
- 3) valoração dos temas inventariados em termos de sua qualidade ou grau de excelência intrínseco;
- 4) prognóstico, que consiste no estabelecimento da relação USO $\Leftrightarrow$ TERRITÓRIO, isto é, no comportamento do território suposto onde se implantaria qualquer uso objeto de localização. Tal relação apresenta dupla vertente: a) *impacto* - mudança do valor dos recursos frente a um uso concreto; b) *atitude* - expressão do potencial de cada recurso para cada uso. Ao final dessa etapa, os impactos e atitudes estão referenciados geograficamente;

5) elaboração e avaliação das distintas propostas de atribuição de uso e medição de comportamento de cada proposta frente à consecução dos objetivos. A formulação de propostas pode ser obtida mediante métodos mais ou menos intuitivos, ou por processo de otimização que maximize a atitude global e minimize o impacto igualmente global.

2.6 INVENTÁRIO E VALORAÇÃO

2.6.1 Objetivos e Condições do Inventário

Trata-se de uma etapa para reconhecer e refletir de maneira operativa a informação necessária e suficiente para descrever o meio físico. De sua qualidade dependem todos os resultados das etapas seguintes e, em última análise, as decisões finais de qualquer planejamento.

Antes do início do inventário, deve-se ter em conta uma série de questionamentos; a primeira se refere à quantidade, confiabilidade e adequabilidade das informações existentes.

Outro aspecto importante é a circunstância e o prazo para os trabalhos, onde a escassez de dados fidedignos acessíveis, a necessidade de realizar intensos trabalhos de campo e a qualificação técnica fazem com que a descrição e definição do meio físico seja tarefa não somente onerosa, com relação a outros estudos, mas também inviabilizada pela não disponibilidade de tempo. Tais conceitos (circunstâncias e prazos) podem ser flexíveis em função da escala e do grau de detalhamento (especificidades).

Os dados do inventário devem ser:

1) *Significativos* - relativos ao objetivo a alcançar, em termos qualitativos e quantitativos, tornando-se indispensável avaliar, antecipadamente, os meios que se dispõe e a capacidade real para tratamento, sem perder de vista os objetivos do plano;

2) *Operativos* - utilizados para os efeitos do planejamento. Como muitas das informações existentes somente são encontradas em forma descritiva, é necessário transformá-las em indicadores operativos, para que possam ser expressos cartograficamente;

3) *Facilmente Obteníveis* - a investigação deve ser direcionada a dados mais facilmente acessíveis, pois aqueles de difícil obtenção ou cuja estimativa requeira observações em períodos muito prolongados não devem ser incluídos. O problema pode ser resolvido estabelecendo-se comparações com casos conhecidos;

4) *Precisos* - devem ter a qualidade suficiente e em concordância com o modelo a ser utilizado para seu tratamento. Para conseguir bom nível de qualidade, é fundamental a definição nítida e independente dos dados (ALAMO, 1975). A precisão e, portanto a fidelidade dos dados, pode ser um critério para dar maior ou menor peso no momento de ponderar sua contribuição na qualidade do recurso ou do meio ambiente em geral.

2.6.2 Delimitação de Unidades Homogêneas

A delimitação das unidades ou classes dos mapas temáticos é um problema de classificação do território em setores homogêneos. Como toda classificação, essa pode ser feita através de procedimentos mais ou menos intuitivos a partir da apreciação externa da realidade ou utilizando técnicas estatísticas de classificação e ordenamento (SNEATH & SOKAL, 1973), que exigem amostras detalhadas e grande potência de cálculo.

Para chegar à identificação de unidades ambientalmente homogêneas, pode-se proceder de duas formas:

a) mediante processo sequencial, dividindo primeiro o território com base nos fatores que englobam conceitos amplos, para subdividir sucessivamente segundo conceitos mais restritivos ou que operam em menor escala;

b) reconhecendo-se os sistemas de relações ou ecossistemas, através de prospecção integrada do território, cuja delimitação e representação cartográfica consequente se ajusta ao nível do detalhe.

O primeiro procedimento tem como marco mais representativo o trabalho de HILLS(1970), enquanto o outro é defendido inicialmente por CHRISTIAN & STEWART(1968), que estimam ser a característica fundamental de seu procedimento a *prospecção integrada* do território, que é um tipo de prospecção dirigida mais à observação das interações entre os componentes do meio do que aos próprios componentes. É deles a proposta de estabelecimento dos tipos de unidades ou classes taxonômicas do meio físico: *Site*, *Land unit* e *Land system*.

- *Site* (sítio) - unidade elementar que tem homogeneidade relativa com respeito à geomorfologia, ao solo e à vegetação. Essa unidade sintetiza e integra todos os recursos, sendo a unidade do planejamento;
- *Land unit* (unidade de terreno) - conjunto de sítios relacionados ou associados, definido basicamente por critérios geomorfológicos;
- *Land system* (sistema de terreno) - conjunto de unidades de terreno que, por características geográficas e geomorfológicas, formam relações repetitivas na paisagem.

A unidade ambiental é síntese de numerosas características, retratada pela redundância ou repetitividade dessas e a relativa homogeneidade do sistema assim constituído. Sendo assim, a unidade possui duas qualidades - uma consequência da outra -, que lhe conferem grande utilidade como unidade operativa do planejamento:

- 1) sua homogeneidade relativa é coerente com a escala de trabalho; decorre daí que,
- 2) sua capacidade de reação ou evolução frente a um uso hipotético é a mesma em todos os pontos.

Tais características determinam atitudes, compatibilidades e incompatibilidades de uso idênticas em toda a extensão da unidade.

2.6.3 Valoração da Qualidade do Meio Físico

A etapa do inventário é basicamente descritiva: informa sobre o que se tem disponível. Segue-se então o momento de se estabelecer a qualidade (grau de excelência) do meio físico de cada ponto da área objeto do estudo. A valoração nada mais é do que a medida dessa qualidade e é interessante pelas seguintes razões:

1) geralmente informa sobre a qualidade do meio tanto do ponto de vista global quanto de cada um dos recursos ou variáveis objeto do inventário; além do que, tal informação vem referenciada geograficamente e retrata as unidades do inventário;

2) permite comparar entre si os diferentes pontos da área e verificar se a medida pode ser expressa em unidades de recursos comparáveis uns com os outros;

3) a valoração do meio no processo de planejamento serve, fundamentalmente, como etapa prévia que facilita a fase seguinte de prognóstico, sobretudo no que diz respeito à determinação de impactos.

Nem todos os recursos inventariados devem ser objeto de valoração, somente aqueles que intervêm no planejamento, porque são susceptíveis a receber impactos. Para cada um deles, a qualidade será contemplada desde o ponto de vista intrínseco, ou seja, do próprio recurso.

O problema da valoração é mais complicado no caso de variáveis qualitativas ou dificilmente quantificáveis. Logicamente, as dificuldades de valoração aumentam dos recursos quantificáveis para os não-quantificáveis e, dentro desses, dos de apreciação objetiva aos subjetivos. A valoração qualitativa, portanto, deve ser a mais objetiva possível, simples e de fácil compreensão.

Segundo ROBINSON *et al.* (1976), o procedimento de valoração a ser utilizado pode ser distinto em função de se tratar dos recursos únicos ou agrupados, dependendo: do tipo do recurso; do conhecimento direto que se tenha deles; da experiência previa em outros trabalhos de valoração dos mesmos; da existência de juízo de valores amplamente aceitos; e do caráter subjetivo ou não de sua análise.

É de suma importância o acerto da valoração, pois dela dependem, em grande parte, a avaliação dos impactos e conseqüentemente o grau de compatibilidade ou conveniência do uso do território, ou seja, a decisão final do planejamento. De forma genérica pode-se citar os seguintes procedimentos de valoração (HILL, 1973):

a) *Diretos* - utilização de escalas - de razão; de intervalo; de ordem; ou semânticas/nominais. Exige fazer juízo de valor com base na observação sistemática, abrangente e detalhada das unidades às quais serão atribuídos valores;

b) *Indiretos* - subdivisão em componentes que constituem o valor, consistindo na identificação daqueles atributos de cuja interação procedem a qualidade do recurso a valorar, sua medida e a importância relativa com que contribuem na qualidade final do recurso; e

c) *Combinado* - participação de procedimentos diretos e indiretos.

2.7 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

2.7.1 Considerações Iniciais

Tem sido afirmado, reiteradamente, que o meio ambiente funciona como um sistema em que os distintos componentes estão estreitamente interrelacionados. Por isto, não é correto serem discutidos impactos setoriais, quer dizer, impactos sobre cada um dos componentes do sistema, pois um uso que afeta diretamente um componente logicamente atingirá os outros, resultando assim no comprometimento do sistema não somente em sua estrutura mas, também, no seu funcionamento e organização.

A forma matricial ou vetorial de expressão do impacto permite observar a gama de variações, pois possibilita o confronto entre todos os componentes e processos do ecossistema e com cada um dos seus usos.

No conjunto e da mesma maneira, pode-se discutir sobre um impacto por soma ponderada dos impactos setoriais sobre o ecossistema ou sobre a unidade operativa adotada, ressaltando-se os cuidados necessários ao processo de valoração global do meio.

Certos tipos de impactos podem ser medidos quantitativamente por técnicas convencionais, pelo menos no que se refere ao efeito direto da implantação do uso, mas existem outros que não podem ser avaliados tão facilmente. Essas dificuldades para avaliação do impacto sobre somente um componente ambiental dão a idéia da complexidade que é produzir as matrizes de impactos (abordadas a seguir) que defrontam todos os componentes com todos os usos para realização do ordenamento territorial.

Apesar disto, já é útil em si a identificação dos aspectos que podem ter incidência em cada uso e, muito mais, sua descrição sistemática e sua importância relativa, ainda que não obtida uma pontuação.

No processo de avaliação de impacto é comum a falta de informações suficientes e a escassez de profissionais especializados nesse tema, cabendo ressaltar que, geralmente, conta-se também com quase nenhuma base experimental e, por isto, a avaliação deve ser fundamentada em juízo de valores que partam da investigação detalhada do meio e de observações aprofundadas de outros locais semelhantes em que o uso já se implantou.

De acordo com diversos pesquisadores, como CANTER(1977), BAUMEWERD-AHLMANN & KALINSKI(1990), BREHAUT(1991) e WELSH(1992), mesmo com essas dificuldades assinaladas, a avaliação de impacto pode atender à solução de dois tipos de problemas :

- 1) uma atividade específica (indústria, estradas, hidroelétricas, etc.), para decisão de sua conveniência ou não;
- 2) para efeitos da localização de um ou vários usos no sentido de minimizá-los globalmente.

Por outro lado, a forma de avaliar o impacto depende da maneira como foi realizado o inventário e a valoração:

a) quando feita por procedimentos diretos, ou seja, utilizando escalas; nesse caso, a medição do impacto se dá em termos da diferença de situação na escala, por exemplo: valor da implantação de componente específico subtraído do valor dos componentes da zona.

Em determinadas ocasiões, pode haver dificuldades excessivas ou insuperáveis no estabelecimento do valor do impacto na forma quantitativa ou não ser necessário obter tal precisão. Para essa situação, é comum e recomendável a adoção de escala nominal, do tipo positivo/negativo/indiferente;

b) quando a valoração do recurso é feita por separação em componentes e combinação de suas medidas a partir de coeficientes de ponderação, o problema é mais simples, ainda que necessária a participação de sistemas computacionais para acumulação de dados e de operações matemáticas a realizar. Nesse caso, trata-se simplesmente de verificar em que grau se modificam as medidas realizadas sobre os componentes ao se atribuir o uso em questão, ou seja, procede-se à medição *antes* e *depois*.

Finalmente, convém salientar que nem sempre a determinação do impacto tem de passar pela etapa prévia de avaliação e esse é o caso dos modelos propostos por LEOPOLD(1971) ou AMIR(1976).

2.7.2 Principais Métodos

Nos últimos trinta anos, vêm sendo desenvolvidos alguns métodos para avaliar os efeitos ou incidências de projetos ou planos de ação sobre o meio ambiente. Esses modelos têm sua utilidade e, no processo da gestão ambiental, que é o principal enfoque deste trabalho, inscrevem-se muito melhor na fase de avaliação de alternativas. Entre esses procedimentos, serão apresentados, a seguir, os clássicos, particularmente aqueles realizados nos Estados Unidos da América e acrescidos de outros elaborados em países distintos.

Para BISSET(1982), os métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA) são mecanismos estruturados para coletar, analisar, comparar e organizar informações e dados sobre impactos ambientais de um projeto de ocupação e, segundo HORBERRY(1984), tais métodos constituem-se na sequência de passos recomendados para selecionar e analisar os efeitos de uma ação sobre a qualidade ambiental e a produtividade do sistema natural e avaliar os seus impactos nos receptores natural, sócio-econômico e humano.

O início da base conceitual para a abordagem científica de AIA teve seu início somente nos anos 80, pois até então predominava a idéia de avaliação apenas a partir de gráficos e escalas numéricas, sem levar em conta a dinâmica ambiental. Nesse contexto, BEANLANDS(1984) é um dos pioneiros a defender a importância de: *a)* compreender as características funcionais dos ecossistemas potencialmente afetados; *b)* considerar a variação natural dos sistemas no tempo e no espaço; *c)* entender como respondem os sistemas às interferências antrópicas; *d)* usar modelos; *e)* reconhecer as limitações técnicas; *f)* implementar programas de monitoramento.

Na atualidade, cada vez mais é comprovada a grande importância da abordagem científica, com ênfases relacionadas às condições iniciais dos fatores ambientais e aos programas de monitoramento dos impactos.

Salienta-se que dentre os métodos de AIA, não existe aquele que possa ser aplicado a todo e qualquer estudo de impacto ambiental, tendo em vista a diversidade de sistemas ambientais e as inúmeras atividades e seus potenciais de impacto, e que também satisfaça todas as etapas do estudo de impacto, particularmente as propostas de medidas mitigadoras e a monitoração dos impactos.

Nos tópicos a seguir, os assuntos serão tratados de modo a sintetizar as informações e possibilitar uma compreensão crítica dos mesmos e, dentro do possível, a estabelecer a mesma sequência de tratamento. Foram utilizados os trabalhos de LEE & WOOD,(1980); BOLEA(1984); PERAZZA *et al.*(1985); MOREIRA(1992).

2.7.2.1 Método *Ad Hoc*

1) *Premissa Básica* - esse método exige a reunião de especialistas para a formação de grupo de trabalho com profissionais de variadas áreas do conhecimento.

2) *Aplicação* - para avaliações em tempo curto e quando há pouca disponibilidade de informações.

3) *Vantagens e Desvantagens* - as principais vantagens são a rapidez e o baixo custo, mas não promove análise sistemática dos impactos e seus resultados apresentam alto grau de subjetividade e insuficiente fundamentação técnico-científica.

4) *Principal Exemplo: Método Delfos* (LINSTONE & TUROFF, 1975) - é o mais citado exemplo de método *ad hoc* e inspirou-se nas consultas dos gregos aos oráculos. Na década de 50, esse mecanismo foi utilizado para, de modo rápido e barato, obter consenso fidedigno de especialistas para solução de problemas complexos.

Diante de um dado problema, inicia-se a escolha de especialistas, sem que haja deslocamentos nem reuniões, e são fornecidas informações sobre o projeto e o território onde o mesmo será implantado, acompanhadas pelo primeiro questionário, que depois é devolvido à coordenação do grupo para serem processadas as respostas. Seguem-se então quantos questionários forem necessários (em torno de cinco) até o consenso. Finalmente, deve-se produzir um relatório que contém a síntese conclusiva das opiniões.

2.7.2.2 Método das Listagens de Controle (*Checklist*)

1) *Premissa Básica* - consta de listagens de controle, que podem ser subdivididas em quatro tipos:

a) simples - listas de fatores ambientais, algumas vezes associados a parâmetros, e de ações previstas num projeto;

b) descritivas - são listas acompanhadas de orientação para análise dos impactos (fontes de dados, técnicas de previsão e questionários);

c) escalares - são aquelas associadas a escalas de valores para fatores e impactos ambientais;

d) escalares ponderadas - variação da anterior, mas incorporando o grau de importância dos impactos.

2) *Aplicação* - são utilizadas no diagnóstico ambiental da área de influência, na análise dos impactos, na valoração dos impactos e na comparação de alternativas e cada um dos tipos é utilizado para um ou mais desses objetivos.

3) *Vantagens e Desvantagens* - como vantagem maior, está o auxílio à memorização de todos os fatores ambientais que podem ser afetados, evitando assim omissões daqueles relevantes. Em contrapartida esse método não identifica impactos diretos e indiretos, não considera características temporais nem espaciais dos impactos e, tão pouco, a dinâmica dos sistemas ambientais. Não analisa as interações dos fatores ou dos impactos e quase nunca indica a magnitude desses, fatos tais que levam a resultados bastantes subjetivos;

4) *Principais Exemplos:*

● **Método Threshold of Concern** (SASSAMAN, 1981) - método de abordagem pragmática na avaliação dos impactos de projetos de manejo florestal, com objetivo de economizar tempo e atender à legislação ambiental e florestal dos Estados Unidos da América. O termo emprestado ao título do método significa patamar de tolerância ou limite do interesse, isto é, o ponto crítico ou o valor de um parâmetro a partir do qual qualquer alteração é preocupante. Desenvolve-se em cinco etapas:

a) listagem dos fatores ambientais relevantes;

b) escolha dos critérios ou indicadores mais representativos a cada fator ambiental;

c) escolha do limite de interesse de cada critério, por meio da análise ambiental da área afetada;

d) listagem dos prováveis impactos de cada alternativa do projeto e de sua duração;

e) comparação dos impactos previstos com os limites de interesse correspondentes.

● **Método Batelle (ou Environmental Evaluation System - EES)** (DEE *et al.*, 1973) - é um exemplo de listagem de controle escalar ponderada, elaborada para avaliação de projetos que envolvem a utilização de recursos hídricos, com intenção de promover uma abordagem sistemática, abrangente e hierarquizada do meio ambiente. O sistema é subdividido em quatro categorias (ecologia, poluição ambiental, estética e valores sociais) e essas em dezoito componentes, que totalizam 72 parâmetros específicos relacionados.

A primeira etapa, para sua aplicação, é a transformação dos valores de cada parâmetro em índices de qualidade ambiental, de modo a uniformizá-los em números de 0 a 1 (qualidade baixa a alta, respectivamente), o que permite a realização de previsões por análises estatísticas, modelos matemáticos ou qualquer outra técnica apropriada. Em seguida, atribui-se o grau de importância de cada parâmetro (proposto de 1 a 1000 pontos) chamados de unidades de importância, para ser feita, finalmente, a multiplicação dos índices pelas unidades de importância. Avalia-se a qualidade ambiental *sem* e *com* a implantação do projeto, onde a diferença entre essas pode ser adversa (negativa) ou benéfica (positiva).

2.7.2.3 Método das Matrizes de Interação

1) *Premissa Básica* - tipo de listagem de controle bidimensional que dispõe nas linhas os fatores ambientais e nas colunas as ações do projeto, onde cada uma das células de interseção representa a relação causa e efeito geradora do impacto.

2) *Aplicação* - permite a identificação dos impactos diretos.

3) *Vantagens e Desvantagens* - apresenta boa disposição visual do conjunto de impactos diretos, simplicidade de elaboração e baixo custo. Como mais significativas desvantagens, têm-se o fato da não identificação dos impactos indiretos, não consideração das características espaciais dos impactos e da dinâmica dos sistemas do meio ambiente, além da subjetividade na atribuição da magnitude; por fim, o não atendimento às outras etapas do estudo de impacto ambiental.

4) *Principais Exemplos:*

● **Matriz de Leopold** (LEOPOLD *et al.*, 1971) - é sem dúvida a mais divulgada matriz e foi desenvolvida originalmente para avaliar os impactos de uma mina de fósforo nos Estados Unidos. Apresenta o cruzamento de cem ações com 88 componentes ambientais, resultando tal interseção em 8.800 células. Para descrever as interseções são utilizados dois parâmetros - magnitude e importância; a primeira interseção reflete a medida da extensão do impacto enquanto que a outra a relevância do impacto e do fator ambiental afetado frente a outros impactos e às características ambientais da área.

Segundo esses autores, a avaliação do impacto ambiental de um programa ou uma ação proposta é a última etapa em um processo sequencial, que se desenvolve segundo ilustrado na Figura 2.10.

● **Método de Fisher e Davies** (FISHER & DAVIES, 1973) - esse método inclui:

- identificação das atividades propostas por um projeto e das atividades por ele induzidas;
- identificação dos elementos ambientais mais importantes a serem afetados por essas atividades;
- avaliação da qualidade desses elementos, anterior e posteriormente a implantação das atividades;
- gestão dos impactos ambientais;

Figura 2.10 - Diagrama de fluxo para o desenvolvimento de programas de atuação.
Adaptado de LEOPOLD *et al.*(1971).

Aplicável por pequena equipe multidisciplinar que orienta, coordena e interpreta os estudos realizados por especialistas, o método é executado em três etapas:

- a) avaliação das condições ambientais iniciais da área a ser afetada;
- b) construção da *matriz de compatibilidade ambiental* - avaliação global destinada a prever as alterações futuras causadas pelo projeto;
- c) preparação da *matriz de decisão* que objetiva a apresentação dos dados para efeito de comparação de alternativas e das condições de gestão e manejo dos recursos ambientais.

2.7.2.4 Método das Redes de Interação - Diagrama de Sistemas

1) *Premissa Básica* - gráfico ou diagrama que possibilita a representação de cadeias de impactos gerados pelas ações previstas no projeto.

2) *Aplicação* - permite a identificação dos impactos ambientais diretos e indiretos (secundários, terciários, etc.).

3) *Vantagens e Desvantagens* - apresenta uma abordagem integrada na análise dos impactos e suas interações, bem como facilita a troca de informações entre disciplinas. As desvantagens mais significativas são as seguintes: não detectam a importância relativa dos impactos; não consideram os aspectos temporais e espaciais, nem a dinâmica dos sistemas; não atendem a todas as etapas do estudo de impacto e não prevêem cálculos da magnitude.

4) *Principal Exemplo: Método IMPACT* (THOR *et al.*, 1978) - a exemplo do método Threshold of Concern, foi elaborado pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos da América para avaliação de projetos florestais. Após superados os problemas de análise e manipulação de dados com auxílio da computação, esse método compõe-se de um conjunto de redes de interação concebidas para cada tipo de atividade florestal, complementadas por sistema de informações computadorizado.

O grupo responsável pela elaboração do estudo de impacto para determinado projeto a ser autorizado pelo Serviço Florestal, comunica-se com a central de informações e recebe, primeiramente, as redes de interação e as informações resumidas referentes a cada atividade. No transcorrer do estudo ocorrem permanentes contatos para complementação das redes de interação e obtenção das fontes de dados, da indicação de especialistas afins ao problema, da ocorrência anterior de impactos semelhantes, das técnicas de previsão de impacto adequadas, das instituições a serem consultadas e das referências bibliográficas.

2.7.2.5 Método da Superposição de Cartas

1) *Premissa Básica* - baseia-se nos trabalhos de ordenamento de uso do solo de TRICARD(1966) e MC HARG(1969), com a preparação de cartas temáticas em transparências e na síntese das interações dos fatores ambientais por superposição das cartas ou processamento no computador.

2) *Aplicação* - possui facilidades para projetos lineares (escolha de alternativas de menor impacto) e para elaboração do diagnóstico ambiental;

3) *Vantagens e Desvantagens* - apresenta como maior vantagem a boa disposição visual e exposição dos dados em mapas. Por outro lado, pode chegar a resultados subjetivos; não quantifica a magnitude dos impactos; não admite fatores ambientais não-mapeáveis; há dificuldade na integração dos impactos sócio-econômicos; não atende às demais etapas do EIA e também não considera a dinâmica dos sistemas ambientais.

4) *Principal Exemplo: Método Mc Harg* (MC HARG ,1969) - descrito mais detalhadamente no item 2.4.2, nesse método o autor utilizou a superposição de cartas para avaliação ambiental de rodovias, com propósito de identificar e proteger os valores sociais que estavam sendo debatidos na década de 60. Dessa forma, foram determinados dezesseis valores de interesse na região de influência direta da rodovia, a saber: declividade, drenagem superficial, drenagem do solo, embasamento geológico, condições do solo para fundações, susceptibilidade à erosão, valor da terra, inundações, valores hídricos, paisagem, recreação, água, florestas, vida selvagem, residências e valores institucionais.

2.7.2.6 Modelos de Simulação

1) *Premissa Básica* - são modelos matemáticos computadorizados, que tentam representar o funcionamento dos sistemas ambientais.

2) *Aplicação* - permite diagnósticos e prognósticos da qualidade ambiental da área de influência do projeto e, ainda, a comparação de alternativas-cenários até em projetos de grande porte.

3) *Vantagens e Desvantagens* - esse método tem a vantagem de considerar a dinâmica dos sistemas ambientais, as interações entre fatores e impactos e a variável temporal, além do que promove troca de informações e interações das disciplinas envolvidas na questão e trata, organizadamente, grande número de variáveis qualitativas e quantitativas. Como desvantagens, estão o custo elevado e a representação de qualidade imperfeita.

4) *Principal Exemplo: Método KSIM (Kane Simulation Model)* - (KANE *et al.*, 1973) - considerado fácil e de rápida utilização para análise dos impactos de atividade que necessite do tratamento de variáveis qualitativas e quantitativas e suas interações. O modelo objetiva a integração das equipes multidisciplinares e expressa a geometria das relações entre os fatores ambientais, sem se preocupar em proceder previsões numéricas dos impactos. A partir da delimitação do sistema ambiental a ser atingido, estabelecido o horizonte temporal e listadas as alternativas de ação, podem-se desenvolver as seguintes etapas:

- a) seleção das variáveis pertinentes;
- b) escolha dos limites mínimos e máximos dos valores de cada variável e sua normalização entre 0 e 1;
- c) preparação da matriz de interação listando nas linhas e colunas as variáveis selecionadas;
- d) preparação de outra matriz na qual os coeficientes de interação representem o grau da alteração (opcional);
- e) escolha dos intervalos de tempo e dos valores iniciais das variáveis;

- f) processamento das informações em computador;
- g) análise dos gráficos finais;
- h) alteração do modelo, se os resultados não satisfizerem (abandono ou inclusão de variáveis);
- i) repetição das etapas anteriores, até que o modelo esteja convenientemente estruturado;
- j) interpretação dos resultados para serem apreciados pelos interessados e considerados na tomada de decisão.

2.7.2.7 Combinação de Métodos

1) *Premissa Básica* - atualmente, tem sido frequente a utilização dos princípios que regem dois ou mais métodos, como forma de aproveitar suas vantagens e diminuir os pontos negativos inerentes. A combinação mais comumente adotada é a da superposição de mapas, com intuito de definir unidades homogêneas quanto à vulnerabilidade e usos do solo, associada às matrizes de interação para indicar os vetores de vulnerabilidades e graus de impactos prováveis.

2) *Aplicação* - possibilita avaliar projetos ou programas de atuação que prevejam vários usos e/ou alternativas, de forma a antecipar impactos negativos de amplitude local ou regional e auxiliar na ordenação integral dos espaços.

3) *Vantagens e Desvantagens* - seu principal sucesso é o fato de resumir e avaliar previamente os possíveis impactos negativos, com simplicidade, rapidez e boa visualização, permitindo especificar a necessidade ou não de novos tipos de análise e o detalhamento da mesma para decisão final. Somente é factível se houver alto grau de controle sobre o planejamento ambiental para a região afetada, pois caso contrário não se pode avaliar, com segurança, o impacto global. Portanto, soma muitas das desvantagens dos métodos isolados.

4) *Principal Exemplo: Método de LESA (Local Environmental Sensitivity Program)* - (AMIR, 1976) - o método foi desenvolvido em Israel e destinado a registrar, mediante uma estratégia preventiva, os informes sobre a avaliação de impactos ambientais exigidos pelas leis daquele País. Consiste em três conjuntos de mapas (dos recursos naturais vulneráveis; de usos do solo e de unidades homogêneas), dois quadros (inventário de unidades homogêneas e impactos prováveis dos usos selecionados) e um questionário de avaliação dos impactos.

O processo, para desenvolver o método LESA, está demonstrado na Figura 2.11. No caso em que o projeto ou programa de atuação preveja mais de um uso, se repete a valoração e são somados os resultados.

Figura 2.11 - Fluxo de desenvolvimento do método LESA.
Adaptado de AMIR(1976).

Para melhor visualização dos métodos apresentados, a Tabela 2.2 exhibe as principais características descritas nos tópicos anteriores, de modo a sintetizar as informações e possibilitar uma comparação mais direta dos mesmos.

Tabela 2.2 - Comparação entre os principais métodos de avaliação de impacto ambiental. Modificada de MOREIRA(1992).

Método	Descrição Sumária	Aplicação	Vantagens (+) Desvantagens (-)	Exemplos
<i>Ad Hoc</i>	Reunião de especialistas	Avaliações rápidas	+ Rapidez e baixo custo; - Alto grau de subjetividade.	- Delfos
<i>Checklist</i>	Listagens de fatores e impactos ambientais	Diagnóstico ambiental até a comparação de alternativas	+ Memorização de todos os fatores; - Não identifica: impactos diretos e indiretos, características temporais e dinâmica dos sistemas.	- Threshold of Concern; - Batelle
<i>Matrizes de Interação</i>	Listagem de controle bidimensional (fatores x ações)	Identificação de impactos diretos	+ Boa visualização, simplicidade e baixo custo; - Não identifica: impactos indiretos, características temporais e dinâmica dos sistemas; subjetividade na magnitude.	- Leopold; - Fisher e Davies
<i>Redes de Interação</i>	Gráfico ou diagrama da cadeia de impacto	Determinação de impactos diretos e indiretos	+ Abordagem integrada de impactos e interações; - Não detectam: importância relativa dos impactos, aspectos temporais e espaciais, dinâmica dos sistemas.	- IMPACT
<i>Superposição de Cartas</i>	Cartas geradas por superposição de mapas de recursos e usos	Projetos lineares e diagnóstico ambiental	+ Boa visualização e exposição de dados; - Resultados subjetivos; não quantifica magnitude, difícil integração de dados sócio-econômicos, não considera dinâmica dos sistemas.	- Mc Harg
<i>Simulação</i>	Modelos matemáticos automatizados	Diagnósticos e prognósticos da qualidade ambiental	+ Considera: dinâmica dos sistemas, interações entre fatores e impactos e variável temporal; - Custo elevado; representação da qualidade imperfeita.	- KSIM
<i>Combinação de Métodos</i>	Utilização de dois ou mais métodos	Avaliar impactos negativos de projetos simples (uso ou múltiplo)	+ Simplicidade, rapidez e baixo custo na avaliação de impactos negativos; boa visualização; - Alto grau de controle governamental no planejamento ambiental; avaliação globalizada pouco segura.	- LESA

3. TÓPICOS DAS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO RELACIONADAS AO PLANEJAMENTO/GESTÃO AMBIENTAL

Serão apresentadas, neste capítulo, algumas das principais metodologias internacionais que diretamente associam o mapeamento geotécnico a uma ou à totalidade das fases do planejamento do meio físico/ambiental, além da proposta metodológica de ZUQUETTE(1987) desenvolvida junto ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, que claramente reflete a preocupação com este tema.

As descrições das metodologias não são completas, pois englobam (apesar de objetivamente resumidas) apenas as questões de interesse específico ao processo de planejamento, vez que além de não ser objetivo final deste trabalho o levantamento de tais propostas, existe quantidade significativa de textos produzidos com esta preocupação.

Outras metodologias elaboradas em vários países poderiam ser objeto de apreciação mas, via de regra, não têm aplicações usuais no Brasil, como aquelas elaboradas no Reino Unido, Estados Unidos da América, Espanha e na antiga União Soviética, que podem ser encontradas nos trabalhos de ORTIZ(1985), ZUQUETTE(1987 e 1993) e em DEARMAM(1991).

3.1 SISTEMATIZAÇÃO DE MATHEWSON & FONT

Para MATHEWSON & FONT(1974), a geologia de engenharia precisa satisfazer duas necessidades fundamentais:

1) estabelecer critérios apropriados de geologia de engenharia para um uso específico do solo, e

2) comunicar suas descobertas para o público, que incluem pessoas que podem estar ou não informadas sobre a engenharia, geologia e/ou planejamento.

O processo de planejamento consiste de 4 fases:

- definição de metas e objetivos apropriados;
- identificação de áreas tanto de restrições quanto de oportunidades;
- formulação de recomendações para plano de ação; implementação de programas formulados para atingir as metas e objetivos.

Para ser dinâmico e efetivo, o processo requer a ativa participação do público, planejadores e técnicos especializados, além de funcionários públicos eleitos para cada uma destas fases (principalmente na fase de execução).

A **meta** é idealizar a condição mais favorável de produto final, enquanto os **objetivos** são o detalhamento mais específico das partes do plano. A meta geológica fundamental é proteger a saúde, bem-estar e segurança da população, de prejuízos causados pelos processos geológicos.

Os objetivos são mais específicos e podem incluir os seguintes projetos:

- 1) mapear e definir áreas onde as condições de solo, rocha e água são impróprias para uma urbanização segura;
- 2) localizar, avaliar e identificar áreas de recursos valiosos, e
- 3) localizar, testar e avaliar áreas de solos próprios para sítios seguros e limpos para a disposição de detritos.

A administração do uso do solo depende inteiramente da formulação e do estabelecimento de ações corretas de planejamento.

Uma política baseada na geologia precisa objetivar os seguintes aspectos: a) definir e desenvolver o potencial de recursos; b) preservar a qualidade do meio ambiente dentro das restrições locais; c) maximizar o uso eficaz do solo e d) minimizar os riscos de vida e danos às propriedades, causados por fatores geológicos.

A tentativa de incluir a geologia no planejamento tem criado restrições pela ênfase dada à nova ciência: geologia ambiental. Esse campo, infelizmente, atrai número grande de desconhecedores da realidade ambiental e que tentam, a qualquer custo, apresentar conhecimentos significativamente complexos.

Os planejadores precisam: a) receber informação geológica em termos de **adequabilidade de uso** e não em termos de técnica ou descrição geológica, e b) estas informações precisam estar numa forma que os planejadores possam aplicá-las diretamente em seus planos de ação de uso do solo. Os resultados são apresentados em termos de limitações do ambiente físico, que são então avaliados em termos de ambiente sócio-econômico pelos planejadores.

O meio mais efetivo segundo o qual essas informações podem ser transmitidas, é na forma de mapas como segue:

1) **Mapas de Primeira-Ordem** (*observação*) - mostram os resultados técnicos de um estudo geral. Cada fator precisa ser considerado e determinada sua influência na comunidade.

2) **Mapas de Segunda-Ordem** (*engenharia*) ou geotécnicos - são projetados para uso por engenheiros, planejadores e empreiteiros que tratam diretamente com os tipos de materiais do solo em termos de projetos de construção. Cada parâmetro considera um problema básico, que pode ser significativo no local.

3) **Mapas de Terceira-Ordem** (*interpretativos*) - os mapas de engenharia (geotécnicos) e de observação são usados na síntese destes. Cada mapa de terceira-ordem mostra a adequabilidade de uma área para um propósito específico do uso do solo, ou delimita a existência ou potencialidade de risco. Esta é a principal contribuição de um serviço de geologia de engenharia; faltando a parte interpretativa, este propósito terá falhado;

4) **Mapas de Quarta-Ordem** - mapa recomendado para o uso do solo em geologia de engenharia, é o resultado final de um estudo completo, combinando todas as informações anteriores e é, consequentemente, projetado para o uso do solo pelo planejador. Fornece, ainda, a base para escolha e delineamento do uso mais criterioso do ponto de vista de geologia de engenharia de cada região. Este mapa é a contribuição fundamental que a geologia de engenharia pode dar aos órgãos de decisão.

3.2 METODOLOGIA DA IAEG

Os principais fatores de interesse para o mapeamento geotécnico são: rocha e solo, água, condição geomorfológica e fenômeno geodinâmico (ANON, 1972 e 1976).

Com referência ao planejamento e/ou avaliação de impacto ambiental, esta metodologia prevê que o mapa geotécnico deve satisfazer as seguintes exigências:

1) retratar as informações objetivas necessárias para avaliar as características geotécnicas relativas ao planejamento regional e à definição de adequabilidade das áreas;

2) fazer o possível para prever as variações na situação do meio físico induzidas pela atividade proposta e sugerir medidas preventivas necessárias.

3- Apresentar informações de forma a facilitar o entendimento por profissionais que o usarão, os quais podem não ser especialistas no assunto.

Mapas geotécnicos podem ser baseados nos mapas geológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos, mas devem apresentar e avaliar os fatos básicos fornecidos por estes mapas em termos de geotecnia.

3.2.1 Definição de Mapa Geotécnico

Mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que fornece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico de significado no planejamento do uso da terra e em projetos, construção e manutenção aplicados a obras civis e mineiras.

As feições geológicas representadas nos mapas geotécnicos são: *caráter das rochas e solos; condições hidrogeológicas, condições geomorfológicas, e fenômeno geodinâmico.*

3.2.2 Classificação dos Mapas Geotécnicos

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

De acordo com a **finalidade**, são classificados como de:

- *Finalidade especial*: fornecem informações seja de um aspecto específico da geotecnia, seja para uma finalidade específica.
- *Multifinalidade*: fornecem informações de muitos aspectos de geotecnia para os diversos usos do planejamento e trabalhos da engenharia, sendo este tipo o de maior interesse para o tema em questão.

No que diz respeito ao **conteúdo**, dividem-se em:

- *Analíticos*: fornecem detalhes ou a avaliação dos componentes individuais do ambiente geológico. Em geral, seu conteúdo é expresso no título; por exemplo: mapa de graus de intemperismo, mapa de fissuras, mapa de risco sísmico.
- *Sintéticos*: existem de dois sub-tipos:
 - a) Mapas de condições geotécnicas - descreve os principais componentes do ambiente geotécnico;

b) Mapas de zoneamento geotécnico - avalia e classifica unidades territoriais individuais com base na uniformidade de suas condições geotécnicas.

Em pequena escala, estes dois tipos de mapas podem ser combinados.

- *Auxiliares*: apresentam dados factuais, como por exemplo o mapa de documentação.
- *Complementares*: estão incluídos os geológicos, tectônicos, geomorfológicos, pedológicos, geofísicos e hidrogeológicos. São mapas de dados básicos, os quais, algumas vezes, são incluídos como um grupo de mapas geotécnicos.

Com referência a **escala** são consideradas como:

- Grande - 1:10.000 ou maior.
- Média - entre 1:10.000 e 1:100.000.
- Pequena - 1:100.000 ou menor.

3.2.3 Princípios do Zoneamento Geotécnico

Mapas geotécnicos sintéticos podem apresentar informações em termos de zoneamento geotécnico. Zonas são áreas individualizadas nos mapas e que são aproximadamente homogêneas em termos de condições geotécnicas. O detalhe e o grau de homogeneidade de cada zona geotécnica depende da escala e finalidade do mapa.

Num mapa de zoneamento para finalidade geral, as seguintes unidades territoriais naturais taxonômicas podem ser reconhecidas:

- 1) Região - baseada na uniformidade dos elementos estruturais geotectônicos individuais.
- 2) Área - baseados na uniformidade das unidades geomorfológicas regionais.

3) Zonas - baseadas na homogeneidade litológica e no arranjo estrutural do complexo formado pelas litofácies de rochas e solos.

4) Distritos - onde as condições hidrogeológicas e os fenômenos geodinâmicos são uniformes.

Desta forma, as características de um território podem ser definidas por zoneamento que, por sua vez, pode ser usado para avaliar a complexidade das condições geotécnicas.

Um mapa de zoneamento geotécnico de finalidade especial pode ser preparado com um tipo de interesse específico, por exemplo: estradas, barragens, túneis. Em tais mapas, as unidades de zoneamento devem ser baseadas na análise dos fenômenos geológicos e nos parâmetros geotécnicos, avaliados em termos de finalidade geotécnica particular.

Os princípios gerais do mapeamento geotécnico devem ser aplicados aos mapas de todos os tipos e escalas. Isto feito, torna-se possível comparar mapas independentemente da escala. A diferença básica será somente na quantidade e apresentação dos dados.

Em mapas geotécnicos, de todos os tipos e para todas as escalas, as informações obtidas podem ser apresentadas de tal modo que não somente a verdade da natureza, mas também os dados de significado para a engenharia, possam ser entendidos e completamente analisados.

3.2.4 Técnicas para Aquisição e Interpretação de Dados

O mapa geológico serve de base para o mapeamento geotécnico, considerando-se sempre que, nesse mapa, as rochas com propriedades geotécnicas marcadamente diferentes podem ser agrupadas como uma unidade. Assim, para acrescentar as informações necessárias ao mapeamento geotécnico, deve-se fazer uso de técnicas e métodos específicos. A dificuldade principal, independente da técnica usada, é que as variações das características da rocha e do solo, freqüentemente gradacionais, podem ocorrer espacialmente, isto é, tanto na vertical como na horizontal.

a) *Preparação do Mapa base topográfico*: onde um mapa base topográfico não existe, ou está em escala menor do que a usada no trabalho de campo, um mapa deverá ser feito especialmente, como uma base para o mapa geológico.

b) *Aquisição das informações geológicas*: o trabalho exigido na obtenção das informações geológicas para a preparação de um mapa geotécnico segue um padrão determinado, compreendendo um certo número de estágios.

Inicialmente, procura-se as informações geológicas existentes, suplementadas por estudo de mapas e aerofotos existentes. Segue-se o reconhecimento da área na qual são avaliadas evidências e novas informações geológicas, geomorfológicas e geodinâmicas são reunidas. Finalmente, pode-se avaliar aspectos gerais ou específicos do local de implantação da atividade, com trabalhos de campo, envolvendo variadas investigações *in loco* e ensaios laboratoriais e *in situ*.

c) *Mapeamento das condições hidrogeológicas*: as principais condições hidrogeológicas, necessárias para serem registradas ou monitoradas em mapeamento geotécnico, são de dois tipos:

- informações superficiais como fontes, sumidouros, rios e lagos.
- informações de subsuperfície obtidas em poços ou sondagens já existentes ou de sondagens exploratórias realizadas para este fim.

Condições hidrogeológicas devem ser quantificadas quando possível.

d) *Mapeamento do resultado dos processos geodinâmicos*: o método adotado depende da escala do mapa. Ele é importante para descrever não somente as feições, mas também as condições que o favorecem e os fatores causadores de seu desenvolvimento. É importante determinar não somente a extensão dos vários problemas, mas também sua frequência de ocorrência, sua ação e grau de atividade. Um esforço deve ser feito para prever o desenvolvimento de futuros fenômenos geodinâmicos. Onde houver possibilidade, cada sistema geodinâmico deve ser avaliado quantitativamente ou semi-quantitativamente.

3.2.4.1 Métodos de Obtenção de Dados

a) Fotogeologia - a fotointerpretação é um importante auxílio para os estudos geotécnicos, pela sua rapidez, custo relativamente baixo e por ser um método preciso para a primeira avaliação de uma grande área.

b) Geofísica rasa - as técnicas usadas no mapeamento geotécnico são os métodos sísmicos e de resistividade, usados em superfície e em sondagens.

c) Sondagens e técnicas de amostragem - a sondagem é entendida como fornecedora de amostras deformadas e indeformadas de rochas e solos, ou fornecedora de um furo para testes *in situ* e a instalação de instrumentos no terreno. As amostras devem ser, tanto quanto possível, verdadeiramente representativas das condições do terreno.

d) Ensaios *in situ* e de laboratório.

3.2.4.2 Análise e Interpretação dos Dados

A análise dos dados envolve a seleção e agrupamento de todas as informações das condições geotécnicas, separando quais são consideradas importantes e absolutamente necessárias às finalidades específicas para as quais o mapa está sendo feito, daquelas que não o são. Estas últimas são abandonadas no prosseguimento.

Neste estágio se dá uma atenção especial a uma avaliação da confiabilidade geológica dos dados, o que requer uma considerável experiência. Os dados que aparentem ser irreais após a avaliação geológica, não serão incluídos em qualquer outro processamento.

Havendo selecionado e agrupado as informações, os vários grupos podem ser arranjados em classes. O sistema de classificação pode ser internacional ou do próprio país.

O passo final no processamento dos dados é sintetizar as informações gerais dos diferentes componentes individuais das condições geotécnicas e ordenar, para determinar e definir unidades territoriais individuais, que são caracterizadas por um certo e específico grau de uniformidade em suas condições geotécnicas.

Ao lado destes métodos que dependem da competência e experiência do profissional, computadores são agora introduzidos com sucesso no mapeamento geotécnico. Existem três áreas principais de interesse no uso de computadores neste campo: estocagem de dados; análise estatística dos dados e a correlação de um grande número de variáveis; visualização ou plotagem automática dos mapas produzidos pelo computador.

3.3 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NA FRANÇA

SANEJOUAND(1972), após análise criteriosa dos trabalhos desenvolvidos na França e em outros países, realizou síntese do que havia sido feito até 1972 em mapeamento, cujos aspectos mais freqüentes são os de geologia, geomorfologia e geotecnia, preocupados tanto com a posição espacial das unidades de terreno quanto com as variações verticais.

A produção dos documentos traduz não apenas aptidões específicas para a engenharia, mas também indica as melhores condições de uso e ocupação do território sob este prisma (da engenharia).

3.3.1 Classificação das Cartas Geotécnicas

A classificação através da escala é feita seguindo-se os seguintes critérios:

- Planejamento de áreas metropolitanas - 1:100.000 e 1:50.000.
- Áreas menores e detalhadas - 1:25.000 a 1:10.000
- Zonas de Planejamento - 1:10.000 a 1:2.000

No concernente a classificação através do conteúdo e forma, tem-se:

1) **Cartas Analíticas ou de Fatores** - onde se representa um ou mais fatores que são necessários ao estudo geotécnico e que representam uma síntese parcial dos dados pontuais ou outros, recolhidos no decorrer dos trabalhos.

Podem ser divididas em dois grupos :

a) Cartas de Fatores Normais - estabelecidas naturalmente no decorrer do estudo, que são muitas vezes um primeiro passo na realização de cartas mais sintéticas, comentadas mais à frente.

b) Cartas de Fatores Especiais - não são distinguidas, por sua forma, das cartas de fatores normais, mas muitas vezes são resultantes de um tratamento destas últimas, em virtude da necessidade de resolver problema concreto particular. Na maioria dos estudos, deve-se ter sempre a preocupação com os fatores normais, visto serem estes os que fazem parte das análises na grande maioria das vezes, sendo que as cartas de fatores especiais são realizadas quando aparecerem problemas específicos, que às vezes fogem da normalidade.

As cartas de fatores normais não são, em regra geral, diretamente utilizadas pelos urbanistas. Para sua síntese, necessita-se de conhecimento mínimo das ciências da terra.

2) **Cartas Sintéticas ou de Aptidão** - são as que representam a síntese, em termos de utilização, dos diferentes fatores. Normalmente fornecem, de uma forma ou de outra, o reconhecimento sobre a qualidade dos solos, delimitando zonas homogêneas para um tipo de utilização.

Para o caso onde o zoneamento consiste numa classificação dos solos em um pequeno número de categorias definidas anteriormente, enquadrando estes solos como, por exemplo, bons, razoáveis e maus à um determinado fim, este pode ser:

- *Unicamente horizontal*: determinam-se as áreas geográficas de uma mesma categoria, representando-as sobre a carta por meio de uma mesma cor ou de uma mesma figura característica;
- *Horizontal e vertical*: classificam-se nesta categorias definidas *à priori*, sejam camadas de solo de espessura constante, sejam níveis de terreno correspondentes a diferentes possibilidades de fundação.

A experiência tem mostrado que, ao contrário das cartas analíticas, as de aptidão são diretamente utilizadas pelos urbanistas.

O conteúdo de um dossiê de estudo geotécnico é essencialmente variado. Podendo ser ou tratando-se unicamente de cartas de fatores, de uma carta de fatores e uma de aptidão (ou mais), ou exclusivamente de uma carta de aptidão.

3.3.2 Carta de Zoneamento e as Cartas de Aptidão

As cartas de síntese, que se encontram em dossiês realizados, são essencialmente as cartas de aptidão, isto é, elaboradas em termo de utilização.

Os critérios de zoneamento das cartas devem ser independentes dos problemas a tratar, portanto referindo-se às condições naturais e aos diferentes fatores geotécnicos.

A carta de zoneamento geotécnico distingue as zonas homogêneas pela relação de suas condições naturais, ou seja, possuidoras capacidades de utilização homogêneas, quaisquer que sejam e permitindo, assim, respostas aos problemas.

Uma carta de aptidão é característica de dada escala, vez que as escolhas do que fazer nos diferentes estágios do planejamento são distintas. Justifica-se preocupar com as condições especiais para uma zona a planejar; isto é, escala muito menor do que para área metropolitana.

3.3.3 Problemas Metodológicos do Mapeamento Geotécnico

A realização da carta de zoneamento geotécnico apresenta uma série de problemas metodológicos. As zonas geotécnicas das cartas estabelecidas devem estar inclusas nas escalas inferiores. A classificação destas zonas e a definição dos critérios de zoneamento nas diferentes escalas têm que ser feitas. É necessário observar que esta questão não é puramente formal e que ela se reflete sobre o conteúdo dos estudos geotécnicos nas diferentes escalas. Trata-se, de fato, do estabelecimento de hierarquia dos fatores em relação às escalas.

Nos diferentes estágios dos estudos geotécnicos, portanto, deve-se concentrar sobre os fatores que servirão de critérios para o zoneamento à escala considerada.

A carta de zoneamento uma vez realizada, apresenta a problemática da avaliação das zonas, isto é, a definição de sua aptidão frente às diversas utilizações possíveis, não sendo este problema de difícil solução. Só se coloca a questão de precisão da avaliação e os limites de utilização da carta geotécnica. Atualmente, pode-se pensar que a finalidade das cartas geotécnicas é somente indicativa, isto é, qualquer que seja a escala, elas não servirão ao planejamento e à orientação dos estudos posteriores.

3.3.4 Conclusões

Desta maneira, torna-se evidente que se deve fazer um grande trabalho de ordenação tanto a nível de fatores, quanto da carta de zoneamento geotécnico. Este trabalho deverá recair principalmente sobre a elaboração da classificação geotécnica dos diferentes fatores, em particular, classificação geotécnica das rochas, das formas de relevo e dos fenômenos geológicos, como também para definição dos fatores que norteiam e estabelecem os princípios do zoneamento geotécnico.

3.4 PROGRAMA PUCE

Nos trabalhos de GRANT(1975), GRANT & FINLAYSON(1978) e FINLAYSON(1982), são apresentados os princípios do programa PUCE (*Pattern - Unity - Component - Evaluation*) de avaliação dos terrenos para propósitos de engenharia, desenvolvido para atender à racionalização no procedimento de coleta e processamento de informação para engenharia nos estágios de pré-planejamento, planejamento e projetos de obras civis. Esse programa proporciona também um método para estocagem de informações de engenharia para usos futuros.

O escopo da avaliação do terreno não é dar respostas às questões específicas de um dado local, mas analisar a probabilidade de ocorrência do conjunto de condições particulares desta área. Avaliação do terreno não pode substituir uma investigação de campo, mas fornece à ela bases racionais para o seu procedimento.

3.4.1 Análise do Terreno

Na avaliação dos terrenos, qualquer que seja seu propósito, ocorre a dependência da habilidade de analisá-lo e, como resultado desta análise, ele poderá ser subdividido em classes, nas quais os membros de cada classe sejam essencialmente homogêneos com relação às propriedades dos atributos naturais críticos do terreno.

Evidentemente, em qualquer processo de avaliação dos terrenos nem todas as propriedades de todos os atributos do terrenos necessitam de avaliação, somente aquelas propriedades pertinentes ao propósito em vista.

3.4.2 Classificação para Avaliação do Terreno

O Programa requer que o terreno possa ser classificado de acordo com o sistema definido por princípios naturalistas previamente enunciados. O sistema de classificação adotado neste programa usa, como critério, apenas feições facilmente reconhecíveis da paisagem, não sendo requerida nenhuma habilidade especial para a sua implementação.

O sistema de classificação tem como premissa que um território pode ser definido em termos de **topografia, geologia, solo e vegetação**, isto é, características de declividade, características litológicas e estruturais (tectônicas) do substrato rochoso, características do solo e vegetação. A partir da definição adequada de limites das variações destas características do terreno, a nível aceitável de significância, pode-se montar classes de terrenos com validade natural.

O sistema é operado em quatro classes de generalizações:

- *Componente do terreno*: indivisível.
- *Unidade do terreno*: associação limitada de componentes de terreno, que formam feições distintas e reconhecíveis.
- *Padrão de terreno*: associação limitada de unidades de terreno que formam paisagens distintas e reconhecíveis.
- *Província*: associação limitada de padrões de terreno que está subordinada à um conjunto constante de rochas de um tipo definido.

Nesta definição de classes do terreno, o clima não foi incluído diretamente nos critérios de reconhecimento de cada membro das classes, porque as mudanças climáticas estão refletidas nas mudanças das características topográficas, solo e vegetação, o que garante a participação do clima no sistema de classificação.

3.4.3 Definição das Classes de Terreno

A definição do componente de terreno, que é básica para todas as outras classes, depende da definição das características de declividade crítica, rocha, solo e vegetação e encontra-se subdividida da seguinte maneira:.

1) Unidade de terreno - pode ser definida como uma área coberta por feição simples da forma da terra, a qual possui associações características de solos e formações vegetais e declividade.

2) Padrão de terreno - define-se como uma área contendo associação repetitiva de topografia, de solos e de formações naturais de vegetação. Possui uma amplitude local de relevo constante e um padrão e densidade de drenagem constante.

3) Província - área de geologia constante ao nível de grupo e é composta por um número limitado de padrões de relevos repetidos, sempre associados na mesma relação espacial.

3.4.4 Nomenclatura Sistemática de Classes de Terreno

Para ser efetivo, qualquer sistema de classificação deve incorporar um esquema de nomenclatura, onde cada membro de cada classe possa ser diferenciado de todos os outros membros da mesma classe ou de outras classes. O programa PUCE usa um esquema de numeração decimal. Este sistema tem a vantagem de ser de simples operacionalidade e não depender do conhecimento de nomes locais, sendo completamente compatível com a armazenagem de dados em computador.

O sistema de numeração é apresentado na sequência: PROVÍNCIA-PADRÃO-UNIDADE-COMPONENTE.

3.4.5 Procedimento para uma Classificação Regional de Terreno

A classificação regional de terreno é realizada num processo de cinco estágios:

- 1) reconhecimento inicial;
- 2) interpretação inicial de fotografias aéreas;
- 3) estudo de campo, incluindo checagem detalhada da interpretação de fotografias aéreas e a determinação dos parâmetros de micro-relevo;
- 4) interpretação final das fotografias aéreas, incluindo a determinação de parâmetros de micro-relevo;
- 5) relatório.

3.4.6 Procedimento para a Classificação Detalhada do Terreno

Esta classificação é melhor conduzida num processo de três estágios:

- 1) interpretação inicial de informações disponíveis nas fotografias aéreas, mapas, planos, blocos diagrama, croquis, e outros;
- 2) estudo de campo;
- 3) confecção de mapas, relatórios, etc.

3.5 METODOLOGIA DA ANTIGA TCHECOSLOVÁQUIA

O trabalho de MATULA(1979), e os que se sucederam, apesar de adotar basicamente os mesmos princípios da IAEG, constituem-se de fato, em significativa contribuição às inúmeras metodologias de mapeamento geotécnico existentes em vários países.

No referido texto, o autor trata de questões como: melhoria da exatidão nas fases principais de tratamento da informação da geologia regional; aquisição, armazenagem e gestão dos dados primários; classificação de características importantes dos fenômenos exibidos em cartas; transformação de cartas geotécnicas para as de usos particulares e a busca de avaliação otimizada das unidades e sistemas regionais.

3.5.1 Classificação Quantitativa de Dados Fundamentais

Não obstante o progresso alcançado pelas técnicas tradicionais de investigação usados na exploração geológica para fins de geologia de engenharia, especialmente em trabalhos de cunho regional, tal fato só apresenta eficiência quando acompanhado pelo desenvolvimento paralelo de procedimentos interpretativos, de avaliação e utilização dos dados adquiridos, que necessitam ser precisamente acumulados.

Pode-se tentar o ordenamento das informações com o uso de uma base de dados que, contudo, pode vir a se tornar inviável pela complexidade e/ou custos, face à infinidade de terminologias e classificações geotécnicas existentes, que dificultam a formatação dos dados obtidos. A criação de sistema para classificação quantitativa de fenômenos mapeados (condição considerada indispensável a minimização da subjetividade de dados investigados), é extremamente difícil, superando a questão terminológica, porque deve conter todos os componentes fundamentais representantes das condições geotécnicas, bem como seus atributos correspondentes.

3.5.2 Mapas de Condições de Geologia de Engenharia

Obtidos por simples superposição, eles representam classes de rochas e solos; nível d'água; *landforms*, fenômenos geodinâmicos (distribuição e variabilidade) e propriedades sobre o conjunto da área mapeada. Para o usuário experiente em interpretação de mapas geológicos, é possível entender a história e dinâmica do passado e equilibrar o futuro desenvolvimento geológico do território.

O incremento do nível de exatidão pode ser obtido pelo emprego de sistemas de classificação quantitativa para os atributos relevantes dos fenômenos investigados.

3.5.3 Mapas de Zoneamento de Geologia de Engenharia

Pela avaliação, interrelações espaciais e funcionais dentre componentes básicos de geodesenvolvimento, é possível delinear unidades individuais do território em termos de zonas.

As unidades zonais são modelos tridimensionais, delimitados com base em certa uniformidade para condições de geologia de engenharia, e se designam:

- Zonas - indicam uniformidade em distribuição espacial de certos tipos litológicos relatados genericamente;

- Subzonas - uniformidade em aspecto fundamental, como estrutura espacial e arranjo vertical de tipos de solos e rochas de emprego na engenharia e
- Distritos - representam o arranjo espacial de tipos de rochas e solos, tanto quanto condições hidrogeológicas e/ou feições geodinâmicas uniformes.

3.5.4 Mapas de Finalidade Especial

Os mapas de multifinalidades são os mais básicos na preparação de variados grupos de mapas de avaliação de terrenos e de zonas, nos quais se utilizam atributos selecionados por transformação gradual de vários modelos multifinalitários propostos, até alcançar o mais especializado (Figura 3.1).

Atributos especiais do ambiente geológico tornam-se de interesse primário quando se tem necessidade de resolver problemas específicos e variados, referentes ao desenvolvimento territorial e sua ocupação. Tais atributos, então, passam a ser fundamentais para vários tipos de avaliação espacial propostos ou para mapas de zonas e, o mais importante, neste caso, é operar com o uso de critérios quantitativos tanto quanto permitido.

3.5.5 Otimização, Seleção e Decisão

É comum a tendência de planejadores e administradores em avaliar quantitativamente não somente características parciais de componentes individuais do meio, como também a seleção do terreno *ótimo* e a definição dos seus usos alternativos.

Três domínios fundamentais podem ser distinguidos onde a avaliação quantitativa e os procedimentos de otimização são passíveis de aplicação em levantamento regionais e urbanos:

- 1) estimativa de uso potencial de terrenos, adequados para várias zonas (ou sítios) dentro da área mapeada;

Figura 3.1 - Transformação gradual das informações do meio físico inventariadas no mapeamento geotécnico e os processos que podem subsidiar no planejamento ambiental. Modificado de MATULA(1979).

2) seleção de sítios adequados (ou zonas) para uso particular do terreno dentro da área mapeada (distritos residenciais ou industriais; disposição de resíduos;, recreação, etc.); e

3) decisão sobre uso adequado ou modelo de desenvolvimento, e/ou construção dentro de um sítio particular.

Aplicando-se métodos analíticos de decisão, visando selecionar a alternativa adequada, tem-se que proceder inteiramente a essas três fases igualmente significantes (Figura 3.2).

3.6 METODOLOGIA DE ZUQUETTE(1987 e 1993)

Segundo AGUIAR(1989), o trabalho intitulado "Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras", de ZUQUETTE(1987), pode ser considerado um marco na evolução dos estudos sistemáticos sobre levantamento geotécnico. Nesta obra, verifica-se uma nítida tendência metodológica voltada à elaboração de cartas dedicadas, especialmente, ao planejamento urbano - escalas entre 1:50.000 e 1:10.000, observadas as situações sócio-econômicas e dimensões do território brasileiro.

Isto significa, em primeira análise, restrições parciais ao aproveitamento de técnicas de mapeamento geotécnico desenvolvidas em outros países, pela difícil adequação às circunstâncias nacionais.

A proposta metodológica em questão procura atender, embora subjetivamente, a uma relação custo/benefício favorável, sem detrimento do nível técnico-científico a ser adotado.

Figura 3.2 - Processo analítico otimizado para seleção de locais com maior adequabilidade ao uso e ocupação racionais. Modificada de MATULA(1979).

3.6.1 Atributos

Para a obtenção dos atributos ZUQUETTE(1987 e 1993) sugere que se deve proceder uma análise da forma e validade das observações.

- Observações Qualitativas - são obtidas em superfície e/ou em subsuperfície (poços, galerias ou similares). Podem ser semânticas e pragmáticas.
- Observações Quantitativas - obtidas por análise de campo, sondagens e ensaios sobre amostras deformadas e indeformadas (prevalece o uso das deformadas). Tais informações são numéricas e gráficas.
- Amostragem - considerando-se os limites propostos por ZUQUETTE(1993) - Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Número mínimo de observações. Adaptada de ZUQUETTE(1993)

FINALIDADE	ESCALA 1:	LOCAIS OBSERVADOS	
		QUALITATIVAMENTE	QUANTITATIVAMENTE
Básico	250.000	Cristalino Sedimentar 1/ 10 km ²	1/ 10 km ²
Regional	100.000	4/ 10 km ² 3/ 10 km ²	2/ 10 km ²
	50.000	6/ 5 km ² 1/ km ²	3/ 10 km ²
	25.000	3/ km ² 2/ km ²	1/ 10 km ²
Detalhe	25.000	5/ km ² 4/ km ²	4/ 10 km ²
	10.000	15/ km ² 15/ km ²	10/ km ²

- Áreas-Chave - representam melhor e de maneira mais completa as variações (vertical e horizontal) da área maior.

- **Extrapolação** - valores ou informações devem ser creditados a uma área e não a situações pontuais, observando-se: compatibilidade das características obtidas quantitativamente; as deficiências existentes; validade dos índices básicos; grau de similaridade; apresentação das ressalvas; e a experiência do profissional.
- **Interpolação** - deve-se verificar as seguintes limitações: distância; homogeneidade; tipificação e seleção de atributos; objetividade; último recurso; e escala.

3.6.2 Classificação dos Documentos

A exemplo de outras metodologias, aspectos do mapeamento geotécnico relacionados à escala, à finalidade e à forma de apresentação dos resultados assumem papel significativo na execução do trabalho, em virtude da necessidade de se estabelecer todo o procedimento para que os objetivos da pesquisa possam ser alcançados. No tocante às **escalas**, ZUQUETTE(1987 e 1993) propõe a divisão em: Escala Geral/Básica - menores que 1:100.000, Escala Regional - 1:100.000 a 1:25.000 e Escala de Semi-Detalhada/Detalhe - 1:25.000 a 1:2.000, No trabalho de 1987, o autor não recomendava as maiores que 1:10.000, pela implicação em elevados custos e número excessivo de observações, com o risco de substituição inadequada das investigações locais.

Em se tratando das **finalidades**, intimamente ligadas à escala a ser adotada, o mapeamento oferece suporte desde a complexa ordenação do meio físico até situações específicas (Figura 3.3).

Nas escalas gerais, destinadas ao planejamento regional, os grupos de atributos que melhor participam no estudo são: condições geomorfológicas, materiais rochosos e/ou inconsolidados, ocupação atual do solo e dados climáticos para bacias hidrográficas. Para as escalas regionais e de semi-detalhe, sobretudo aquelas maiores que 1:50.000, integram-se à análise os seguintes componentes do meio físico: materiais inconsolidados e rochosos, elementos geomorfológicos, águas superficiais e subterrâneas, fatores climáticos, como também formas de ocupação e ações antrópicas.

Figura 3.3 - Condições para elaboração do mapeamento geotécnico e principais finalidades básicas. Modificada de ZUQUETTE(1993)

Outro aspecto importante, nessa metodologia, é a **forma de apresentação** das informações obtidas nas diversas fases. São três os tipos de documentos utilizados na representação dos produtos do mapeamento geotécnico: **.Mapa das Condições Geotécnicas** - caracteriza o meio físico sem delimitar as similaridades geotécnicas das áreas, sendo mais indicado para as escalas gerais; **.Mapa de Zoneamento Geotécnico** - separa porções do terreno geotecnicamente semelhantes sem, no entanto, considerar suas finalidades; finalmente, **.Mapa de Zoneamento Geotécnico Específico** - recomendado para trabalhos em escalas maiores que 1:50.000, onde as condições geotécnicas são agrupadas de modo a atender uma determinada finalidade.

Baseando-se na utilização conjunta das informações fornecidas a partir de mapas, das cartas e dos demais dados disponíveis, a metodologia de ZUQUETTE(1987) prevê quatro classes de documentos cartográficos, onde os atributos obtidos e/ou avaliados podem estar representados: **Mapas Básicos Fundamentais, Mapas Básicos Opcionais, Mapa Auxiliar e Cartas Derivadas ou Interpretativas.**

3.6.2.1 Mapas Auxiliar e Básicos

1) **Mapa de Documentação** - o mapa de documentação ou de dados, de uso amplo e indispensável na cartografia geotécnica, registra todos os locais de observações, qualitativas e/ou quantitativas, diferenciando as maneiras como foram obtidas as informações.

2) **Mapas Básicos Fundamentais** - enquadram-se nesta categoria todos aqueles indispensáveis a qualquer região investigada

a) **Mapa topográfico** - utilizado para a elaboração da carta clinométrica e sentido de pendência, este mapa praticamente controla quase todo o trabalho, pois além da escolha da escala, serve de base para a interpretação final de grande número de cartas temáticas.

b) Mapa geológico - subdividido em dois documentos distintos: *Materiais do Substrato Rochoso ou Geológico*, contendo características litológicas, mineralógicas, genéticas e estruturais das rochas e dos maciços; de *Materiais Inconsolidados*, condensando informações a respeito de suas origem, rocha-matriz, textura, espessura e outras propriedades.

c) Mapa das águas - representa os comportamentos e especificidades dos aspectos relacionados tanto às águas superficiais quanto às subterrâneas.

3) **Mapas Básicos Opcionais** - todos os mapas disponíveis que contenham informações do meio físico estudado, à exceção dos citados no tópico anterior, são posicionados nesse grupo; porém, dependendo da complexidade das condições geotécnicas da área, podem passar a *fundamentais*.

a) Mapa pedológico - os materiais inconsolidados, até uma profundidade próxima dos 3,0 metros, estão representados de modo bem completo nesse documento, onde as qualidades intrínsecas ao solo, tais como gênese, rocha-mãe, composição mineralógica, índices físicos, textura, granulometria, permeabilidade, capacidade de troca catiônica, bases trocáveis, matéria orgânica, dentre outras, encontram-se descritas com riqueza de detalhes que, freqüentemente, interessa ao mapeamento.

b) Mapa geofísico - este mapa, quando possível ser confeccionado, utiliza contrastes entre as propriedades físicas dos diferentes tipos de materiais detectados durante a investigação geofísica, possibilitando avaliação relativamente rápida do comportamento destes para o uso na construção civil, além de fornecer a espessura do material inconsolidado, a profundidade dos níveis de águas subterrâneas, etc. Os métodos prospectivos elétricos e sísmicos são os comumente empregados em geologia de engenharia e os mais recomendáveis à cartografia geotécnica.

c) Mapa geomorfológico - além de apresentar, especialmente, informações sobre a morfologia da paisagem, o mapa geomorfológico também é usado para retratar a gênese e cronologia das diversas formas integrantes do meio físico. Tais aspectos estão interrelacionados e, portanto, registram as litologias e os processos geodinâmicos internos e externos, estando as características do relevo expressas por seus perfis, inclinações, quebras e dimensões, sendo a carta clinométrica indispensável nesta análise.

d) Mapa climático - representa as situações climatológicas da região no tocante à temperatura, umidade, pluviosidade, evapotranspiração, insolação, direção e intensidade dos ventos, etc. Este mapa participa, com igual importância, no auxílio à ordenação dos espaços urbanos e rurais.

e) Mapa de ocupação atual ou prevista - a delimitação de zonas retratando a situação de ocupação e respectivas aptidões se apresenta, nesse documento cartográfico, de modo a fornecer respaldo tanto à seleção de áreas para determinada utilização, quanto à execução de trabalhos técnicos, dentro das próprias vocações locais.

3.62.2 Cartas Derivadas ou Interpretativas

1) **Carta de Erodibilidade** - tem como objetivo retratar a susceptibilidade da área à erosão, ou seja, os locais mais vulneráveis à ação dos agentes erosivos, distinguindo-se, portanto, erosividade (capacidade de erosão de um determinado agente) e erodibilidade, que é função da constituição física e do uso dos terrenos. No trabalho de ZUQUETTE(1993) este documento recebeu a denominação de *Carta de Potencial à Erosão*.

2) **Carta para Escavabilidade** - mostra o comportamento dos terrenos frente a eventuais escavações, quer à instalação de obras enterradas, quer destinadas a outras finalidades (construções de estradas, etc.), sendo os materiais avaliados segundo a resistência, condições de escavação e equipamento exigido.

3) **Carta para Deposição de Rejeitos Sépticos** - orienta os usuários sobre as variações do meio físico, avaliando seu comportamento frente à deposição de rejeitos. Esta carta é considerada como inadequada para rejeitos radioativos, admitindo-se, ainda, que a contaminação das águas ocorre, basicamente, pelos líquidos oriundos das áreas de deposição dos rejeitos e que a diluição dos poluentes varia com a distância entre a fonte e o ponto de análise da água, o tempo de liberação do contaminante e com a direção e velocidade de fluxo do receptor. Tal documento passou a ter um contexto mais amplo com o trabalho de ZUQUETTE(1993), quando passou a ser denominada de *Carta para Disposição de Resíduos*.

4) **Carta para Materiais de Construção** - delimita, na região, a ocorrência de materiais inconsolidados e rochosos que apresentam boas possibilidades de uso e os locais mais favoráveis para a exploração. É recomendável que contenha informações tanto sobre a utilidade dos materiais para transformação ou emprego direto, quanto de suas características mineralógicas, estruturais e de alteração. Em ZUQUETTE(1993), ocorreu a mudança de terminologia e abrangência - *Carta de Potencial Mineral e de Materiais para Construção Civil*.

5) **Carta para Obras Enterradas** - reflete a ocorrência de fatores capazes de alterar custos e qualidade das obras que estarão total ou parcialmente em contato direto com materiais do meio físico. Também passou por mudanças no trabalho de ZUQUETTE(1993) - *Carta para Estocagem Subterrânea*.

6) **Carta para Obras Viárias** - seu principal objetivo é registrar informações que possam afetar técnica e economicamente uma obra viária. Deve fornecer subsídios para as fases que vão desde o início do projeto até o planejamento regional ou urbano. ZUQUETTE(1993) redefiniu-a e denominou-a de *Carta para Estradas*.

7) **Carta para Estabilidade de Taludes** - reflete as condições de estabilidade dos taludes naturais, indicando o potencial de estabilidade e prognosticando possíveis problemas de movimentos dos materiais rochosos ou inconsolidados.

8) **Carta para Fundações** - tenta orientar a investigação local no sentido de prevenir, de maneira geral, quanto à capacidade de carga dos solos, à instalação de fundações superficiais e profundas, analisando quatro diferentes níveis de profundidades: 2, 5, 10 e 15 metros, diminuindo com isso custos, tempo de trabalho e número de situações a serem estudadas.

9) **Carta para Irrigação** - delimita a adequabilidade dos terrenos segundo a morfometria, os materiais do meio físico, a quantidade e qualidade das águas, indicando, geotecnicaamente, áreas com melhor potencial para irrigação. Em função do método de irrigação, as classes de atributos participam de maneira diferenciada.

10) **Carta de Restrições Ambientais** - visa auxiliar o planejador na determinação do uso e ocupação do meio físico, gerando dois grupos de informações: *1º grupo* - áreas de exploração de recursos naturais renováveis ou não; e *2º grupo* - áreas para utilização prevista por órgãos públicos, para fins turísticos ou paisagísticos, de recarga de aquíferos e nascentes de rios, permanentemente alagadas e outras consideradas especiais a um determinado uso (sítios arqueológicos).

Permite, ainda, diagnosticar problemas inerentes à paisagem, evitando as desapropriações desnecessárias, a degradação de áreas com potencialidades especiais (turismo), a colocação de fontes contaminadoras em áreas vulneráveis, a instalação de obras longitudinais em minifúndios produtivos e os posicionamentos inadequados dos diversos setores de um parque industrial, dentre outros fatos.

11) **Carta para Orientação (Zoneamento)** - orienta o planejador, em especial, quanto às diversas e possíveis formas de uso e ocupação do solo, do ponto de vista geotécnico. Elaborada a partir dos documentos básicos e derivados, suas unidades são definidas pelos *pesos* de cada atributo, obedecendo a um dos seguintes grupos de diretrizes:

- **Geral** - retrata as unidades que melhor se enquadram nas necessidades das formas de ocupação;

- **Parcial** - quando houver interesse para uma mesma região, em dois ou mais modos de ocupação interligados, a serem implementados conjuntamente;
- **Individual** - havendo uma única maneira de ocupação.

Além destas cartas, ZUQUETTE(1993) apresenta quatro outras, que pelos próprios nomes, sintetizam seus escopos: Carta de Potencial à Corrosividade, Carta de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas, Carta de Escoamento Superficial e Infiltração, Carta de Potencial de Ocupação Agrícola.

A Tabela 3.2 exhibe a análise comparativa de todas as metodologias apresentadas, à exceção da ex-Tchecoslováquia, por esta seguir os princípios da IAEG.

Tabela 3.2 - Análise comparativa entre as diferentes metodologias

METODOLOGIA	ÁREA (KM ²)	ATRIBUTO	CLASSE DO TERRENO	ESCALA 10 ⁻³	CARTAS	FINALIDADE
MATHEWSON & FONT	variada	Não define: . escolha . obtenção	--	--	1ª Ordem 2ª Ordem 3ª Ordem 4ª Ordem	Observação Engenharia Interpretação Planejamento
IAEG	variada	Não define: . limites . obtenção	Suíte litológica Complexo litológico Tipo litológico Tipo geotécnico	< 200 10 - 200 5 - 10 > 5	Geral Específica	Especial/Específica Multifinalidade
FRANÇA	< 1500	Não condiciona: . princípio . limite	Regional Metropolitano Urbano Específico Detalhamento	< 100 100 - 50 25 - 10 5 - 1 > 1	Dados Fatores Sintéticas	Aptidão
PUCE	variada	Define: . escolha . limites	Província Padrão Unidade Componente	> 250 > 250 > 25 > 2,5	Geral Específica	Desenvolvimento Regional; Planejamento: rural e urbano
ZUQUETTE	variada	Define: . tipos . escolha . obtenção . avaliação	Geral/Básico Regional Semi-detalhada Detalhada	< 100 100 - 25 25 - 10 > 10	Básicas: . fundamental . opcional Auxiliar Derivada	Condição geotécnica; Zoneamento geotécnico; Zoneamento geotécnico específico

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

Nas diferentes metodologias de mapeamento geotécnico adotadas em inúmeros trabalhos no Brasil, tem papel destacado, pela importância e elevado grau de dificuldade, a definição das unidades geotecnicaamente homogêneas. O estudo realizado no Distrito Federal apresenta seqüência operacional compatível com as exigências das escalas regionais, tendo se orientado principalmente nas propostas metodológicas adotadas no âmbito da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP (ZUQUETTE, 1987 e 1993).

4.1 INTRODUÇÃO

Os princípios básicos das metodologias de mapeamento geotécnico, mais usualmente adotadas no Brasil, estão fundamentados na idéia de se obter um quadro geral dos condicionantes geotécnicos. Destaca-se, nesse contexto, a importância que se deve dar à definição das unidades de materiais inconsolidados, observadas as condições e relevância em países de clima tropical (espessuras, processos endógenos e exógenos, variabilidades laterais e em profundidade, entre outros aspectos).

Apesar dessa premissa e em virtude do acúmulo de conhecimentos sobre o assunto, proporcionais à escala regional (1:100.000 ou menores), os executores e usuários do mapeamento geotécnico ainda se ressentem da falta de informações pragmáticas para elaboração da carta de zoneamento geotécnico geral.

Com esse enfoque, procura-se um aperfeiçoamento metodológico que possa, ao mesmo tempo, aumentar os conhecimentos científicos sobre obtenção de características geotécnicas dos materiais e sobretudo proporcionar, a um número crescente de usuários, mapas e documentos descritivos, informes úteis e cada vez mais confiáveis para finalidades diversificadas.

O atual quadro de desenvolvimento do País passou a contemplar soluções integradas, até mesmo para resolver pequenos problemas localizados.

Outra premissa, sobre a qual se apoia a realização de trabalhos dessa natureza e escala, é a preocupação com o tempo. A solicitação de trabalho técnico de qualidade e as exigências dos cronogramas normalmente apertados somente podem ser resolvidos por metodologia eficaz, para que a velocidade da produção não ultrapasse o limite do bom nível.

A Figura 4.1 apresenta o fluxo de procedimentos para análise genérica da viabilidade de execução do mapeamento geotécnico dentro das preocupações expostas anteriormente.

4.2 ETAPAS DE TRABALHO

Observados os princípios gerais, a seqüência operacional deve consistir no tratamento homogêneo das informações, vez que se verifica a necessidade de mapas auxiliares e básicos complementares, produtos cartográficos não restritos à geotecnia.

Este ensaio metodológico, na realidade decorre de uma série de adaptações das metodologias de mapeamento geotécnico que vêm sendo empregadas e aprimoradas no País desde a década de 70 e leva em conta, principalmente, o fato de ser um levantamento regional (escala 1:100.000), condicionado aos fatores tempo e custos operacionais, como no caso das pesquisas empreendidas para o zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal.

Figura 4.1 - Análise genérica para a execução do mapeamento geotécnico.

A delimitação de áreas geográficas relativamente homogêneas sob ponto de vista de suas características e comportamento geotécnico é, em síntese, o objetivo desse mapa. Desse modo, sucedem-se as seguintes etapas: levantamento das informações disponíveis, interpretação preliminar, trabalhos de campo, reinterpretação e integração dos dados.

4.2.1 Levantamento das Informações Básicas

A carência de informações consolidadas para a confecção dos mapas básicos, considerados os enfoques verificados nos mapas geológicos e pedológicos convencionais, quando existentes, faz com que essa etapa seja, sem exagero, condicionante de todas as demais, pois o custo e o cronograma que viabilizam a execução do trabalho estão relacionados intrinsecamente com tal etapa.

Inclui-se, nessa fase, desde a definição do objetivo final do trabalho até a preparação da base cartográfica preliminar, passando obrigatoriamente pelo levantamento do material bibliográfico, por toda a cartografia de apoio, produtos de sensores remotos, resultados de análises geotécnicas, bem como disponibilização de equipamentos/materiais indispensáveis.

É comum se iniciar o processo de investigação do meio físico sem levar em conta os objetivos finais do trabalho o que, com frequência, leva ao comprometimento da qualidade do trabalho executado; incluem-se, como resultados finais, as utilizações diretas e/ou indiretas que poderão advir dos mapas e cartas geotécnicas finais.

Da bibliografia são selecionadas várias hipóteses de trabalho nos planos interpretativo e operativo, bem como informações diversificadas que podem interessar, em qualquer fase do cronograma preestabelecido; aspectos metodológicos e relativos a área a ser mapeada são dados essenciais.

Apesar da razoável facilidade de se obter base cartográfica em escala compatível ao nível de exigência de trabalhos regionais, muitas vezes alguns princípios básicos de cartografia não são observados, sobretudo no que diz respeito às projeções e origens de coordenadas, provocando erros grosseiros na confecção da base cartográfica, o que implica não somente em dificuldades para interpretações de produtos de sensores remotos, como também na má qualidade do mapa final. O cuidado deve ser redobrado quando se trata da utilização das bases digitais, atualmente bastante disseminadas, que algumas vezes já incorporam esses erros.

Os documentos cartográficos básicos recomendáveis são os produzidos mais recentemente por órgãos com tradição em levantamentos sistemáticos para elaboração de mapas plani-altimétricos de cunho regional; mapas produzidos por instituições locais não especializadas devem ser usados com cuidado redobrado.

Tais observações devem extrapolar ao campo da base topográfica e alcançar a cartografia temática, onde os mapas geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos e mapas geotécnicos se enquadram; apesar da riqueza de detalhes, a falta de critérios cartográficos está normalmente presente; alguns sequer apresentam o tipo de projeção utilizada, quanto mais o meridiano central (agravadas na divisa dos gomos das projeções).

Os produtos de sensores remotos são os mais variados possíveis e é improdutivo a comparação os dados fornecidos por eles, pois cada um foi feito para fins específicos; assinaladas suas qualidades e limitações, verifica-se que as vantagens podem ser ampliadas com a utilização de outros produtos. Destacam-se, nesse contexto, as fotografias aéreas, imagens de radar e de satélite, bem como os mosaicos derivados; a possibilidade da obtenção de todos esses produtos é de grande importância e não deve ser descartada.

Assim como para a base cartográfica, a escala representa fator limitante para o desenvolvimento do trabalho, também no que diz respeito ao produtos de sensores; é aconselhável que a escala deles seja o dobro da escala do mapeamento ou, pelo menos, próxima a essa referência.

É freqüente a inversão de valores e fases na elaboração de mapas e cartas geotécnicas, sobretudo no que diz respeito a obtenção dos resultados laboratoriais e de sondagens rasas e profundas; na maioria das vezes, não se procede a compatibilização do levantamento das investigações geotécnicas existentes com a fase que antecede a definição das unidades geotécnicas preliminares, deixando-se para cumprir tal tarefa, de forma inaceitável, posteriormente à etapa de campo. A inclusão de novos resultados geotécnicos de superfície, adquiridos de outras fontes, é indiscutivelmente aceitável desde que em pequena quantidade (menos de 10% do total obtido inicialmente) quando antigos; todos os de subsuperfície e/ou produzidos simultaneamente ou após a operação de campo devem ser incluídos.

Os locais onde mais facilmente se encontram informações de interesse são os órgãos/empresas de obras civis e de abastecimento de energia elétrica e água, principalmente as públicas municipais, estaduais e federais, tais como:

- Departamentos de estradas; companhias de distribuição de energia elétrica, de abastecimento de água e de saneamento básico; empresas particulares de - sondagens de simples reconhecimento, prospecção de água subterrânea, mineração e construção civil; instituições públicas de - planejamento, ciência e tecnologia, meio ambiente, pesquisa tecnológica afim, agricultura e ensino superior.

Cuidado quanto à precisão e localização geográfica das informações apresenta aspecto relevante e restritivo à sua utilização pois, ao invés de favorecer o processo de definição das unidades geotécnicas, pode diminuir sobremaneira a qualidade do trabalho. A quantidade de informações deve sempre estar condicionada à sua adequabilidade.

A verificação/definição dos materiais e equipamentos necessários à realização do trabalho é quase sempre esquecida ou dissociada dos objetivos. Esse enfoque, igualmente importante no processo, serve para avaliar muito bem todas as questões operacionais, desde a fase inicial até a etapa final da pesquisa, para que não se incorra em dificuldades intransponíveis. Atualmente, o uso de técnicas computacionais é indispensável na tabulação e análise dos atributos, sobretudo pela quantidade de dados a serem tratados, bem como na confecção do mapa final. Cabe salientar, nesse contexto, que a mudança e/ou combinação de equipamentos e principalmente de sistemas (*softwares*), pode acarretar sérios prejuízos (por vezes irreversíveis).

Seguindo-se os procedimentos apresentados para a confecção da carta de zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal, foram utilizados os produtos e equipamentos relacionados na Tabela 4.1, na etapa inicial do trabalho.

4.2.2 Interpretação Preliminar

A segunda etapa do trabalho se restringe à definição dos atributos a serem considerados, preparação da base cartográfica (com a inclusão dos pontos de observações quantitativas), fotointerpretação, elaboração do mapa de fotounidades de materiais inconsolidados e, finalmente, estratégia/planejamento da(s) fase(s) de campo.

A compatibilização dos atributos ao objetivo do trabalho deve reger os passos seguintes, verificando-se nessa oportunidade aqueles que efetivamente participam dos documentos cartográficos finais, de forma a não comprometer o cronograma de execução ou aumentar a complexidade da análise para a determinação das unidades finais.

Pode-se tomar como base para esse estabelecimento os atributos preconizados por ZUQUETTE(1987 e 1993).

Tabela 4.1 - Informações sintéticas sobre os produtos e equipamentos utilizados na etapa inicial da realização do zoneamento geotécnico do Distrito Federal.

PRODUTO	FONTE	FORMATO	ANO	ESCALA	OBS.
Mapa topográfico	DSG/ME	Analógico	1991	1:50.000 e 1:100.000	Elaborado a partir dos mapas 1:10.000
	CODEPLAN	Digital	1993	1:100.000	
Mosaico de fotografia aérea	AEROSUL	Analógico	1991	1:40.000	
Imagem de satélite	INPE	Analógico e Digital	1994	1:50.000 e 1:100.000	
Fotografia aérea	AEROSUL	Analógico	1991	1:30.000	
Mapa geológico	IG-UnB/DNPM	Analógico	1995	1:100.000	
Mapa de materiais inconsolidados	DUARTE(1992)	Analógico	1992	1:50.000	Porção restrita do Distrito Federal
	ROMÃO(1995)	Analógico	1994	1:50.000	
Mapa pedológico	EMBRAPA	Analógico	1978	1:100.000	
PRODUTO	FONTE	TIPO	ANO	NÚMERO	OBS.
Resultados de ensaios	DER-DF	Tradagens de sub-leito, das cascalheiras e áreas de empréstimos	1964 a 1995	349	Caracterização e classificação geotécnica
	EMBRAPA	Perfis	1978	65	Caracterização pedológica
	JUNQUEIRA (1994)	Geomecânica	1994	18	Caracterização dos calcários
	DUARTE(1992) e ROMÃO(1995)	Mapeamento geotécnico	1992 e 1994	53 20	Caracterização e classificação geotécnica
Sondagens de simples reconhecimento	DER-DF; Sonda; Embre; Infrasolo	SPT	1968 a 1995	69	Caracterização geotécnica
Poços rasos e profundos	CAESB; Sonda; Colorado	Fontes, Cacimbas, Sondagens rasas e profundas	1965 a 1995	764	Espessura e caracterização dos materiais; NA
Equipamentos computacionais	UnB EESC/USP	Estação de trabalho e PCs, <i>Plotter</i> , <i>Scanner</i> , Impressora			
Sistemas/ Programas	UnB EESC/USP	Access; Q&A			Banco de dados
		Sgi, Sitim e Idrisi			SIGs, e Tratamento de imagens
		Autocad R-13			Digitalização de mapas
		Excel			Planilha

A partir dos documentos cartográficos disponíveis e considerados confiáveis, confecciona-se a base cartográfica com a maior riqueza de detalhes referentes ao meio físico, bem como com a localização precisa das informações obtidas em trabalhos anteriores, usando simbologia suficientemente apropriada para identificá-lo segura e rapidamente (combinação de formas e cores diferenciadas). Salienta-se que é quase imprescindível, atualmente, o formato digital para as bases elaboradas.

A compartimentação das unidades geotécnicas preliminares depende essencialmente de três fatores; o primeiro deles é a qualidade dos produtos utilizados, o outro é a tecnologia disponível e, por fim, a experiência do fotointérprete com os padrões das fotos e/ou imagens. Além disso, é importante considerar o nível de detalhamento pretendido, que leva a uma delimitação correta dos componentes dentro das unidades maiores.

A fotointerpretação tem início com a seleção de áreas cujas nuances possam sugerir alguma diferença no comportamento das unidades. Assim, procede-se ao delineamento, levando-se em conta características semelhantes dos *landforms*, vegetação, padrões de drenagem, textura e variações cromáticas das fotos e imagens. A sistemática apresentada por LOLLO(1995) parece fornecer bons resultados quando da utilização exclusiva de aerofotos.

Com a possibilidade do uso de imagens no formato digital, as técnicas de fotointerpretação vêm ficando cada vez mais facilitadas, porém os processos automáticos ainda não são plenamente confiáveis. As imagens hiperespectrais, produzidas por sensores aeroportados e/ou orbitais, esse último com previsão de lançamento para 1997, poderão cobrir de forma contínua o espectro eletromagnético entre 0,40 e 2,50 mm, através de 348 bandas, com resolução espacial de 20 metros e, quando associadas a bibliotecas de assinaturas espectrais dos materiais, minimizarão sobremaneira tais limitações (CRÓSTA, 1996).

A confecção do mapa preliminar de unidades geotécnicas deve retratar o conjunto de informações decorrentes da fotointerpretação associada aos dados até então coletados. Cada unidade de terreno individualizada recebe legenda, que poderá ser mantida ou não por ocasião da checagem de campo, resultando na primeira noção do conjunto, permitindo melhor definição dos locais a serem visitados para observações qualitativas, quantitativas e amostragens.

O planejamento dos trabalhos de campo pode ser subdividido com três enfoques básicos: a) roteiro seqüencial para o levantamento, incluindo a quantidade de etapas e números de pontos a serem observados, com a respectiva definição de locais para retirada de amostras; havendo possibilidade de realização de mais de uma etapa de campo (o que é recomendável), deve-se proceder à determinação dos locais de amostragem, vislumbrando-se compatibilizar unidades de terreno fotointerpretadas com os conceitos de perfis de alteração para solos tropicais propostos por DEARMAN(1991), PASTORE(1995) e outros; b) elaboração de fichas para descrição dos pontos a serem observados e registro das amostras coletadas, especialmente elaboradas para a finalidade e características da área a ser mapeada; c) concepção de uma base de dados computacionais proporcional ao volume de dados a serem armazenados e tratados/analísados.

A Figura 4.2 exibe a ficha de campo elaborada para o mapeamento geotécnico do Distrito Federal.

4.2.3 Trabalho de Campo

Após a conclusão da interpretação preliminar, são iniciados os trabalhos de campo que seguem os percursos escolhidos na fase anterior. Estas operações destinam-se primordialmente a sanar dúvidas da fotointerpretação e, sobretudo, caracterizar os materiais pela descrição das unidades de terreno, além de amostrar os diferentes tipos de materiais inconsolidados e/ou rochosos que ocorrem nos perfis, registrar suas feições particulares em fotografias, reunindo mais elementos para averiguar as hipóteses de trabalho levantadas anteriormente.

Nos trabalhos de campo, é obtido um número muito grande de informações, seja para o mapeamento, seja para a preparação do texto explicativo. É importante que a organização dessa etapa seja feita de modo a observar, em visão geral, todas as unidades de terreno.

Caso haja condições para a realização de mais de uma etapa de campo, prioriza-se por ordem sequencial: descrição dos perfis, retirada de amostras deformadas e, em caso de extrema necessidade, sondagens (com amostragem ou não) e coleta de amostras indeformadas, que freqüentemente aumentam os custos e o tempo dos trabalhos de mapeamento. Verificada a possibilidade de mais de uma etapa de campo e a partir dos dados produzidos nas observações qualitativas e quantitativas, pode-se elaborar um zoneamento fotogeotécnico com intuito específico de definir, com maior propriedade, os locais e número de amostras necessárias.

A inclusão de recursos tecnológicos avançados para a realização desses caminhamentos, como GPS (*Global Positioning System*), geofísica rasa, espectroradiômetro de campo, radar terrestre, dentre outros, devem ser somados àqueles já tradicionais no mapeamento. O uso do GPS vem se tornando quase obrigatório, visando a diminuição dos erros de localização das informações.

Inúmeras discussões têm sido feitas para o estabelecimento do número mínimo de observações e amostragens, sem que até o momento se haja chegado a consenso, mesmo porque o tratamento estatístico para avaliar a representatividade das mesmas é extremamente difícil, por depender de variáveis quase ilimitadas e freqüentemente complexas. É conveniente ter claro que, para tal definição, o número das observações qualitativas, quantitativas e de amostras, está intrinsecamente relacionado ao número de dados de interesse produzidos em outros trabalhos, ao número de unidades de terreno fotointerpretadas, ao tamanho dessas unidades (não ao da área do projeto) e, principalmente, à variabilidade (vertical e horizontal) dos perfis de alteração de cada uma delas.

Certamente, em se observando tais critérios para a escala 1:100.000, pode-se diminuir significativamente a totalidade de pontos descritos e amostrados, particularmente esses últimos, para valores médios próximos a $1/15 \text{ km}^2$, enquanto para os primeiros em torno de $1/7 \text{ km}^2$, portanto aproximadamente 50% abaixo daqueles limites preconizados por ZUQUETTE(1987 e 1993).

Porém, é conveniente lembrar que as descrições pontuais devem extrapolar os aspectos locais, indo até às variações observadas ao longo dos caminhamentos, ou seja, o ponto deve retratar as variações que ocorrem na área de sua influência.

Objetivando facilitar e padronizar as descrições de horizontes, em perfis de alteração em solos residuais, completos ou não, pode-se lançar mão das sínteses propostas por DEARMAN(1991) e PASTORE(1995), com terminologia normatizada pela ABNT(1995), cujas determinações e características estão resumidas na Tabela 4.2.

No que diz respeito a quantia de material inconsolidado amostrado para realização dos ensaios em amostras deformadas e indeformadas, restringe-se a 5 kg e 50 kg, respectivamente, por amostra, retirados do maior número possível de horizontes do perfil. Para o material rochoso, nada além do que amostras de mão (de 15 a 20 centímetros de diâmetro).

Com base na Tabela 4.3, adaptada de KÉZDI(1980), pode-se ter uma visão genérica, porém útil, das quantidades de amostras para alguns dos principais ensaios.

Nesse sentido, priorizam-se os locais que tenham as maiores exposições (perfis mais completos), naturais ou não, dos referidos perfis, para que sejam descritos (qualitativa e quantitativamente) e amostrados, diminuindo-se dessa forma o número de investigações de subsuperfície.

Tabela 4.2 - Síntese dos perfis de alteração em solos residuais (Adaptada de DEARMAN, 1991 e PASTORE, 1995).

TERMO	ESPESSURA	CARACTERÍSTICAS	GRAU
Solo Orgânico	pequena	Textura variada; quantidade apreciável de matéria orgânica; cores - cinza a preta	VII
Solo Residual	variada	Material transformado em solo; textura variada; estrutura e petrofábrica do maciço destruídas; sem transporte significativo.	VI
Rocha Extremamente Alterada		Rocha toda decomposta ou desagregada; textura variada, predominando areias siltosas ou siltes arenosos, ambos pouco argilosos e com blocos de rocha (até 10%); estruturas originais do maciço contínuas e intactas.	V
Rocha Muito Alterada	irregular	Mais da metade do material rochoso decomposto ou desagregado; quantidade de blocos entre 10 a 90%; estruturas originais do maciço descontínuas e intactas.	IV
Rocha Moderadamente Alterada		Topo do maciço; menos da metade do material rochoso está alterado; A rocha fresca ou descolorada apresenta, nos dois casos, estruturas contínuas ou blocos de rocha; baixa resistência.	III
Rocha Pouco Alterada	pequena	Descoloração indicando alteração do maciço (maior descoloração nas descontinuidades); resistência bem superior que o grau III .	II
Rocha sã	-	Sem sinais de alteração, a não ser alguma descoloração nas maiores superfícies de descontinuidades.	I

Tabela 4.3 - Quantidades mínimas de amostras para ensaios de laboratório (Adaptada de KÉZDI, 1980)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Massa, Volume ou Dimensão da Amostra			
	Solos Não-Coesivos		Solos Coesivos	
	Deformada	Indeformada	Deformada	Indeformada
Massa específica dos Grãos	100 g			
Umidade	Areia 100g Pedreg. 200g	-	50g	
Composição de Fases	-	500-1000cm ³	-	100 cm ³
Granulometria	Areia 200g Pedreg. 2000g	-	100g	-
Limites de Consistência	-	-	500g	-
Variação Volumétrica	-		100g	10x10x10cm
Compactação	20kg	-	50kg	-
Permeabilidade	5kg		10x10x10cm	
Capilaridade	3kg	-	-	10x10x10cm
Adensamento	-		-	10x10x10cm
Resistência ao Cisalhamento	Areia 5kg Pedreg. 25kg	-	-	10x10x10cm 3 a 5 amostras
Compressão Simples	-	-	-	10x10x10cm
Conteúdo de Mat. Orgânica	100 g			
pH	-	-	50 g	
Metodologia Expedita MCT	100 g			

Na área do Distrito Federal, foram visitados ao todo 808 pontos para observações qualitativas e/ou quantitativas com preenchimento da ficha de campo apresentada anteriormente na Figura 4.2 e em 91 foram amostrados materiais inconsolidados. Não foram coletadas amostras de rocha, tendo em vista a grande quantidade de informações geológicas disponíveis e compatíveis com a escala do trabalho..

4.2.4 Reinterpretação

Inclui-se nessa etapa, onde ocorre a retomada sucessiva de todos os fatos ou categorias de fatos mapeados, o processo que, desde a realização de ensaios laboratoriais até a fotointerpretação geotécnica final, vai subsidiar a elaboração dos mapas e cartas definitivos.

Os dados coletados em campo vão-se somar aos obtidos nas fases anteriores, enquanto as amostras são submetidas aos ensaios físicos e/ou químicos que retratarão as características e comportamentos geotécnicos dos materiais.

Outra questão passível de intermináveis discussões, diz respeito aos tipos de ensaios a serem realizados; é evidente que, quanto maior for a variedade de testes no material amostrado, mais informações estarão disponíveis. O aspecto central dessa avaliação deve estar restrito não somente aos recursos (financeiros e tecnológicos) e ao tempo disponíveis, mas também à finalidade a que se destina o trabalho.

Mais uma vez, os dados selecionados de outros trabalhos têm papel fundamental pois, a partir deles pode-se direcionar os ensaios necessários a boa caracterização dos materiais inconsolidados.

Os ensaios mais simples de caracterização geotécnica, no concernente à execução e custo, devem ser realizados, sem sombra de dúvida, na totalidade das amostras. Nesse grupo, estão incluídos os ensaios que permitem a classificação dos solos tais como: umidade (natural e higroscópica), massa específica dos sólidos, granulometria e limites de consistência.

Considerando-se a operacionalidade atingida pelos ensaios expeditos que levam à classificação MCT para solos tropicais (NOGAMI & VILLIBOR, 1981), particularmente aquele apresentado por NOGAMI & VILLIBOR(1994), pode-se facilmente incluir este ensaio na lista dos recomendáveis/indispensáveis para realização.

Fazendo-se a tabulação dos dados oriundos dos resultados laboratoriais simples, têm-se critérios para a determinação da necessidade ou não de tipos de análises laboratoriais mais sofisticadas (complexidade e/ou custo). Na escala 1:100.000, esses podem ser descartados sem grandes preocupações.

As 94 amostras de material inconsolidado coletadas no DF, em sua maioria a pouca profundidade (0,8 a 1,0 metro) com auxílio de trado cavadeira (tipo *Ligth*), foram devidamente encaminhadas a laboratório para serem submetidas a análises físicas, que seguiram rigorosamente as normas específicas da ABNT: umidades natural e higroscópica, massa específica dos sólidos, granulometria completa, limites de consistência e mineralogia macroscópica; posteriormente, foram classificadas segundo a H.R.B, SUCS e MCT.

A Tabela 4.4 exibe quadro sintético da utilização de diferentes ensaios laboratoriais, em função das finalidades intrínsecas ao mapeamento geotécnico, com base na proposta de KÉZDI(1980).

A totalidade das amostras recolhidas em campo, durante os trabalhos no Distrito Federal, foi ensaiada segundo os preceitos aqui expostos, ou seja, desenvolveram-se os ensaios considerados simples e também os expeditos para classificação MCT.

Igualmente aos demais dados coletados e produzidos nas fases anteriores, os resultados laboratoriais são armazenados na base de dados para o tratamento das informações (seleção, estatística, correlações, avaliações), visando subsidiar não apenas a análise integrada dos dados mas, também, a fotointerpretação geotécnica final.

Para a análise final das informações associada ao processo de fotointerpretação geotécnica dos materiais, recorre-se a inúmeros recursos tecnológicos, sobretudo aos computacionais. Dentre esses, encontram-se os sistemas/programas de tratamento estatístico, os de geoprocessamento/tratamento de imagens e, até mesmo, os que usam princípios de Inteligência Artificial e de Redes Neurais que, apesar de complexos, estão se tornando cada vez mais amigáveis, conforme demonstram CRESS & DEITER(1990) e CREPANI *et al.*(1996). Tanto os sistemas especialistas quanto as redes neurais ainda não são amplamente aplicados no País, mas já são freqüentes em países mais desenvolvidos.

Tabela 4.4 - Utilizações das características físicas dos materiais inconsolidados (Adaptada de KÉZDI, 1980)

ENSAIOS		UTILIZAÇÃO
Teste de Sólidos	massa específica	Cálculos de qualidades secundárias; conteúdo de matéria orgânica.
	granulometria	Classificação do solo; compactação; permeabilidade; capilaridade; construção de estradas.
	conteúdo de argila	construção de estradas; classificação; tipo de argila.
	conteúdo de matéria orgânica	Classificação do solo; estabilidade para construções; aspectos agrícolas; estabilização de solos.
Composição de Fases	umidade	Características de estado.
	composição de fases	Avaliação das condições do solo; compactação; compacidade; obras de terra.
	índice de vazios/porosidade	
	grau de saturação	
Limites de Consistência	limite de liquidez	Identificação do Solo; correlações empíricas.
	limite de plasticidade	Classificação dos solos; possibilidade e coesão existente.
	índice de plasticidade	
	limite de contração	Características das condições do solo.
	resistência à penetração do cone	Comparação; características das condições do solo.
Metodologia MCT	contração/penetração	Classificação dos solos; comportamento laterítico.

Além dos programas/sistemas utilizados na etapa inicial (Tabela 4.1), foi utilizado o *Surfer* (versão 5.01) para o zoneamento geotécnico do Distrito Federal, principalmente para interpolação de dados por krigagem e geração de tendências das superfícies de contorno e Modelos Numéricos de Terreno (MNTs) dos principais atributos/propriedades relativos aos materiais do meio físico. A importância e métodos para o desenvolvimento desses MNTs foi muito bem demonstrado por SOUZA(1994).

4.2.5 Integração dos Dados

A elaboração dos mapas básicos deve estar fundamentada na disponibilidade ou não dos recursos de geoprocessamento pois, com essa ferramenta, todo o processo para integração final dos dados pode ser altamente versátil.

Atualmente, são raros os profissionais que não têm acesso a *softwares* auxiliares de desenho (CADs); nesse caso, tanto o desenho quanto o cruzamento dos mapas básicos é realizado manualmente, o que difere do procedimento com o CAD, que apesar de limitado com relação à análise das informações (que a exemplo da situação anterior é feita visualmente), possibilita o armazenamento e recuperação dos dados e o cruzamento automático dos documentos cartográficos elaborados.

Sendo a utilização do ambiente de geoprocessamento a mais recomendada e adotada nesse trabalho, onde foram possíveis inicialmente o armazenamento e recuperação das informações, com a digitalização dos mapas auxiliar e básicos fundamentais no *Autocad R13* (arquivos tipo DWG). Posteriormente tais arquivos sofreram conversão ao formato DXF e foram exportados para o SGI/INPE, onde passaram pela poligonalização (ajustes dos arcos e polígonos) e rasterização (criadas as imagens temáticas pela conversão vetor-raster) de cada um deles, permitindo dessa forma, a manipulação e análise geográfica automatizadas, assistidas por pacotes estatísticos e base de dados, complementadas pelas modelagens disponíveis no sistema.

O emprego do sistema desenvolvido pelo INPE - SGI (Sistema Geográfico de Informações), que ainda apresenta algumas restrições, está descrito com maiores detalhes em SOUZA(1994). Alguns dos seus recursos estão expostos no capítulo referente aos documentos cartográficos produzidos neste trabalho, principalmente as cartas de vulnerabilidade do meio físico e de zoneamento geotécnico geral.

A evolução das fases descritas anteriormente é normalmente acompanhada por uma série de pesquisas e adaptações para a composição dos mapas finais, na organização de suas legendas e no relatório/texto finais que integram esta etapa.

Entre os objetivos dessas adequações, incluem-se qualificar as informações permitidas pela escala do mapa, possibilitar uma leitura direta entre mapa e legenda e refletir a sistemática da pesquisa geotécnica realizada.

O principal problema a ser equacionado é o da compatibilidade entre os aspectos dos sistemas mapeados e os recursos gráficos disponíveis/acessíveis. A combinação de cores, hachuras, letras-símbolos e/ou conjuntos alfanuméricos seguramente fornecem uma solução adequada. O sistema de BERTIN(1963), para variáveis visuais, é de significativa utilidade nas apresentações gráficas e análises espaciais e um dos mais apropriados.

Considera-se indispensável a produção do mapa de documentação, onde estejam representadas, além das informações relativas aos pontos de observações (primárias e secundárias) e amostragens, as que possibilitem sua exata localização pontual e regional, como as drenagens, estradas, núcleos urbanos, coordenadas geográficas e/ou planares e outros pontos de referência importantes.

Para os mapas básicos e cartas interpretativas, que retratam atributos/características/propriedades geotécnicas, os principais aspectos locais deverão sempre estar presentes, tendo-se critérios e cuidados especiais para que não prejudiquem a clareza das informações neles apresentadas.

O relatório final não pode desconsiderar que o público a que se destinam os produtos originários do mapeamento geotécnico é diversificado, tanto no que diz respeito à formação técnica profissional quanto aos interesses aplicativos. A linguagem adotada deve combinar a simplicidade com a riqueza de detalhes, a objetividade com a abrangência dos temas analisados visando, sobretudo, o não comprometimento da qualidade dos documentos textuais e cartográficos, isto é, o objetivo do trabalho deve ser alcançado.

O fluxograma apresentado nas Figuras 4.3a a 4.3d ilustra o procedimento metodológico proposto para o mapeamento das unidades geotécnicas e foi adotado para o zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal. No capítulo relativo aos documentos cartográficos elaborados, observam-se diversas formas de apresentação dos mesmos para o DF, onde os conjuntos alfanuméricos e combinações de cores, isoladamente, representam as unidades individualizadas.

Figura 4.3a - Sequência metodológica proposta e aplicada no mapeamento geotécnico do Distrito Federal.

Figura 4.3b - Seqüência metodológica proposta e aplicada no mapeamento geotécnico do Distrito Federal (continuação).

Figura 4.3c - Sequência metodológica proposta e aplicada no mapeamento geotécnico do Distrito Federal (continuação).

Figura 4.3d - Sequência metodológica proposta e aplicada no mapeamento geotécnico do Distrito Federal.

5. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO DISTRITO FEDERAL - DF

Nos itens seguintes, são apresentados de forma sucinta aspectos de interesse ao mapeamento do Distrito Federal - DF, que possuem significativa importância ao trabalho desenvolvido e que foram objeto de levantamento mais detalhado durante a sua realização.

5.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Ocupando uma área de 5.814 km², correspondendo a 0,06% da superfície do País, na região Centro-Oeste do Brasil (centro-leste do Estado de Goiás), o Distrito Federal é limitado pelos paralelos 15° 30' e 16° 30' sul, a leste pelo rio Preto (proximidade do meridiano 47° 18' WGr) e a oeste pelo rio Descoberto (aproximadamente 48° 17' WGr) - Figura 5.1.

Confronta-se, a leste, com o Município de Unai, pertencente ao Estado de Minas Gerais, e com os seguintes municípios do Estado de Goiás: a norte - Planaltina de Goiás, Padre Bernardo e Formosa; a sul - Luziânia, Cristalina, Santo Antônio do Descoberto e Cidade Ocidental; a leste - Formosa; e a Oeste - Santo Antônio do Descoberto e Padre Bernardo.

A área cujo mapeamento geotécnico foi realizado engloba atualmente 19 (dezenove) regiões administrativas (RAs) tendo, pela ordem numérica, as seguintes: Plano Piloto (Brasília - RA I), Gama, Taguatinga, Brazlândia, Sobradinho, Planaltina, Paranoá, Núcleo Bandeirante, Ceilândia, Guará, Cruzeiro, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Recanto das Emas, Lago Sul, Riacho Fundo, Lago Norte, Candangolândia (GDF, 1997a).

BRASIL

Figura 5.1 - Mapa de localização do Distrito Federal

Considerando sua importância no cenário geográfico, político e administrativo, o DF possui ligação com vários estados do País, através de um sistema de rodovias federais, dentre as quais se destacam: BR-010 (Belém/PA), BR-020 (Fortaleza/CE), BR-030 (Salvador/BA), BR-040 (Belo Horizonte/MG e Rio de Janeiro/RJ), BR-050 (São Paulo/SP), BR-060 (Goiânia/GO), BR-070 (Campo Grande/MS), além da BR-080 (Padre Bernardo/GO), BR-251 (Unai/MG) e BR-479 e, ainda, inúmeras rodovias distritais e estradas vicinais. Além deste grande sistema rodoviário, o DF dispõe de linha ferroviária ligando-o ao sul do País, como também de aeroporto internacional situado em Brasília.

5.2 GEOMORFOLOGIA

Com base em estudos desenvolvidos no Distrito Federal por diversos pesquisadores e apresentados em BRAUN(1971), ORELLANA(1976), AB'SABER(1977), IBGE(1977), EMBRAPA(1978), BRASIL(1982), MORAIS(1983), MARINI *et al.*(1984), CODEPLAN(1984), PINTO & CARNEIRO(1984) e PINTO(1986a, 1986b, 1987 e 1994a), dentre outros, individualizam-se três macrounidades geomorfológicas, que ainda hoje apresentam várias controvérsias quanto a suas gêneses.

Sabe-se, no entanto, que o DF se situa na porção mais elevada do Planalto Central, correspondente, segundo KING(1965), à parte remanescente do grande aplainamento resultante do ciclo de erosão sul-americano, ocorrido no Terciário Médio e Superior.

De acordo com AB'SABER(1977), as características geomorfológicas da paisagem do domínio morfoclimático do Cerrado resultam da interação de regime climático tropical semi-úmido com fatores litológicos, edáficos e biológicos.

Mais recentemente, PINTO & CARNEIRO(1984) e PINTO(1986a e 1987) definiram, para a região do Distrito Federal, unidades constituídas por extensos níveis planos a suaves ondulados, conhecidos como chapadas; por morros residuais em direção aos vales - os pediplanos e pedimentos; e por áreas entalhadas e dissecadas pelos rios da região.

Considerando as similaridades morfogenéticas, PINTO(1994a) subdividiu a área em três tipos de paisagem (macrounidades) características da região de cerrados, quais sejam: Região de Chapada, Área de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale, constituindo então um conjunto de treze unidades geomorfológicas que constituem geossistemas interrelacionados e hierarquizados, conforme ilustrado na Figura 5.2.

- Região de Chapada: ocupa cerca de 34% da área e é caracterizada por topografia plana a plano-ondulada, acima da cota de 1.000 metros, com destaque para a Chapada da Contagem, que praticamente contorna a Cidade de Brasília.
- Área de Dissecação Intermediária: perfaz cerca de 31% do Distrito Federal e corresponde às áreas de ocorrência de chapada retrabalhada por processos de pediplanação, sem no entanto perder suas características originais.
- Região Dissecada de Vale: cerca dos 35% restantes da região correspondem às depressões, onde as litologias apresentam resistências variadas e são ocupadas pelas principais drenagens da região.

Segundo PINTO(1987), tanto as chapadas como os pediplanos e pedimentos foram originados pelo aplainamento cenozóico. As primeiras chapadas foram modeladas por processos de etchiplanação durante o Terciário e os pediplanos e pedimentos, por processos iniciados no Plioceno e alternados durante o Quaternário por fases de dissecação ao longo dos vales

A altitude média da área mapeada está próxima a 1.100 metros, tendo o ponto mais elevado - Rodeador (noroeste do DF) - cerca de 1.349 metros do mar e o mais baixo 779 metros nas margens do ribeirão Água Doce ou Cafuringa.

Figura 5.2 - Unidades Geomorfológicas do Distrito Federal (PINTO, 1994a).

5.3 PEDOLOGIA

A classificação e caracterização das diversas unidades taxonômicas são aquelas propostas por EMBRAPA(1978) e HARIDASAN(1994), que identificam na área, por ordem de predominância espacial, os seguintes tipos pedológicos: latossolo vermelho-escuro, cambissolo, latossolo vermelho-amarelo, terra roxa estruturada similar, podzólico vermelho-amarelo, além de algumas manchas menores de solos hidromórficos, solos aluviais, areias quartzosas e brunizem avermelhado.

Os latossolos vermelho-escuros, latossolos vermelho-amarelos e cambissolos representam 86% do território. Ocupando cerca de 3.140 km² (aproximadamente 54% da área total) a classe dos latossolos é a mais extensa, caracterizada por solos profundos e bem drenados, restritos às porções do terreno que apresentam declividades entre 0 e 8%, e certamente os mais cultivados.

Os latossolos vermelho-escuros, segundo a EMBRAPA (1978), possuem horizonte A moderado e horizonte B latossólico, textura argilosa ou média e ricos em sesquióxidos, porosos, bastante permeáveis e fortemente drenados. Também são álicos e ácidos. O horizonte A tem espessura entre 20 a 50 cm, apresentando cor predominantemente bruno-avermelhada escura, com estrutura granular fraca a moderadamente desenvolvida, sendo friável a muito friável quando úmido. Apresenta cores no horizonte B com matiz 2,5YR ou mais vermelho, porém com valor inferior a 4.

A distinção entre os latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo está apenas relacionada à cor do horizonte B. Neste, as cores são vermelha à amarela, matiz 2,5 YR ou mais amareladas. Alguns perfis também podem apresentar caráter concrecionário e plântico.

Os cambissolos, via de regra, relacionam-se a declividades superiores a 8%, desenvolvem-se a partir de filitos, metassiltitos, xistos, ardósias e quartzitos, sendo solos pouco desenvolvidos, caracterizados por possuírem horizonte B câmbico, em que alguns minerais primários facilmente intemperizáveis ainda estão presentes.

Na região, as diferenças básicas entre os horizontes B câmbico e latossólico foram definidas em função da espessura quase sempre menor que 70 cm, textura mais grossa, saprólito com maior espessura e transições entre os horizontes A, B, C, claras e abruptas.

Os solos incluídos na classe Terra Roxa Estruturada Similar estão associados a declividades mais acentuadas, apresentam boas evolução e fertilidade, decorrendo da alteração de rochas calcárias.

Ao contrário dos latossolos, os solos podzólicos não se desenvolvem nas superfícies planas do DF, estando geneticamente correlacionados aos metassiltitos, ardósias e calcários.

Encontrados nos baixios topográficos, os solos hidromórficos sofrem incessante processo de redução química pela ação das águas, permitindo o desenvolvimento da matéria orgânica, sendo comuns as mudanças horizontais e verticais de suas características de hidromorfismo.

A Figura 5.3 exhibe a distribuição das principais e maiores unidades de solo do DF.

5.4 VEGETAÇÃO E USO DA TERRA

A maior porção deste ambiente, cerca de 90% do território, está situada no núcleo de um dos maiores domínios morfoclimáticos brasileiros - os Cerrados e, segundo EMBRAPA(1978), EITEN(1994) e FILGUEIRAS & PEREIRA(1994), a vegetação encontrada no DF compreende formações tipicamente de interflúvios, com os tipos floresta, cerradão, cerrado, campo cerrado, campo de várzea e campo higrófilo, com número extremamente elevado de espécies (acima de 3.500) e quantidade de indivíduos, fato relacionado, segundo DIAS(1992), à estreita correspondência entre a qualidade do solo e a resistência adquirida aos danos físicos e biológicos causados ao longo do tempo, sobretudo aqueles relativos à interação solo-umidade.

Figura 5.3 - Representação Genérica dos Solos do Distrito Federal (HARIDASAN, 1994).

Considerando todas as formas geográficas e de ocupação da paisagem, PINTO(1994b) subdividiu o DF em seis tipos fisionômicos que vão desde o cerrado natural até as áreas urbanizadas (Figura 5.4). A *Paisagem Natural* caracteriza-se pela apresentação típica da região morfoclimática Cerrado, com seus diferentes tipos de vegetação e está melhor representada nas unidades de conservação existentes na área.

Quando a ação antrópica é pouco marcante, provocando apenas pequenas alterações nos recursos biológicos pela retirada de elementos de cobertura (desmatamentos para cultivos, loteamentos e exploração de cascalho) e da fauna, passa a ser classificada como *Paisagem Seminatural*.

Outro tipo é a *Paisagem Florestada*, representada pela substituição da cobertura vegetal primária de mata ciliar ou cerrado, por espécies exóticas homogêneas. Quando a atividade antrópica, através da agropecuária, altera fortemente os recursos biológicos, com a retirada da vegetação natural e imposição de culturas cíclicas ou pastagens, a paisagem passa a denominar-se de *Agrícola*. Caracterizando a periferia das áreas urbanas de todo o DF, sobretudo com a implantação de vias de acesso e de expansão urbana, tem-se a *Paisagem de Espaços Abertos*.

Finalmente, a Paisagem Urbanizada retrata a forte intensidade de ocupação antrópica, com a utilização completa (ou quase) dos recursos biológicos, para implantação de Brasília e cidades-satélites do Distrito Federal.

A Tabela 5.1 sintetiza as principais características do DF apresentadas anteriormente (Geomorfologia, Solo e Vegetação), correlacionando-as entre si.

5.5 CLIMA

Os dados sobre a temperatura do ar e precipitação média mensal foram obtidos em EMBRAPA(1978), CARNEIRO(1984), SILVA(1992) e MENDONÇA(1993), que caracterizam a região como tendo regime pluviométrico onde o trimestre mais chuvoso é novembro-janeiro, concentrando 47% da precipitação anual, e tendo a maior média máxima em dezembro, com 240 mm.

Figura 5.4 - Paisagens do Distrito Federal (PINTO, 1994b).

Tabela 5.1 - Características das principais unidades geomorfológicas do Distrito Federal.
Adaptado de PINTO(1994a).

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	AREA TOTAL		CARACTERÍSTICAS		
	km ²	%	Declividade (%)	Solo	Vegetação
• <i>Região de Chapada</i>	1.969	33,8			
- Chapada da Contagem	1.028	17,7	0 - 8	LE; LV; CD; AQ	Cerr. Típico; Cerr. Denso.
- Chapada de Brasília	202	3,5	0 - 8	LE	Camp. Limpo; Cerr. Típico; Cerr. Denso.
- Chapada do Pípiripau	445	7,7	0 - 8	LE; CD	Cerr. Típico; Cerr. Denso.
- Chapada Div. S. Bartolomeu-Preto	188	3,2	0 - 8	LV; CD	Camp. Limpo; Cerr. Típico; Cerr. Denso.
- Chapada Div. Descoberto-Alagado	105	1,8	0 - 8	LE; LV; CD	Camp. Sujo; Cerr. Típico.
• <i>Area de Dissecção Intermediária</i>	1.793	30,9			
- Depressão do Paranoá	726	12,5	0 - 45	LE; CD; HI; AL	Camp. Limpo; Cerr. Denso; Fl. de Várzea.
- Vale do Rio Preto	1.067	18,4	0 - 20	LE; CD; HI; AL; AQ	Cerr. Típico; Cerr. Denso; Fl. de Várzea.
• <i>Região Dissecada de Vale</i>	2.053	35,5			
- Curso Sup. do Rio Maranhão	574	9,9	8 - 45	LE; Pd; TR; CD; HI; AL	Camp. Sujo; Cerr. Típico; Cerr. Denso; Mata Mesofítica.
- Alto Curso do Rio S. Bartolomeu	270	4,6	8 - 45	LE; LV; CD; HI; AL; AQ	Camp. Limpo; Cerr. Típico; Cerr. Denso; Fl. de Várzea.
- Curso Sup. do Rio S. Bartolomeu	608	10,5	8 - 45	LE; LV; Pd; TR; CD; HI	Camp. Sujo; Cerr. Típico; Cerr. Denso
- Alto Curso do Rio Descoberto	237	4,1	0 - 8	LE; LV; CD; HI; AQ	Cerr. Típico.
- Curso Sup. do Rio Descoberto	270	4,6	8 - 45	LE; LV; CD; HI	Camp. Limpo; Camp. Sujo; Cerr. Típico.
- Alto Curso do Rio Alagado	94	1,6	8 - 45	LE; LV; CD; HI	Camp. Limpo; Cerr. Típico; Cerr. Denso.
TOTAL DO DISTRITO FEDERAL	5.814	100,0			

LEGENDA:

LE - Latossolo Vermelho-Escuro
LV - Latossolo Vermelho-Amarelo
CD - Cambissolo
AQ - Areia Quartzosa

HI - Solo Hidromórfico
AL - Solo Aluvial
TR - Terra Roxa Estruturada Similar

Cerr. - Cerrado
Camp. - Campo
Fl. - Floresta

O inverno é extremamente seco, sobretudo no trimestre junho-agosto, com apenas 2% das chuvas acumuladas, destacando-se o mês de julho com média de 5,9 mm.

As médias mensais da temperatura nos meses mais quentes dos períodos chuvoso e seco (março e setembro) é de 21,5 °C e 22,2 °C, respectivamente. Para os meses mais frios dos mesmos períodos (chuvoso e seco) em janeiro a média é de 21,1 °C e junho é 17,8 °C.

Em julho de 1980, foi registrado o máximo de insolação (horas de brilho solar) em um mês, com 302,2 horas e o mínimo ocorreu em novembro/1976 com apenas 78,5 horas. Tal comportamento é inverso ao da umidade relativa do ar, que nos meses de maior nebulosidade (e chuvosos) exibe média mensal de 73% e, durante o inverno, diminui para abaixo dos 50%.

Na classificação do tipo climático, segundo o sistema de KÖEPPEN (GDF, 1997b), o clima do Distrito Federal é tropical concentrando-se no verão as precipitações. O período mais chuvoso corresponde aos meses de novembro a janeiro e o período seco ocorre no inverno, especialmente nos meses de junho a agosto.

Conforme a classificação de KÖEPPEN, observam-se os seguintes tipos climáticos:

- Tropical (Aw) - Temperatura, para o mês mais frio, superior a 18 °C. Situa-se, aproximadamente, nas áreas com cotas altimétricas abaixo de 1.000 metros (bacias hidrográficas dos rios São Bartolomeu, Preto, Descoberto/Alagado e Maranhão).
- Tropical de Altitude(Cwa) - Temperatura, para o mês mais frio, inferior a 18 °C, com média superior a 22 °C no mês mais quente. Abrange aproximadamente as áreas com cotas altimétricas entre 1.000 e 1.200 metros (unidade geomorfológica: Pediplano de Brasília).

- Tropical de Altitude (Cwb) - Temperatura, para o mês mais frio, inferior a 18 °C, com média inferior a 22 °C no mês mais quente. Corresponde às áreas com cotas altimétricas superiores a 1.200 metros (unidade geomorfológica: Pediplano Contagem/Rodeador).

Acham-se condensadas na Tabela 5.2 algumas das características climáticas do Distrito Federal, incluindo a amplitude (percentual) entre os valores mínimos e máximos observados e as máximas precipitação e temperatura registradas entre os anos de 1980-1992, pela estação meteorológica de Brasília.

Tabela 5.2 - Características climáticas do DF. Modificado de AGUIAR(1994).

FATORES CLIMÁTICOS	VALORES MENSAIS			MÁXIMA 24 HORAS	AMPLITUDE (%)
	Mínimo	Média	Máximo		
Precipitação (mm)	5,9	116,9	240,0	131,0	3.968
Temperatura (°C)	6,1	21,4	32,7	33,0	436
Umidade (%)	49,0	68,0	73,0		49
Velocidade do Vento* (m/s)	0,5	0,9	1,1		120
Insolação (horas/mês)	135,3	199,8	270,7		100
Radiação (cal/cm ² .dia)	362,5	392,5	404,4		12
Evaporação (mm/mês)	88,9	137,6	197,0		122

* Velocidade à 2,0 metros de altura do solo

5.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Em uma visão global, a totalidade dos rios da área são tipicamente de planalto, caracterizados pela presença de rios rápidos, corredeiras e quedas d'água; têm regime perene e pertencem às bacias hidrográficas do São Francisco, do Tocantins (bacia Amazônica) ou do Paraná (bacia Platina) - CODEPLAN(1984).

Em geral os divisores das águas superficiais do DF estão em altitude oscilando entre os 1.200 e 1.300 metros, caracterizando-se por vertentes formadas por chapadões, na separação entre as bacias Amazônica e do Paraná e de serras entre esta última e a do São Francisco.

Os cursos d'água do Distrito Federal apresentam características típicas de drenagem de área de planalto, onde são freqüentes desníveis e vales encaixados. Sua rede de drenagem, na qual predominam os cursos d'água perenes, é constituída de quatro bacias hidrográficas principais e diversas bacias secundárias (ou sub-bacias) delimitadas por seus respectivos divisores de água.

Por ordem de grandeza, apresenta-se primeiramente a bacia do Paraná, com aproximadamente 3.634 km², cerca de 63% do território do DF, constituída por três sub-bacias - as dos rios Descoberto, São Bartolomeu e Ponte Alta - responsáveis por descarga de 45 m³/segundo. Dessas, destaca-se, por possuir maior área, a do rio São Bartolomeu que nasce ao norte do Distrito Federal e corre no sentido norte/sul, drenando todo o seu trecho central.

Em seguida, drenando área próxima aos 1.407 km², tem-se a bacia do São Francisco, com vazão de 55 m³/segundo, e apenas uma sub-bacia, a do rio Preto (limite leste do DF).

Ocupando a porção noroeste com 13% da área total (750 km²), aparece a bacia do Tocantins, formada pela bacia do rio Maranhão.

Entre as sub-bacias secundárias, destaca-se a do Paranoá, onde está situado o lago do Paranoá. Estas pequenas bacias são alimentadas não apenas pelas nascentes dos cursos principais, mas também por numerosos pequenos cursos de 1ª ordem.

Pela classificação genética dos cursos d'água (MILLER & MILLER, 1961), poder-se-ia enquadrá-los, de modo geral, nos tipos subseqüentes (desenvolvidos ao longo de linhas de fraqueza estrutural) e conseqüentes (acompanhando a pendência topográfica provocada pelas discontinuidades dos pacotes). O modelo de drenagem, via de regra, é dendrítico com trechos de significativa retilinearidade, percebendo-se uma forte simetria dos afluentes.

As maiores densidades de drenagens estão situadas, pela ordem, nas sub-bacias do rio Maranhão, nas sub-bacias do Médio e Baixo São Bartolomeu e na sub-bacia do Baixo Descoberto. As sub-bacias do Alto São Bartolomeu e as do rio Preto são as que apresentam a menor densidade.

Segundo ROCHA(1994), se fazem presentes no Distrito Federal quatro barragens formando reservatórios artificiais, que representam o maior volume de água acumulada na região : Lago Paranoá - aproximadamente 40 km² e volume de 560 x 10⁶ m³; Lago Santa Maria - com 8 km² de superfície e volume de 80 x 10⁶ m³; Lago do Descoberto - cujo volume atinge 560 x 10⁶ m³ compreendidos em 15 km² de espelho d'água; e, finalmente, lagoas de estabilização - suas águas são conduzidas para alguns ribeirões. Os lagos e lagoas naturais representam parcela muito pequena de corpos d'água, com destaque para as lagoas Bonita, Joaquim Medeiros, Carás e um pequeno lago no setor norte de Brasília.

Dentro em breve, o volume de água acumulada será aumentado com o represamento do rio São Bartolomeu para a formação do Lago São Bartolomeu, que passará a integrar o sistema de abastecimento de água do DF.

O mapa da Figura 5.5 retrata as divisões das bacias e sub-bacias do DF com seus principais tributários, de acordo com SEMATEC(1994).

5.7 ASPECTOS DA OCUPAÇÃO E AMBIENTAIS

Desde 1761, através de manifestações do Marquês de Pombal, já havia proposta de mudança da Capital Federal, mas foi em 1823 que José Bonifácio Andrada e Silva alertava para a necessidade da interiorização do País, sugerindo o nome de Brasília para a nova Capital.

No artigo 3º da Constituição Federal de 1881 estava estabelecida a transferência da Capital para o Planalto Central, ocasião em que foi criada uma comissão para promover estudos visando a demarcação da área do futuro Distrito Federal. A Comissão chefiada pelo astrônomo Luís Cruls, elaborou o Relatório Cruls (CRULS, 1995), delimitando o Quadrilátero Cruls e que se transformou em um dos principais referenciais históricos do DF.

Nos primeiros anos da década de 50 é que foram empreendidas ações concretas para a mudança da Capital, inicialmente com a contratação de uma firma norte-americana, a *Donald J. Belcher and Associates*, para proceder amplo diagnóstico de área com aproximadamente 50.000 km² na região do Planalto Central.

No Relatório Belcher (BELCHER *et al.*, 1995) estão definidos cinco sítios, estudados detalhadamente, considerando-se suas aptidões para urbanização, agricultura, exploração mineral. Formula recomendações especiais quanto à proteção das nascentes e dos cursos d'água, indicando susceptibilidades dos solos do Distrito Federal à erosão e recomendando técnicas construtivas para implantação de estradas, visando prevenir futuros processos de erosão acelerada. Esse trabalho foi, portanto, o primeiro mapeamento geotécnico realizado no Brasil.

Com base nesse relatório, em 16 de março de 1957, foi homologado o resultado do concurso realizado pela NOVACAP, ganho pelo arquiteto Lúcio Costa, para o Plano Piloto de Brasília, que foi implantado no Sítio Castanho de Belcher.

A partir de sua inauguração, o DF vem experimentando extraordinário crescimento populacional, muito maior do que todas as estimativas (acima dos 2,5% anuais), contando atualmente com cerca de 1.870.000 habitantes - GDF(1997).

Somado a esse número excessivo, que gera uma densidade demográfica de quase 300 habitantes por km², as áreas degradadas vêm proliferando e se concentrando principalmente na Bacia do Rio Preto, na Área de Proteção Ambiental (APA) de São Bartolomeu e nas proximidades de Brasília e Brazlândia, quase equivalendo aos núcleos urbanos já consolidados. Essa artificialização da paisagem vem sendo se processando sem a exploração racional dos recursos ambientais.

Há prática abusiva de desmatamentos e queimadas nos espaços agrícolas, cuja estrutura fundiária concentra grandes áreas em pequeno número de propriedades. Aproximadamente, 80% da área rural é constituída por propriedades rurais acima de 100 ha, cujas principais atividades são a pecuária e agricultura (monoculturas). As propriedades menores geram grande parte dos produtos hortifrutigranjeiros.

Muitos dos rios que drenam o DF se encontram completamente poluídos, sobretudo aqueles próximos aos núcleos urbanos e às áreas rurais com intensa produção agrícola. Em decorrência do desmatamento, alguns apresentam erosão das margens e assoreamento, outros exibem ocupação antrópica intensa em suas nascentes, agravando a qualidade de suas águas.

Ao contrário dos lagos artificiais Santa Maria e Descoberto que têm finalidade de abastecimento doméstico, o lago Paranoá recebe pesada carga de poluentes (materiais sólidos, nutrientes orgânicos e elementos tóxicos), já sofrendo problemas de assoreamento, poluição e eutrofização.

Devido à velocidade e equívocos em sua ocupação territorial, apesar de dispor desde a fase anterior a sua implantação, de subsídios para evitar problemas ambientais, Distrito Federal hoje já apresenta alguns níveis de degradação ambiental, que começam a comprometer a qualidade de vida de sua população e alguns setores econômicos.

Excetuando-se as unidades de conservação de uso mais restritivo, grande parte das áreas naturais e semi-naturais vêm experimentando rápido processo de transformação, que geralmente traz como consequência a degradação ambiental, tanto urbana quanto rural.

Conforme verificado em CODEPLAN(1992), no âmbito do DF pode-se detectar a presença de vinte e uma unidades de conservação, sendo duas estações ecológicas, três reservas ecológicas, quatro) parques, cinco áreas de proteção ambiental, quatro áreas de relevante interesse ecológico, dois jardins (Tabela 5.3).

Quando comparado aos grandes centros urbanos do País, o Distrito Federal possui condições ambientais favoráveis, porém alguns processos de degradação vêm colocando em risco a qualidade de vida de parte de seus moradores, com destaque aos seguintes problemas:

Tabela 5.3 - Aspectos básicos das unidades de conservação do Distrito Federal.
(Adaptada de CODEPLAM, 1992).

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (U.C.)	TIPO	ÁREA (KM ²)	RELAÇÃO AO DF (%)	RELAÇÃO À U.C. (%)
USO INDIRETO	Estação Ecológica	139,92	2,41	28,55
	• Águas Emendadas	100,00	1,72	71,47
	• Jardim Botânico	39,92	0,69	28,53
	Reserva Ecológica	16,43	0,28	3,35
	• IBGE	13,60	0,23	82,78
	• Guará	1,47	0,03	8,95
	• Gama	1,36	0,02	8,27
	Parque	304,42	5,24	74,41
	• Nacional de Brasília	300,00	5,16	98,55
	• Ecológico Norte	1,76	0,03	0,58
	• Boca da Mata	2,66	0,05	0,87
	Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE	29,34	0,50	5,99
	• Paranoá Sul	1,44	0,02	4,90
USO DIRETO	• Capetinga/Taquara	21,00	0,36	71,57
	• Taguatinga/Cortado	2,10	0,04	7,16
	• Santuário de Vida Silvestre do Riacho Fundo	4,80	0,08	16,37
	SUB-TOTAL	490,11	8,43	20,10
	Área de Proteção Ambiental - APA	1.942,00	33,40	99,66
	• Rio São Bartolomeu	841,00	14,46	43,31
	• Rio Descoberto	391,00	6,72	20,13
	• Bacias do Gama/Cabeça-de-Veado	250,00	4,30	12,87
	• Cafuringa	300,00	5,16	15,45
	• Lago Paranoá	160,00	2,75	8,24
USO DIRETO	Jardim	6,60	0,11	0,34
	• Botânico de Brasília	5,60	0,10	84,85
	• Zoológico de Brasília	1,00	0,01	15,15
	SUB-TOTAL	1.948,60	33,52	79,90
	TOTAL	2.438,71	41,95	100,00

Lixo - tanto a produção quanto a disposição constituem-se principais fatores de degradação ambiental no Distrito Federal, com cerca de 1.630 toneladas diárias de lixo, correspondendo a aproximadamente 42.630 toneladas/mês; dessa quantidade aproximadamente 25 toneladas/dia são de origem hospitalar.

Vários problemas referentes ao lixo são agravados com o crescimento do volume de entulhos, que aumentam a demanda de coleta, renovação e destinação final, acentuando cada vez mais a necessidade de implantar a reciclagem desses rejeitos.

O maior impacto ambiental causado pelo lixo no DF decorre dos locais para destinação final dos resíduos. São apenas três as alternativas oficiais: usina de Ceilândia, usina do Lago Sul e o aterro do Jockey Clube (Figura 5.6); as demais são reconhecidamente clandestinas; para a disposição de entulhos, muitas áreas são usadas dentro e fora do Plano Piloto, indiscriminadamente, até mesmo com indicações pelo poder público (pouco recomendáveis), como se pode constatar na Figura 5.7.

Qualidade do ar - apesar de possuir condições favoráveis, essa situação é ameaçada por algumas características da região como: clima, principalmente durante a estação seca; alto índice de veículos por habitante existente; redução da cobertura vegetal, sobretudo pelas queimadas.

Erosão - desmatamento, decapeamento do solo (zonas de empréstimo para construções), construção sobre encostas, loteamento em áreas sem infraestrutura urbana, esgotos pluviais, cultivo inadequado, expansão urbana em direção a declives acentuados, aumentam a ação do escoamento superficial e, por conseguinte, intensificam o processo erosivo. Mais recentemente, MORTARI(1994) chama atenção para a urgência de se priorizar este problema tão preocupante no DF.

Redução da Biodiversidade - a preservação da biota nativa vem sendo cada vez mais dificultada em função da drástica e progressiva diminuição dos seus espaços naturais.

Figura 5.6 - Aterro do Jôquei Clube que recebe quase a totalidade do lixo produzido no Plano Piloto (Ponto RA-367).

Figura 5.7 - Placa sinalizadora para disposição de resíduos em erosão situada às margens da rodovia DF-290 (Ponto RA-498).

Recursos Hídricos - Os mananciais hídricos superficiais disponíveis no DF estão enfrentando problemas graves de poluição, devido à emissão de efluentes líquidos domésticos e industriais [dos 240 milhões de litros diários de esgotos produzidos, pouco mais da metade (52,5%), são tratados nas sete estações existentes] - GDF(1997c), contaminação por agrotóxicos e por diversos tipos de resíduos sólidos, assoreamentos decorrente de erosões, diminuição dos volumes de água causada pelo desmatamento e impermeabilização do solo.

Atividades Extrativas e Industriais - a necessidade de crescimento econômico tem fomentado alguns ramos de atividade à busca de exploração exacerbada dos recursos naturais, provocando degradações ambientais e/ou elevando a carga de poluição; esse é o caso de certas indústrias (agro-indústriais, fábricas de cimento, metalúrgicas, etc.) e do setor mineral, que com frequência desenvolvem seus trabalhos clandestinamente, sem considerar os padrões e normas de qualidade ambiental.

Transporte - o processo de urbanização do DF, onde as grandes distâncias para o deslocamento de seus habitantes é uma constante, implica no crescente aumento da frota de veículos em circulação, provocando dessa forma impactos ambientais sobretudo pela emissão de gases e ruídos, o primeiro agravado no inverno (estação seca) pelas inversões térmicas.

Ocupação Desordenada - a primeira idéia de um Plano Piloto cercado por um cinturão verde e cidades-satélites com autonomia começou a causar uma dicotomia desde o início da ocupação do território, onde todo o planejamento não suportou/controlou a ocupação fora do processo oficial; muitos dos núcleos urbanos criados antes de 1977 passaram à margem de um ordenamento territorial integrado. Desde essa época, as sucessivas edições do PEDOT/DF - Plano Estrutural de Organização Territorial do Distrito Federal vêm sofrendo problemas para suas implementações (o PEDOT de 1977 somente foi implantado oito anos após).

Somado ao agravamento do déficit habitacional, o crescimento demográfico sobrecarrega os núcleos implantados e vem incrementando o número de ocupações irregulares, contribuindo no aumento dos problemas ambientais (tanto no meio físico quanto nos meios biológico e sócio-econômico) por quase todo o DF. Diante disso, os conflitos pela posse da terra são inevitáveis (Figura 5.8).

Figura 5.8 - Conflito entre o poder público e posseiros na invasão de lotes em Samambaia ocorrido em 02.07.96 (Ponto RA-473).

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT, previsto na Lei Orgânica do DF, que vêm sendo revisto desde março de 1995 e está em vias de aprovação, define macrozonas com usos e diretrizes distintos. Apesar de não ter sido precedido de levantamentos de informações detalhadas do meio físico, pois o zoneamento econômico-ecológico, até março/1997, ainda se encontrava na fase de concorrência pública para atendimento ao edital do Termo de Referência, são estabelecidas três zonas urbanas e três rurais. As áreas de diretrizes especiais compõem-se em área especial de proteção e área de monitoramento prioritário. O mapa da Figura 5.9 apresenta o macrozoneamento proposto no PDOT (IPDF, 1996).

Figura 5.9 - Mapa do macrozoneamento proposto para o DF pelo Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal (IPDF, 1996)

6. PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS

Foram confeccionados 14 documentos cartográficos, dentre os quais dois se caracterizam como auxiliares (mapas de documentação: de dados existentes e de dados produzidos), sete como básicos fundamentais, dois de caráter intermediário/complementar (combinação de atributos) e três de maior expressividade, face ao objetivo final deste trabalho (cartas de vulnerabilidade do meio físico - um exemplar considerando a profundidade do nível hidrostático e o outro não - e a carta de Zoneamento Geotécnico Geral como derivados/interpretativos).

A base utilizada foi o mapa planimétrico do DF em formato digital, na escala 1:100.000, integrante do Sistema Cartográfico do Distrito Federal, produzido e gentilmente cedido pela CODEPAM.

Todos estes documentos foram elaborados na escala 1:100.000, nível de detalhamento do presente estudo; apenas os mapas de documentação são apresentados na escala original, os demais encontram-se na escala 1:250.000.

6.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXOS I e II)

Esse produto cartográfico consiste em um mapa planimétrico da área, no qual são locadas as informações de interesse ao mapeador e usuários; é de suma importância para a compreensão dos aspectos inerentes ao mapeamento geotécnico encontrados e para a confecção e entendimento dos demais documentos cartográficos. Registra todos os locais de observações, qualitativas e/ou quantitativas, diferenciando as maneiras como foram obtidas as informações.

Foram confeccionados em dois tipos para melhor visualização: no primeiro (ANEXO I) constam dados planimétricos básicos (rede de drenagem, áreas de ocupação urbana, obras viárias e outros) e informações dos diferentes pontos de amostragens realizadas em trabalhos anteriores, que totalizam 556 resultados de ensaios de interesse ao mapeamento geotécnico, constando de:

- 65 perfis de solos da EMBRAPA - **(E)**;
- 69 sondagens de simples reconhecimento com SPT, executadas por diferentes empresas - **(P)**;
- 422 pontos de amostragens; sendo:
 - * 254 locais de investigações do DER-DF em subleito - **(D)**;
 - * 95 em cascalheiras exploradas pelo DER-DF - **(C)**;
 - * 53 amostras de DUARTE(1992) - **(KD)**; e
 - * 20 ensaiadas por ROMÃO(1995) - **(PR)**.

Convém ressaltar que os pontos de localização das 392 cacimbas, 129 fontes, 155 poços profundos e 19 outras sondagens rasas não foram registrados neste documento (695 pontos), pois dificultariam a clareza do mesmo, além do que foram utilizados apenas para a determinação do nível hidrostático e da espessura do material inconsolidado.

Quanto ao outro documento (ANEXO II), encerra os pontos de observações e amostragens realizados no decorrer do presente trabalho totalizando, no geral, 808 pontos de observação e descrição **(RA)**, dos quais 91 com amostragem (94 amostras de materiais inconsolidados).

Para facilitar a localização dos pontos, estes se apresentam com ordenamento seqüencial de oeste para leste em todo o mapa, iniciando a partir do norte - sentido anti-horário (exceto na quebra provocada pela tardia autorização para as observações no Parque Nacional de Brasília).

Como se pode notar, a quantidade de observações quantitativas alcança os 1.411 pontos (coletados e produzidos), ou seja, quase quatro a cada 15 km² e 808 pontos de descrição (2/ 15 km²), resultando em aproximadamente 6 pontos de observações qualitativas e quantitativas para cada 15 km² do Distrito Federal, atendendo-se, dessa forma o número mínimo proposto pela metodologia aplicada.

6.2 CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO III)

Elaborada manualmente a partir de bases topográficas 1:100.000, folhas SD-22-Z-D-VI, SD-23-Y-C-IV e V, SE-22-X-B-II, SE-23-V-A-I e II (DSG-ME, 1985), esta carta tem papel de relevante significância para a confecção de outras; no caso deste mapeamento, participou como decisiva na definição das unidades geotécnicas constantes das cartas de vulnerabilidade do meio físico e de zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal.

Os intervalos das classes de declividade estabelecidas neste mapeamento são os propostos pela metodologia de ZUQUETTE (1987) para a escala deste trabalho e se comportam como satisfatórios face à conformação geral do relevo - variando de plano à escarpado.

As cinco classes de declividade representadas são as seguintes: 0 a 2%; 2 a 5%; 5 a 10%; 10 a 20% e maior do que 20%.

Todos os intervalos apresentam grande representatividade no DF, ocorrendo apenas a maior concentração de uns sobre os outros em determinadas porções, decorrente da variabilidade geomorfológica.

O menor intervalo definido (0 a 2%) está presente em todos os quadrantes da área, quer correspondendo às margens dos maiores rios, quer definindo encostas pedimentadas de perfis predominantemente côncavos. Tal classe ocupa aproximadamente 1.145 km² (cerca de 20 % da área).

Tendo em vista a característica geomorfológica da região estudada, como não poderia deixar de ocorrer, os intervalos entre 2 a 5% e 5 a 10% predominam sobre os demais; somados correspondem a quase 52% (pouco mais de 3.000 km²) da superfície do DF; o primeiro é mais expressivo, conta com 27,2% da área e o outro com 24,5%; a exemplo da classe de 0 a 2%, também encontram-se marcando boa parte das regiões de dissecação intermediária e de chapada, onde sobressaem-se as encostas de perfis côncavos.

As declividades altas, entre 10 a 20%, se distribuem por quase toda a região (aproximadamente 12% do total), mas se concentram especialmente nas regiões dissecadas de vales (porções sul, sudoeste e noroeste), próximas dos divisores de drenagem, sem no entanto apresentarem possíveis correlações com a litologia e/ou tipos e espessuras dos materiais inconsolidados. Nota-se contudo, que apesar deste intervalo estar presente em locais onde ocorrem todas as unidades litoestratigráficas, desenvolve-se mais sobre litologias do Grupo Canastra.

Declividades maiores que 20% ocorrem especialmente nas mesmas porções da classe imediatamente inferior; mostram distribuição regular e normalmente estão associadas aos aprofundamentos dos vales menores e às encostas íngremes dos rebordos estruturais das chapadas, adaptados a descontinuidades tectônicas. Ocupam 514 km² (quase 9% da região).

6.3 MAPA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL HIDROSTÁTICO (ANEXO IV)

A hidrogeologia local tem merecido, até o presente, atenção em alguns trabalhos, podendo-se citar ROMANO & ROSAS(1970), BARROS(1984, 1986 e 1994), CAESB(1987), SILVA(1992), MENDONÇA(1993), AMORE(1994), MORTARI(1994), dentre outros que aceitam a divisão dos sistemas de aquíferos nos tipos poroso e fissural.

Para a confecção do mapa de profundidade do nível hidrostático, utilizaram-se os dados de 392 cacimbas, 129 fontes, 155 poços profundos e 88 (69 SPT e 19 outros tipos) sondagens rasas, totalizando 764 pontos de informação.

Com a elaboração de uma tabela, onde constam coordenadas UTM's, cota altimétrica do terreno e nível hidrostático, foi possível a determinação da profundidade em cada ponto; a partir disso, foi utilizado o programa *Surfer* na confecção do MNT da superfície hidrostática, pelo método da krigagem. Com o modelo pronto, foi feita a exportação do arquivo ASCII para o SGI, onde foi possível gerar a imagem e estabelecer as cinco classes adotadas para a confecção deste mapa, quais sejam: 0 a 1 metro, 1 a 3 metros, 3 a 10 metros, 10 a 30 metros e acima de 30 metros.

O intervalo de maior predominância areal no DF é o de 3 a 10 metros, com aproximadamente 2.315 km² (quase 40% da área mapeada), seguida pelo de 10 a 30 metros (34,6%), 1 a 3 metros (9,2%), maior que 30 metros (4,91%) e, finalmente o de 0 a 1 metro com apenas 3,8% (218 km²).

É importante salientar que o contorno geral das classes certamente requer cuidados especiais pois, além da resolução espacial adotada (50 metros) não foi feita distinção clara, e de extrema necessidade, sobre o período da leitura dos níveis hidrostático (se estação seca ou chuvosa). Há ainda o fato da profundidade do nível hidrostático não ter sido estabelecida a partir da interpolação das cotas do mesmo, para então ser elaborado o MNT de isocotas, a ser subtraído do MNT da superfície do terreno (o que seria mais aconselhável). Portanto, tal documento cartográfico deve ser analisado com a devida cautela; no entanto, serve para se ter uma idéia do comportamento geral das profundidades dos aquíferos.

Pelo comportamento geral do nível hidrostático, onde ocorrem variações (horizontais e verticais) bruscas e marcantes, especula-se ser esta região um divisor de grandes aquíferos subterrâneos regionais, servindo de recarga para os mesmos e proporcionando a formação das habituais concreções lateríticas residuais.

A seguir, são enfocadas sucintamente algumas características dos dois domínios de aquíferos do Distrito Federal.

6.3.1 Aquífero do Sistema Poroso

Durante a pedogênese dos materiais inconsolidados residuais, ocorreram significativas alterações e mobilizações de partículas, fato que propiciou aumento expressivo dos vazios das rochas-matrizes. Os solos retrabalhados, por suas características deposicionais, também apresentam índices de vazios igualmente grandes. Tais materiais formam o sistema aquífero poroso (ou tipo livre) onde a realimentação ocorre diretamente pela precipitação pluviométrica, o fluxo é laminar, as distribuições lateral e vertical são regulares e as permeabilidades variam entre 10^{-3} a 10^{-5} cm/s.

Tem importância hidrogeológica pouco expressiva, com poços cujas vazões dificilmente são superiores à 1,0 m³/hora.

Para este aquífero, AMORE(1994) indica uma condutividade hidráulica média de $6,8 \cdot 10^{-3}$ cm/s, entre valores extremos de $2,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s até $4,0 \cdot 10^{-2}$ cm/s; considerado-se uma espessura saturada média da ordem de 15 metros, a transmissividade média seria 10 cm²/s. O coeficiente de porosidade efetiva é estimado na ordem de 10%.

Este sistema ocorre sob duas formas comuns no DF, a primeira relacionada ao campo de murundus, onde se dá a surgência da água na superfície em inúmeros montículos (Figura 6.1); a outra diz respeito ao fluxo concentrado que origina aberturas em formato de tubo, possivelmente decorrente da interseção de duas ou mais descontinuidades reliquias, que geram um conduto horizontal a subhorizontal.

Predominam neste domínio as profundidades do nível hidrostático inferiores à 10 metros, particularmente as do intervalo entre de 3 a 10 metros.

Figura 6.1 - Vista aérea do campo de murundus na nascente do córrego do Acampamento (Ponto RA-734).

6.3.2 Aquífero do Sistema Fissural

É o principal aquífero, onde percolam anualmente cerca de $1,2 \times 10^6$ m³ de água e funciona como caixas d'água de grandes dimensões. O substrato rochoso de domínio fissural, conforme será verificado no tópico seguinte, é compreendido por duas unidades litoestratigráficas distintas, os grupos Canastra e Paranoá. Quase sempre, as profundidades do nível hidrostático ultrapassam os 10 metros, sendo freqüentes as classes de 10 a 30 metros e maior que 30 metros.

Apesar de incluir várias fácies, as mesmas foram agrupadas em função de seu comportamento hidrogeológico, pois não exibem diferenciações consideráveis na escala desse trabalho.

A fácies Pelito-Carbonatada está situada em locais com baixa capacidade de infiltração, em decorrência das altas declividades ou pelo material inconsolidado de baixa permeabilidade que a sobrepõe. Segundo SANTOS(1989), apresentam baixa potencialidade hidrogeológica, pois as capacidades específicas giram em torno de $0,1 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ a $0,8 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$.

Para o Metarritmito Argiloso, os ensaios de bombeamento indicaram condutividade hidráulica de $1,15 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$ e capacidade específica da ordem de $1,1 \text{ (cm}^3/\text{s)/cm}$, em poços de rendimento normalmente baixo.

Os quartzitos, quando bem selecionados e silicificados, destacam-se pelo grau de fraturamento. São os melhores aquíferos da área tanto em armazenamento quanto em vazão específica. As condutividades hidráulicas ficam entre $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ e $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$, e as capacidades específicas médias situam-se na faixa de $0,2 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ a $3,0 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$, as vezes atingindo valores em torno de $20 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ (SANTOS, 1989).

Os metassiltitos apresentam condutividade hidráulica de $1,15 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$ e capacidade específica da ordem de $0,04 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$. Adquirem maior importância hidrogeológica quando apresentam bancos de quartzitos com lineamentos estruturais significativos, que podem provocar a elevação dos índices de condutividade hidráulica do aquífero para valores de até $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$ e capacidade específica próximo à $10 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$.

As ardósias, por seu comportamento dúctil e em decorrência da baixa densidade de pequenos lineamentos, apresentam baixo potencial hidrogeológico. Os testes de bombeamento indicam valores de condutividade hidráulica em $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$ e de capacidade específica em $0,05 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$.

Mesmo exibindo elevada densidade de fraturas, os litótipos do Grupo Canastra geralmente apresentam preenchimento dessas com o aumento da profundidade, em função da plasticidade dos constituintes mineralógicos de granulometria fina. Quando ocorre a melhoria da capacidade de estocagem da água, é devido às intercalações de lentes de quartzitos fraturados ou à dissolução nas lentes carbonáticas.

As capacidades específicas expõem valores entre 0,1 (m³/h)/m e 0, 6 (m³/h)/m e, em raros casos, de até 8,33 (m³/h)/m, isto para os poços em atividade, uma vez que é alto o índice de poços abandonados.

6.4 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO V)

A interpretação que se deu à geologia da área permitiu a delimitação das unidades do substrato rochoso, observadas no Anexo V, que serão descritas com base nos dados de campo, somados aos de trabalhos anteriores e perfis de perfurações, alicerçados também na petrografia macroscópica.

Adotou-se o termo mapa do substrato rochoso para apresentar mais claramente a variação, em subsuperfície, das unidades geotécnicas, na medida em que tal documento representa litologias aflorantes e/ou que se encontram recobertas por materiais inconsolidados, residuais ou não.

6.4.1 Litoestratigrafia

O conhecimento geológico do Distrito Federal vem sendo, nos últimos 30 anos, alvo de inúmeros trabalhos locais e regionais, dentre os quais poder-se-iam destacar: BELCHER *et al.*(1953), RAMOS(1956 e 1959), ALMEIDA(1967), BARBOSA *et al.*(1961), BRAUN(1968), BARBOSA *et al.*(1969), DARDENNE(1978a e 1981), SHOBHENHAUS *et al.*(1984), DARDENNE & FARIA(1985), FARIA(1988, 1989 e 1995), BARROS(1994) e outros.

Incluído na província Tocantins, mais precisamente na região oriental (ALMEIDA & HASUI, 1984), que coincide com as faixas de dobramentos Uruaçu e Brasília, do Proterozóico (MARINI *et al.*, 1977), para a área do DF aceita-se atualmente, apesar das divergências, uma coluna estratigráfica a partir do Grupo Canastra (constituído por uma seqüência de metassedimentos da Faixa de Dobramento Uruaçu), superpostos pelos metamorfitos do Grupo Paranoá (relacionados à faixa de dobramento Brasília). Ambas unidades geológicas estão posicionadas no Proterozóico, a primeira no Médio e a outra no Médio-Superior.

Os sedimentos cenozóicos, incluindo coberturas detrito-lateríticas de idade Terciária-Quaternária, e os depósitos aluviais quaternários sobrepõem-se às unidades descritas, espalham-se pela quase totalidade da área e são constituídos primordialmente por materiais argilosos/siltosos, com ou sem fração grossa (pedregulho e areia), formados sobre a rocha de origem, ou transportados. São abordados no tópico referente ao mapa de materiais inconsolidados.

A geotectônica da região apresenta variedade de estruturas decorrentes tanto da tectônica plástica quanto rígida, traduzidas em várias fases de deformação provocadas por esforços compressionais e distensivos, sendo muito complexa.

A Figura 6.2, adaptada de FARIA(1995), sintetiza a litoestratigrafia do Distrito Federal. No presente trabalho, foram possíveis a individualização e identificação das unidades com base na interpretação de produtos de sensores remotos (aerofotografias e imagens de satélite), nos resultados de investigações subsuperficiais (poços e sondagens), nas observações de campo, como também na consulta a trabalhos anteriores, particularmente ao mapa geológico produzido por FARIA(1995).

Apesar da escassez de afloramentos de alguns litótipos, decorrente sobretudo da elevada espessura dos materiais inconsolidados, sua descrição não chega a ser prejudicada no presente estudo, face o objetivo principal ou seja a caracterização geotécnica de tais materiais.

SEQUÊNCIA DE POSICIONAL		PÁGIES SEDIMENTARES	SISTEMAS DE POSICIONAIS
A O N H R A A P	PMp1 180 m	ARGILO-CARBONATADA: METARGILITOS, ARDOSIAS, METASSILTITOS, LENTES DE CALCÁRIOS, E RARAS DE DOLOMITOS COM ESTROMATOLITOS, OCASIONAIS BAN- COS DE QUARTZITO MÉDIO A MICROCONGLOMERÁTICO, COM ESPES- SURAS DE 30 cm A 4 m.	PLATAFORMA PELÍTICA, COM CARBONATOS DE A- BUJAS RASAS E TEMPE- SITITOS OCASIONAIS
	PMp2 100 m	METARRITMITO ARGILOSO: METASSILTITOS, METARGILITOS, QUARTZITOS FINOS, FELDSPÁTICOS, CAMADAS CENTIMÉTRICAS TABULARES, ACAMAMENTO ONDULADO, LENTICULAR LOCALMENTE PRESENTE, MARCAS ONDULADAS, RARAS ESTRUTU- RAS DE CONTRAÇÃO, CRUZADAS POR ONDAS, ESTRUTURA "HUMMOCKY"	PLATAFORMA PELÍTICA COM TEMPESTITOS OCA- SIONAIS
	PMp3 80 m	QUARTZITO-MÉDIO: SUBARREDONDADO, BEM SELECIONADO, ONDULADAS ASSI- MÉTRICAS, ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA TABULAR, ACANALADA E ESPINHA DE PEIXE, LENTES DE METARRITMITO, LAMINAÇÕES SILTICO-ARGILOSAS NA BASE	PLATAFORMA ARENOSA DOMINADA POR ONDAS E CORRENTES DE MARE
	PMp4 180 m	METARRITMITO ARENOSO: METASSILTITOS, METARGILITOS, QUARTZITOS "WAVE- LENSEN", MARCA ONDULADA, ESTRUTURA DE CONTRAÇÃO, CRUZADAS POR ONDAS, RARAS ESTRUTURAS "HUMMOCKY" METARGILITO E METASSILTITO VERMELHOS, MACIÇOS A LAMINADOS ALTERNÂNCIA DE METASSILTITOS E QUARTZITOS FINOS, CENTIMÉTRICOS, GEOME- TRIA LENTICULAR A ONDULADA, COM LAMINAÇÕES CRUZADAS POR ONDAS, ES- TRUTURAS DE CONTRAÇÃO, ESTRUTURA "HUMMOCKY" QUARTZITO FINO DE ATÉ 12 m DE ESPESURA, LAMINADO, LAMINAÇÕES ARGIL- SAS, ESTRUTURA TIPO "HUMMOCKY" ALTERNÂNCIA DE QUARTZITOS FINOS, ESPESURA DE ATÉ 30 cm, GEOMETRIA ON- DULADA, LENTICULAR, ESTRUTURA "HUMMOCKY", METASSILTITOS E METARGILITOS	INTERMARÉ COM EVEN- TOS PERIÓDICOS DE TEM- PESTADES PLATAFORMA DOMINADA POR TEMPESTADES
	PMp5 80 m	ARDÓSIA: ARDÓSIAS ROXAS, VERMELHAS, COM BANDAMENTOS BRANCOS E LEITOS CENTIMÉTRICOS DE QUARTZITOS FINOS E METASSILTITOS NO TOPO, COM ESTRU- TURA "HUMMOCKY"	PLATAFORMA PELÍTICA C/ TEMPESTITOS NO TOPO
	PMp6 180 m	METASSILTITO: METASSILTITOS ARGILOSOS, CINZA CLAROS, VERMELHOS A BRAN- COS, LAMINADOS, SEMIOTÍDICOS, INTERCALAÇÕES DE ATÉ 5 m DE ESPESURA DE QUARTZITO MÉDIO, LOCALMENTE GROSSO, DE GEOMETRIA LENTICULAR METARRITMITO ARENOSO NA BASE, ESTRUTURAS DE CONTRAÇÃO	PLATAFORMA PELÍTICA C/ TEMPESTITOS OCASIONAIS
	PMp7 70 m	QUARTZITO MICROCONGLOMERÁTICO: QUARTZITOS MÉDIOS A GROSSOS, COM LEITOS MICROCONGLOMERÁTICOS NO TOPO, COM ROSA, BEM SELECIONADOS, AR- REDONDADOS A SUBARREDONDADOS, ALGOS FELDSPÁTICOS, ESTRATIFICAÇÕES CRUZADAS PLANO PARALELA E ACANALADA, OCASIONAIS INTERCALAÇÕES MÉTRICAS LENTICULARES DE METARRITMITO	PLATAFORMA ARENOSA DOMINADA POR ONDAS E CORRENTES DE MARE
C A N A S T R A	PMc1 180 m	FILITO: FILITOS A SERICITA E CLORITA, FILITOS CARBONOSOS, CRENULADOS, OCA- SIONAIS LENTES DE CALCÁRIOS, QUARTZITOS E QUARTZITOS MILONÍTICOS, DEL- GADAS INTERCALAÇÕES DE CALCIXISTO NA BASE	MARINHO
	PMc2 80 m	CALCIXISTO: ALTERNÂNCIAS DE LEITOS CLAROS RICOS EM CARBONATOS E/OU QUAR- TZO, COM LEITOS ESCUROS RICOS EM CLORITA, SERICITA E BIOTITA	MARINHO
	PMc3 180 m	MICAXISTO: MUSCOVITA-QUARTZOXISTOS, LENTES DE QUARTZITOS MILONÍTICOS FINA- MENTE FOLIADOS, QUARTZITOS FINOS A MÉDIOS, OCASIONAIS LENTES DE CALCÁRIO A CALCIXISTO	MARINHO

Figura 6.2 - Coluna litoestratigráfica da região do Distrito Federal (Adaptada de FARIA, 1995).

Nos tópicos a seguir são apresentadas, de forma resumida, as informações sobre as unidades litoestratigráficas ocorrentes na região do DF, de maior interesse ao zoneamento geotécnico da área.

6.4.1.1 *Grupo Canastra*

O Grupo Canastra é o embasamento da área mapeada e se constitui por uma sequência pré-cambriana cuja extensão abrange cerca de 1.289 km² (aproximadamente 22% da área estudada). Subdivide-se em três fácies litoestratigráficas metamórficas de baixo grau e compreende litótipos de granulação fina como filitos, calcixistos, e micaxistos. Sobrepõe-se às litologias do Grupo Paranoá em contato tectônico, resultante de um empurrão com vergência para leste.

- ***Filito (PMc1)***

Filitos de cor creme-clara a esverdeada, em consequência da alteração da clorita, com aspecto lenhoso e intensamente falhado, quando pouco intemperizado; localmente, ocorrem níveis centimétricos a métricos de filitos negro carbonoso e piritoso grafitoso e ocasionais lentes de quartzito. Exibem foliação bem desenvolvida (finamente laminados) e intercalações de quartzitos finos levemente foliados e ocasionais lentes de calcário. Segundo os autores já mencionados, sua espessura atinge geralmente 150 metros.

Comumente ocorrem bastante intemperizados, com colorações bastante avermelhadas, ocasião em que se desagregam com a pressão dos dedos (Figura 6.3). A identificação macroscópica de seus minerais constituintes não é possível, por possuírem uma granulação muito fina, são untuosos ao tato, provavelmente devido à presença de sericita.

Figura 6.3 - Corte de estrada exibindo filito pouco alterado e avermelhado (Ponto RA-603).

Neste trabalho, os filitos estão subdivididos em duas unidades distintas: o filito carbonoso (*PMclc*), que ocupa expressiva área de 891 km² (pouco mais de 15% da região estudada), sobretudo no vale do rio São Bartolomeu; e o filito calcítico (*PMclfc*) ocorrendo em alguns pontos isolados no limite norte do DF. Somados, representam apenas 0,01% do total do DF, com área de 0,38 km².

Relativamente pouco permeáveis e em função da localização topográfica característica (sub-montanhosa - onde todas as classes de declividade se fazem representar quase que na mesma proporção), são facilmente desagregados e erodíveis em superfície, o que dificulta a formação de materiais inconsolidados residuais regulares e profundos.

- *Calcixisto (PMc2)*

Restritos à porção norte e extremo noroeste do Distrito Federal, com área aproximada de 44,61 km², ou seja 0,77% da superfície estudada, os calcixistos ocorrem com alternância de leitos ricos em carbonato ou quartzo; exibem, por vezes, níveis mais escuros ricos em minerais micáceos como clorita, sericita e biotita. A espessura média do pacote oscila em torno de 50 metros.

Mesmo com espessuras pouco expressivas do manto de alteração, o processo intempérico é facilmente verificado, dificultando por vezes a determinação da profundidade do topo rochoso, em função do comportamento geotécnico dos materiais (baixa resistência à penetração), que em superfície quase sempre apresentam Graus V e VI nos seus perfis de alteração.

O relevo associado à unidade está quase sempre variando entre o ondulado e escarpado (declividades sempre superiores à 5%, com predomínio das classes acima dos 10%) o que, juntamente com a foliação proeminente, provoca freqüentes escorregamentos, sobretudo nos locais que sofreram ações antrópicas, conforme pode ser observado na Figura 6.4.

Figura 6.4 - Escorregamento de material decorrente de corte de estrada paralelo à descontinuidade da rocha (Ponto RA-603).

- *Micaxisto (PMc3)*

Micaxistos constituídos de muscovita-quartzo xistos, clorita xistos, lentes de quartzitos miloníticos finamente foliados, ocupam aproximadamente 352 km² (cerca de 6% da área mapeada), a maior parte no setor sudoeste do DF.

A espessura das camadas, segundo os trabalhos de cunho regional e por informações de poços profundos que atravessam a unidade, é em média 150 metros. Intercalações de quartzitos finos a médios são bastante freqüentes, enquanto que as lentes de calcário aparecem ocasionalmente.

Os muscovita-quartzo xistos e quartzitos miloníticos têm colorações esbranquiçadas e quando alterados ficam extremamente friáveis. Os clorita xistos apresentam colorações esverdeadas e aspecto escamoso e se comportam, quando submetidos à alteração, similarmente aos demais tipos litológicos desta unidade.

O relevo ondulado é o predominante, apesar da ocorrência de todas as classes de declividade, sendo algumas escarpas sustentadas por faixas de quartzito (Figura 6.5); repetem-se os problemas de escorregamentos e erosões (Figura 6.6).

Figura 6.5 - Escarpa sustentada por lente de quartzito (Ponto RA-421).

Figura 6.6 - Escorregamento de blocos de quartzito em talude de estrada.
(Ponto RA-425)

Em função das diversas fases de deformação que se sucederam nesta unidade, as foliações e fraturamentos com diferentes atitudes provocam o empastilhamento dos litótipos de granulação fina, quando submetidos à ciclagem natural.

Os contatos geológicos entre as fácies litoestratigráficas descritas são geralmente gradacionais.

6.4.1.2 Grupo Paranoá

Grupo Paranoá apresenta contato tectônico com o Grupo Canastra e os pacotes litológicos ocorrem estratigraficamente invertidos (FARIA, 1989 e 1995). Suas litologias ocupam cerca de 70% da área do Distrito Federal, perfazendo um total de 4.090 km².

Na região de abrangência deste trabalho, pôde-se individualizar sete unidades litológicas: quartzitos microconglomeráticos, metassiltitos argilosos, ardósias, metarritmitos arenosos, quartzitos médios, metarritmitos argilosos e pelitos-carbonatados, esta última subdividida em quatro subunidades.

A seguir e de forma resumida, a descrição apresenta algumas das mais importantes informações sobre os litótipos desse Grupo.

- *Quartzito Microconglomerático (PMp7)*

Os quartzitos exibem coloração esbranquiçada tendendo à rosada, são bem selecionados nos níveis mais homogêneos e mal selecionados nos leitos microconglomeráticos. Os grãos maiores normalmente são bem arredondados, enquanto os mais finos subangulosos. Nos afloramentos, apresentam-se ora na forma de camadas finas, maciças, às vezes laminadas, com estruturas primárias preservadas (principalmente estratificações cruzadas tabulares e acanaladas, algumas laminações convolutas, além de marcas onduladas), ora como blocos de dimensões métricas, emersos em material arenoso extremamente friável.

Por vezes contêm intercalação de metarritmito de geometria lenticular, numa espessura da ordem de 5 a 8 metros.

Na região do Distrito Federal, esta unidade constitui a base da seqüência deposicional Paranoá, onde se sobrepõe à litofácies pelito-carbonatada (PMp1), através de contato tectônico.

Situa-se no nordeste do Distrito Federal, até as cabeceiras dos rios Extrema e Jardim, ocupando cerca de 37,5 km² (0,65% do território mapeado), com espessura de aproximadamente 70 metros.

Somente duas classes de declividade estão associadas a esta unidade: de 0-2% e de 5-10%.

Microscopicamente, verificam-se poucos grãos de *chert* na granulação mais fina, bem como raros grãos de silito, feldspatos potássicos são raros; como acessórios, aparecem o zircão e turmalina.

- *Metassilito Argiloso (PMp6)*

De modo geral, os metassilitos argilosos são homogêneos, com colorações cinza esverdeadas a amareladas; em alguns pontos, apresentam-se maciços, mas na maioria das vezes são finamente laminados e repousam sobre os quartzitos da unidade anterior em contato brusco e concordante, podendo ser divididos em duas subunidades distintas.

No porção inferior do pacote a unidade é rítmica (silte/areia), amarelo-esverdeada, passando por tonalidades avermelhadas, constituídas por metassilitos argilosos, sericíticos, alternados por quartzito fino a muito fino, amarelados e esbranquiçados, duros, com boa seleção, que ocorrem com a espessura desde milimétrica até métrica, de geometria lenticular a ondulada. Segundo informa a bibliografia, a espessura média para esta unidade é da ordem de 70 metros.

O nível superior siltico-argiloso consta de metassilitos argilosos, com raros leitos de quartzito muito fino. É maciço a localmente laminado, compondo lajes contínuas, com colorações avermelhadas, cinza-esverdeadas e esbranquiçadas. A espessura chega a alcançar 40 metros.

Expõem estruturas sedimentares com raras laminações cruzadas, poucas estruturas de contração e, ainda, laminações plano-paralelas e marcas de ondas quando se apresentam com aspecto homogêneo. A área de ocorrência é de 4,45 km², ou seja, menos de 1% do DF na região do córrego Olho D'água, engloba somente as declividades na faixa dos 5 a 10% e de 10 a 20%.

- **Ardósia (PMp5)**

Na área do Distrito Federal, a espessura desta unidade chega a atingir 80 metros. É constituída por ardósias vermelhas a roxas, com bandamentos amarelos esbranquiçados que destacam o acamamento; são laminadas e apresentam uma clivagem bastante conspícua, além de outra menos penetrativa, só visível localmente.

Na gradação do metassiltito (PMp6) para a ardósia, ocorrem concentrações de manganês sob a forma de lâminas descontínuas e nódulos concrecionários originados pelo empastilhamento das mesmas. Próximo ao topo, contém ocasionais bancos de quartzito fino, lenticular e de espessura centimétrica até 1,5 metros (Figura 6.7); além dessas, apresentam estratificação cruzada e dobramentos como estruturas localizadas.

Figura 6.7 - Detalhe de pequenas lentes de quartzito na ardósia (Ponto RA-807).

Ocupam área de aproximadamente 323,5 km², o que equivale à 5,6% do território mapeado e sustentam relevo variando de plano a suavemente ondulado, cujas declividades são inferiores à 20%, prevalecendo a classe de 2-5%.

- *Metarritmito Arenoso (PMp4)*

No Distrito Federal, a unidade Metarritmito Arenoso possui espessura estimada em torno dos 150 metros e foi subdividida em dois níveis

O nível inferior é constituído por quartzitos finos a muito finos, em bancos de espessura centimétrica até métrica, vermelhos a amarelos, levemente feldspáticos, laminados, sericíticos, com ocasionais laminações siltico-argilosas; os quartzitos têm geometria lenticular-ondulada, com extensão lateral de 5 a 20 metros em média. As estruturas sedimentares observadas, além das laminações plano-paralelas, são as estratificações cruzadas e marcas onduladas. Ocorrem ainda metassiltitos e metargilitos, avermelhados a amarelados, laminados a maciços, sericíticos, contendo finas crostas enriquecidas em manganês; sua espessura gira na casa dos 70 metros.

O nível superior é composto por metarritmitos laminados e de colorações variadas (avermelhada, esverdeada e esbranquiçada), caracterizados por alternâncias de quartzitos, metassiltitos e metargilitos. Neste, os quartzitos são finos a médios, localmente grossos, bem selecionados, com espessura centimétrica a métrica; a espessura média é da ordem de 80 metros.

Estruturas dúcteis, originadas por esforços tectônicos que afetaram a região, estão muito bem retratadas nesta unidade, como é o caso do dobramento ilustrado na Figura 6.8.

Figura 6.8 - Tectônica dúctil afetando os metarritimitos arenosos (Ponto RA-805).

Segundo FARIA(1995), a rocha apresenta quartzo, plagioclásio e microclínio, envolvidos por matriz fina, inteiramente recrystalizada, de sericita, quartzo, clorita, magnetita e alguma biotita; raros grãos de zircão e turmalina neoformada, são os acessórios.

A unidade ocupa cerca de 3,7% da área estudada (aproximadamente 215 km²), onde o relevo suave ondulado ocupa maior distribuição areal, porém todas as classes de declividade são verificadas.

- *Quartzito Médio (PMp3)*

Responsáveis pela sustentação das principais chapadas da área mapeada, ocupam quase 169 km² (2,91%) em cotas entre 1.100 e 1.200 metros. Sobrepõem-se concordante e gradacionalmente sobre a unidade PMp4.

Os quartzitos têm granulação média a fina, com raros leitos de granulação grossa (compostos essencialmente por grânulos de quartzo), são silicificados, bem selecionados e apresentam colorações esbranquiçadas, ora tendendo para tonalidades avermelhadas ora para as acinzentadas, conforme pode ser observado na Figura 6.9; quando friáveis, são facilmente erodíveis.

Figura 6.9 - Exposição de quartzito exibindo estruturas primária (acamamento) e secundária (fraturas).
(Ponto RA-287)

Domina o acamamento plano-paralelo como estrutura primária, onde as laminações chegam até 20 cm, ocorrendo, ainda, estratificações cruzadas tabular de porte médio, acanalada e tipo espinha de peixe e marcas de onda. A espessura é de 25 a 30 metros; esporadicamente, apresentam intercalação de metarritmito de geometria lenticular de até 5 metros de espessura.

Mineralogicamente, o quartzito desta unidade é um agregado em mosaico de grãos médios subangulosos a subarredondados de quartzo, bem selecionados; os espaços intergranulares existentes são preenchidos com óxidos e hidróxidos de ferro, mica branca (ilita, sericita) e pequenos grãos de quartzo. Raros feldspatos são alterados para ilita (FARIA, 1995).

- *Metarritmito Argiloso (PMp2)*

Com relevo caracterizado por vales profundos de vertentes íngremes, onde as declividades acima dos 5% predominam, a unidade margeia a estrutura dômica do Distrito Federal e sobrepõe, em contato concordante e gradacional, a litofácies dos quartzitos médios. Possui espessura de 100 a 120 metros e espalham-se pela quase totalidade do DF, sendo a de maior expressão areal, abrangendo aproximadamente 2.015 km², o que representa cerca de 35% do total mapeado.

Os litótipos que compõem essa unidade são os metassiltitos, metargilitos e, em menor proporção, quartzitos, muito finos a médios, feldspáticos, com colorações acinzentadas, que tendem ao amarelo e vermelho quando alterados; normalmente se encontram interestratificados em camadas de até 50 cm de espessura (poucas), sendo mais comuns as de 1 a 3 cm. As rochas de granulação mais finas são sericíticas e enriquecidas por magnetita.

Além das múltiplas descontinuidades (foliações e/ou fraturas), que provocam o empastilhamento dos metapelitos (Figura 6.10), aparecem os dobramentos muito bem representados (Figura 6.11) e raríssimas estruturas primárias, quase sempre mascaradas por aquelas geradas a partir de esforços tectônicos.

Em análise microscópica, observa-se que nas camadas ricas em quartzo a composição básica é de agregado quartzoso, muito fino e mal selecionado, com evidências de crescimento secundário, com significativa presença de material argiloso intersticial recristalizado (massa fina de mica branca e quartzo), quase sempre associado a material ferruginoso e plagioclásio, parcialmente substituído por sericita. Aham-se presentes algumas lamelas de muscovita.

Figura 6.10 - Empastilhamento ocorrido nos metarritmitos argilosos (Ponto RA-086).

Figura 6.11 - Dobramento de quartzito da Unidade PMp2. (Ponto RA-388)

- *Pelito-Carbonatada (PMp1)*

No Distrito Federal, esta unidade tem espessura entre 150 a 180 metros e aflora principalmente na porção norte, onde o relevo exibe morfologia variando de escarpada a suavemente ondulada e declividades sempre superiores à 5%, particularmente nas classes de 10-20% e >20%; ressaltam-se neste setor as lentes de rochas carbonáticas (calcário, calcário dolomítico e dolomito). O contato com a unidade PMp2 é transicional, ocorrendo aumento gradativo dos metargilitos em detrimento dos metassiltitos.

Estão presentes também ocupando todo o lado leste do DF, aflorando nas vertentes dos vales e nos leitos das maiores drenagens superficiais, mas não havendo aí as subunidades carbonáticas mapeáveis. Totalizando, compõem o substrato rochoso de aproximadamente 23% da área ($\cong 1.325 \text{ km}^2$).

O pacote, como um todo, apresenta na sua porção basal metargilitos amarelados, sericíticos, maciços e laminados e ocasionais intercalações de metassiltitos. Em alguns locais, aparecem metassiltitos calcíferos, de colorações variando de esverdeada a acinzentada, que gradam lateralmente para metamarga de coloração avermelhada (Figura 6.12). Têm-se, associadas a estes metapelitos, lentes de calcário e de calcário dolomítico acinzentado (mais raramente), exibindo bandamento argiloso de tonalidade mais escura e de espessuras centimétricas. As rochas carbonáticas são microcristalinas, laminadas a maciças, com leitos calcíferos e dolomíticos alternados por laminações onduladas e irregulares.

Metargilitos sericíticos, laminados a maciços, de colorações amareladas e avermelhadas, com raras intercalações centimétricas de quartzito médio e, em menor proporção, metassiltitos sericíticos, representam a parcela intermediária da unidade.

Figura 6.12 - Corte de estrada exibindo metargilito (base) e metassiltito laminado da unidade PMp1 (Ponto RA-178).

A porção superior é dominada por rochas carbonáticas de aspecto lenticular, exibindo as seguintes variedades de litótipos, obedecendo-se a seqüência da base para o topo:

- A. dolomito cinza, maciço, com camadas delgadas e ocasionais níveis de metargilito preto, laminado, betuminoso, piritoso; a espessura das exposições chegam à 30 metros;
- B. metamargas cinza-esverdeadas e avermelhadas, constituídas por calcita-dolomita e com lâminas siltico-argilosas, que ressaltam a laminação e têm espessura de aproximadamente 50 metros;

- C. calcário laminado, cinza escuro a preto, argiloso e com espessura de até 30 metros;
- D. calcário puro, cinza, microcristalino, maciço e com espessura aproximada de 55 metros;
- E. dolomito cinza claro, maciço a estratificado no topo e ocasionais leitos com intraclastos; a espessura alcança os 30 metros;
- F. calcário preto, laminado, carbonoso, argiloso e com espessura de até 30 metros.

Essas rochas carbonáticas são geralmente argilosas e vêm servindo, na região do Distrito Federal, como principal fonte de material de uso direto na construção civil, sob a forma de blocos ou britas, e como principal matéria-prima na fabricação do cimento. Os resultados de seus comportamentos geotécnicos, segundo JUNQUEIRA(1994), encontram-se resumidos na Tabela 6.1. As Figuras 6.13 e 6.14 ilustram as formas de ocorrência e de extração desses litótipos.

Tabela 6.1 - Propriedades geotécnicas das rochas carbonáticas que ocorrem no Distrito Federal (Adaptado de JUNQUEIRA, 1994)

LITÓTIPO		Dolomito	Metamarga	Calcário laminado	Calcário Puro	Calcário laminado
PROPRIEDADE GEOTÉCNICA		A/E	B	C	D	F
Compressão uniaxial (MPa)	σ_{c1}	63,4	64,4	137,0	55,5	66,0
	σ_{c2}	77,7	73,2	177,0	68,8	73,0
	$\sigma_{cméd}$	71,3	68,8	157,0	62,2	69,5
Porosidade (%)	$n_{mín}$	0,82	0,42	0,67	0,95	1,09
	$n_{méd}$	0,85	0,46	0,69	0,98	1,12
	$n_{máx}$	0,88	0,49	0,71	1,01	1,16
Expansibilidade (%)	$E_{mín}$	0,038	0,066	-	0,023	0,083
	$E_{méd}$	0,052	0,070	-	0,027	0,088
	$E_{máx}$	0,057	0,073	-	0,031	0,091
Resistência ao Atrito	Perda (%)	2,5	8,6	6,3	11,6	10,8
Resistência ao Esmagamento	Perda (%)	13,8	19,0	19,1	25,7	19,3

Figura 6.13 - Exposição de calcário laminado (C) na pedreira da Fazenda Limoeiro

Figura 6.14 - Exploração de metamarga (B) na pedreira da Contagem (Ponto RA-172).

A ocorrência de quartzitos finos a grossos, com grãos bem arredondados e mal selecionados, gradando vertical e lateralmente para lamitos, pode ser verificada nesta unidade aflorando com espessura de até 10 metros. Compõem-se de quartzo imerso em cimento silicoso, associado, raramente, a óxido de ferro. Observam-se raros fragmentos de rocha fina (metassiltito) e como acessórios, aparecem zircão, turmalina e finas agulhas de rutilo inclusas nos grãos de quartzo.

Para melhor caracterização sob o ponto de vista geotécnico, as quatro subunidades anteriormente descritas foram agrupadas no mapa do substrato rochoso com as seguintes terminologias: *PMpla* - incluindo os metargilitos, metassiltitos, ardósias e metamargas; *PMplc* - calcários (puros ou não); *PMpld* - dolomitos; e *PMplq* - quartzitos.

6.4.2 Mapa Litológico (ANEXO VI)

Usando-se as potencialidades dos sistemas de informações geográficas, no caso específico deste estudo o SGI, através da rotina de reclassificação, pôde-se confeccionar um mapa derivado do mapa do substrato rochoso, englobando diferentes tipos de rocha, independentemente do seu posicionamento na coluna estratigráfica, gerando-se assim o mapa litológico.

Nele encontram-se representados ardósias, filitos, metargilitos, metassiltitos, metarritmitos argilosos, micaxistos, quartzitos, calcários, dolomitos, calcixistos, quartzo xistos, além daqueles materiais cuja origem é indeterminada. A Tabela 6.2 apresenta os dados relativos à ocupação areal de cada um dos litótipos.

Ressalta-se que para a elaboração das cartas de vulnerabilidade do meio físico, foi este o mapa utilizado na combinação dos atributos (os diferentes litótipos têm comportamentos geotécnicos similares) e não o do substrato rochoso, que participou na confecção da carta de zoneamento geral do Distrito Federal, onde a indicação da unidade litoestratigráfica (gênese dos materiais inconsolidados) tem significativa importância.

Tabela 6.2 - Áreas ocupadas pelos tipos litológicos que ocorrem no Distrito Federal, em relação à sua área total.

LITÓTIPO	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Ardósia	267,46	4,60
Filitos	839,44	14,45
Metargilito	1814,94	31,24
Metarritmito argiloso	1248,13	21,48
Metassiltito	68,36	1,18
Micaxisto	335,04	5,77
Quartzito	424,48	7,31
Calcário	17,24	0,30
Dolomito	0,38	0,01
Calcixisto	44,63	0,77
Quartzo Xisto	16,18	0,28
Indeterminada	286,26	4,93

6.4.3 Arcabouço Estrutural

Segundo FARIA(1995) e em concordância com a maioria dos pesquisadores que estudam a geologia da região do Distrito Federal, a evolução estrutural da área deu origem a uma arquitetura geral de direção N-S, onde dobras e falhas de empurrão sugerem movimento tectônico maior para leste.

As estruturas do Grupo Canastra eram inicialmente interpretadas como pertencentes a um ciclo mais antigo - o Uruaçuano; as feições deformacionais registradas nas litologias dos grupos Canastra e Paranoá têm sido interpretadas por COSTA *et al.*(1970), COSTA & ANGEIRAS(1971), DARDENNE(1978a e b), CAMPOS NETO(1984), STRIEDER(1990), FUCK(1990), BROD *et al.*(1991), ARAÚJO FILHO & FARIA(1992), FUCK *et al.*(1993) e FARIA(1995), como provenientes do mesmo ciclo tectônico - o Ciclo Brasileiro, quando os pacotes foram afetados por dois eventos deformacionais W-E e N-S, resultantes de compressão orientada sucessiva.

Algumas controvérsias ainda persistem no concernente às características do ambiente tectônico, vez que o Grupo Paranoá está posicionado na borda oeste do Cráton São Francisco, cujas condições de ductilidade e fluxo calórico seriam menores, ao contrário do Grupo Canastra, que se localiza mais internamente na Faixa Brasília, onde as condições de ductilidade, fluxo calórico e pressão deveriam ser maiores. Segundo FARIA(1995), estes fatores justificariam a deformação e metamorfismo progressivos da borda do cráton para a parte interna da Faixa Brasília. A interferência dessas deformações provocou a individualização de estruturas dômicas de amplitude regional.

De acordo com a maioria dos autores supracitados, uma tectônica com esforços compressivos W-E provocou empurrões e *nappes* que promovem a sobreposição dos metassedimentos do Grupo Canastra à sequência Paranoá, além de intensa foliação/milonitização por cisalhamento interestratal ao longo de toda a sequência litoestratigráfica do Canastra, cuja progressão da deformação teria originado microdobras. Nos litótipos do Grupo Paranoá, essa tectônica de cisalhamentos interestratais ocorreu em planos discretos, gerando empurrões de baixo ângulo e dobramentos.

FARIA(1995) considera ainda outra cinemática, de direção N-S, com efeitos secundários tanto no Canastra quanto no Paranoá, porém apresentando geometria diferenciada em função da posição dessas rochas após a fase deformacional. Assim, no Grupo Canastra, a foliação subhorizontal contínua propiciou cisalhamento interestratal, enquanto no Paranoá as dobras foram encurtadas transversalmente por dobras da fase posterior (domos e bacias).

TORRES *et al.*(1994) entende a primeira fase de deformação como sendo associada ao fechamento da bacia (colisão W↔E) e a fase posterior tendo origens variadas (efeitos de rampas laterais, efeito de endentação da borda do Cráton do São Francisco).

No Distrito Federal as principais direções de fraturamento - N60°W, N60°E e subordinadamente N15°W -, são constatadas em todos os tipos litológicos com reflexos, inclusive, nos materiais residuais.

Na unidade Pelito-Carbonatada (PMp1), os pequenos lineamentos predominam com direções N50°-70°W e N30°W, enquanto os maiores apresentam-se com direções N30°E, N60°W e N30°W; todos estes lineamentos freqüentemente estão mascarados por litótipos de baixa granulação superpostos.

Nos metarritmitos argilosos (PMp2), as direções das descontinuidades principais são N70°W e N50°-60°W e, nos quartzitos médios (PMp3), a mais freqüente é N45°E e subordinadamente E-W.

Os lineamentos nos metarritmitos arenosos (PMp4) têm direções variadas, mas predominam N60°W, N60°E, N80°W, N20°E e principalmente N80°E. Nas ardósias, as direções principais dos grandes fraturamentos são N60°-50°W e N20°W.

Corroborando as proposições de SANTOS(1989) e AMORE(1994), considera-se que o Grupo Canastra não apresenta padrões distintos de lineamento entre as três unidades que o compõe, tendo como direções principais N10°W, N70°W e em menor proporção N60°E.

As falhas de empurrão Canastra-Paranoá e a expressiva sinforma do vale do São Bartolomeu, que associam janelas estruturais e outras estruturas de menor porte são, sem dúvida, as mais expressivas integrantes desse arcabouço geotectônico da região.

6.4.4 Recursos Minerais

Na área em questão, a mineração se comporta como atividade de grande importância, apesar de na maioria dos casos ser realizada de forma rudimentar a semimecanizada, com extração voltada a bens minerais de uso direto na construção civil; excetuam-se as rochas carbonáticas que são utilizadas na indústria do cimento.

Os pontos de extração de areia são encontrados em quase todos os locais de ocorrência dos quartzitos, associados ou não à exploração dos mesmos, utilizando-se tratores do tipo pá-carregadeira.

Destaques especiais cabem às extrações de cascalhos e de material argilo-arenoso; os primeiros, quer sob a forma de concreções lateríticas quer como pequenos fragmentos originados pelo empastilhamento dos metapelitos, ocorre em inúmeros locais espalhados por todo o DF, predominando nas áreas de ocorrência do Grupo Paranoá e possuindo significativo e principal papel na construção de estradas (Figura 6.15). O material argilo-arenoso também foi constatado em vários pontos, sobretudo como áreas de empréstimo para construção de estradas e, a exemplo dos primeiros, também predominam nos materiais inconsolidados residuais dos litótipos pelíticos do Grupo Paranoá.

Figura 6.15 - Cascalheira próxima à Ceilândia cujo material é utilizado pelo DER-DF na construção de estradas (Ponto RA-412).

Os quartzitos e rochas carbonáticas também aparecem como bem mineral economicamente aproveitável, ambos utilizados sob forma de blocos e britas na construção civil. Exclusivamente as rochas calcárias são empregadas em misturas asfálticas e como matéria-prima no fabrico de cimento, destacando-se as pedreiras existentes ao norte da área - pedreiras Serveng/Civilsan e Contagem, já ilustradas nas Figuras 6.12 e 6.13. Na Tabela 6.3, estão demonstrados os valores de reservas dos recursos minerais não metálicos do DF.

Tabela 6.3 - Reservas de recursos minerais não-metálicos, segundo a especificação - Distrito Federal (DNPM, 1990).

ESPECIFICAÇÃO	RESERVAS (1.000 t)					
	Tipo	1986	1987	1988	1989	1990
ARGILA	Medida	6.046	9.380	9.321	14.703	14.465
	Indicada	937	8.065	8.065	13.681	13.681
	Inferida	835	6.337	6.337	12.269	12.269
CALCÁRIO	Medida	170.703	168.110	169.735	167.811	116.390
	Indicada	34.118	33.859	33.859	33.405	33.405
	Inferida	59.397	59.397	59.397	59.397	59.397
DOLOMITA	Medida	10.821	10.620	10.370	10.230	9.955
	Indicada	5.503	5.502	5.250	5.503	5.503
	Inferida	6.142	6.141	6.141	6.142	6.142
AREIA (1.000 m³)	Medida	5.860	5.860	5.000	5.000	5.000
	Indicada		73			

6.5 MATERIAIS INCONSOLIDADOS

A separação dos materiais inconsolidados foi realizada utilizando-se interpretação visual de produtos de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e mosaicos de fotos aéreas), investigações de campo e análises laboratoriais. Além dos dados produzidos, serviram como suporte à determinação das unidades de materiais inconsolidados, resultados de ensaios mecânicos/geotécnicos executados pelo DER-DF, por DUARTE(1992) e ROMÃO(1995), os físico-químicos (capacidade de troca catiônica, pH em água e em KCl e saturação em bases) e granulometria realizados pela EMBRAPA(1978), algumas sondagens de simples reconhecimento com SPT executadas por diferentes empresas, além de dados de poços rasos e profundos cadastrados pela CAESB(1987).

Todos os dados disponíveis das unidades serão incluídos nos itens seguintes, em termos de máximos, mínimos e médias, estes últimos apenas e tão somente para demonstrar a tendência dos resultados em relação aos valores mais elevados ou mais baixos, uma vez que estes é que de fato representam as características geotécnicas dos materiais.

O conceito adotado para identificação e separação dessas unidades foi aquele preconizado no capítulo referente à metodologia de trabalho, onde o perfil de alteração é utilizado como premissa básica tanto para a caracterização vertical dos materiais quanto para sua distribuição horizontal.

6.5.1 Posição Estratigráfica

Concluindo a seqüência estratigráfica da área, estes sedimentos estão posicionados indistintamente, quer em discordância erosiva sobre as demais unidades quer desenvolvendo perfil sobre as rochas das quais são originados.

Constituem-se de pacotes que podem ser divididos em dois níveis distintos: o primeiro é constituído de sedimentos detrítico-lateríticos, de granulometria variada, formando extensas coberturas situadas nas áreas de maior elevação e são relativamente mais antigos (Terciário/Quaternário); o outro pelos depósitos aluvionares e coluvionares quaternários, compostos de sedimentos predominantemente arenosos, de extensões variadas e observados em várias partes da área, tais como nos alúvios desenvolvidos ao longo das principais drenagens e nos colúvios posicionados nos sopés das encostas mais íngremes.

6.5.2 Mapa das Unidades de Materiais Inconsolidados (ANEXO VII)

As unidades de materiais inconsolidados identificadas levam em conta a gênese dos mesmos (unidade litoestratigráfica e tipo litológico), tendo sido diferenciados em residuais e retrabalhados, e a textura predominante, conforme mostra a Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Critérios para nomenclatura dos materiais inconsolidados.

Nº	Unid. Geol.	Litologia	Textura	Unid. M.I.	Nº	Unid. Geol.	Litologia	Textura	Unid. M.I.
01	PMp1	Metargilito; Ardósia;	argilosa/siltosa	P1.1a	20	PMp6	Metassiltito	siltosa	P6.1
02		Metamarga;	argilo-concrecionária	P1.1c	21	PMp7	Quartzito	arenosa	P7.1
03		Metassiltito	argilo-pedregulhosa	P1.1p	22	PMc1	Filito Carbonoso	argilosa/siltosa	C11a
04		Calcário	argilosa	P1.2	23			argilo-concrecionária	C1.1c
05		Quartzito	arenosa	P1.3	24			argilo-pedregulhosa	C1.1p
06		Dolomito	argilosa	P1.4	25		Filito Calcítico	argilo-pedregulhosa	C1.2
07	PMp2	Metargilito; Metassiltito	argilosa/siltosa	P2.1a	26	PMc2	Calcixisto	argilosa/siltosa	C2.1
08			argilo-concrecionária	P2.1c	27	PMc1	Micaxisto	argilosa/siltosa	C31a
09			argilo-pedregulhosa	P2.1p	28			argilo-concrecionária	C3.1c
10		Quartzito	arenosa	P2.2	29			argilo-pedregulhosa	C3.1p
11	PMp3	Quartzito	arenosa	P3.1	30		Quartzo xisto	argilo-pedregulhosa	C3.2
12	PMp4	Quartzito	arenosa	P4.1	31	Retrab.	Indeterminada	arenosa	T1
13		Metassiltito; Metargilito	argilosa/siltosa	P4.2a	32			argilosa	T2
14			argilo-concrecionária	P4.2c	33			argilo-pedregulhosa	T3
15			argilo-pedregulhosa	P4.2p	34			areno-pedregulhosa	T4
16	PMp5	Ardósia Metassiltito	argilosa/siltosa	P5.1a	35			intermediária	T5
17			argilo-concrecionária	P5.1c	36			pedregulhosa	T6
18			argilo-pedregulhosa	P5.1p	37			orgânica	T7
19		Quartzito	arenosa	P5.2					

Convenção: **Unid. Geol.** - Unidade litoestratigráfica
Unid. M.I. - Unidade de material inconsolidado
Retrab. - Retrabalhado

Poucas unidades, em função de dificuldades de acesso à época deste mapeamento, não puderam ser amostradas, fato que somado a escassez de dados preexistentes (coincidentemente), dificultou suas descrições mais detalhadas.

No **Apêndice 1**, podem ser verificadas sínteses dos resultados de caracterização e classificações geotécnicas das unidades enquanto que no **Apêndice 2** estão ilustradas suas curvas granulométricas representativas.

6.5.2.1 *Materiais Residuais*

Estão incluídos, nessa classe, aqueles desenvolvidos diretamente sobre as litologias de origem mas que podem também por razões diversas, como por exemplo alteração proeminente dos materiais, avançar sobre materiais geneticamente não correlacionáveis, sem contudo sofrer perdas nas suas características originais - Grau **VI** da proposta apresentada na Tabela 4.2.

Ressalta-se que para representar as unidades foi adotada a solução combinada de letras e números, compondo dois dígitos, onde a sequência registra como primeiro dígito uma letra maiúscula e um número representando, respectivamente, a unidade geológica (**P** - para os residuais do Grupo Paranoá e **C** - para os do Grupo Canastra) e a unidade litoestratigráfica (1 a 7 - no caso das fácies do Gr. Paranoá e de 1 a 3 - para aquelas pertencentes ao Gr. Canastra). O segundo dígito, formado dessa vez por um número acompanhado ou não por uma letra minúscula, indica o tipo litológico de origem e a letra designa a textura predominante do material (argilosa/siltosa - **a**, argilo-pedregulhosa - **p** e argilo-concrecionária - **c**); quando não acompanhado de uma destas letras é porque não ocorre variação textural mapeável.

O amplo domínio em termos de distribuição em área (estes tipos de materiais ocupam praticamente 88% - cerca de 5.077 km² da superfície mapeada do DF), é plenamente justificado pela conformação geomorfológica, por se tratar eminentemente de uma região de degradação.

RESIDUAIS DO GRUPO PARANOÁ (P)

a) *Pelito-Carbonatada* (P1)

Nesta unidade estão aqueles decorrentes da decomposição da unidade litoestratigráfica Pelito-Carbonatada (PMp1). Foram divididos em quatro subunidades, conforme o grupo litológico: *PI.1* - Metargilito, Ardósia, Metamarga e Metassiltito; *PI.2* - Calcário; *PI.3*- Quartzito; e *PI.4* - Dolomito.

• P1.1a

São originados a partir de um ou mais pelitos (metargilito, ardósia, metamarga e metassiltito), predominam as classes texturais da argila siltosa (45,8%) e subordinadamente argila silto-arenosa (20,8%), argila areno-siltosa (16,7%), seguidas de silte argiloso (12,5%) e em menor proporção a argila arenosa (4,2%). É uma das unidades mais expressivas em termos de abrangência areal, com aproximadamente 568,4 km², que significa quase 9,8% do total mapeado, ocupando principalmente a porção leste do DF.

Os valores máximos obtidos no ensaio granulométrico para as frações grossa e fina são 37,74% e 97,8%, enquanto os mínimos 2,2% e 62,2%, ficando a média para essas frações em torno de 16,3% e 83,7%, respectivamente.

Dentre os intervalos granulométricos da fração grossa, a areia fina apresentou maior contribuição na composição dos materiais residuais classificados. Para a fração fina, a argila contribuiu de maneira expressiva.

Com relação à massa específica dos sólidos, obtiveram-se valores médios de $2,77 \text{ g/cm}^3$, os valores máximo e mínimo ficaram entre $2,68 \text{ g/cm}^3$ e $2,85 \text{ g/cm}^3$. A umidade higroscópica deste material apresenta intervalo bastante dilatado entre 1,67% e 21,68% (média de 11,55%). Quanto à massa específica seca máxima variou entre o máximo de $1,8 \text{ g/cm}^3$ e o mínimo de $1,23 \text{ g/cm}^3$, com valores médios de umidade ótima e do ISC em torno de 25,83% e 12,61%, em respectivo. A determinação dos limites de consistência forneceu valores máximos de 56,5% para o LL, e 22,9% para o IP, estando os mínimos em 35,1% e 5,4%, respectivamente. Não foram obtidos resultados de SPT para esta subunidade.

Os valores de CTC máximos e mínimos são: 9,4 e.mg/TFSA e 2,2 e.mg/TFSA, e 11,75 e.mg/argila e 2,97 e.mg/argila, com $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ variando entre 4,6 e 6,1 e pH_{KCl} indo de 4,1 a 5,8. A saturação em bases atingiu o máximo de 22,73% e mínimo de 9,1%.

No que concerne às classificações geotécnicas, observam-se, na SUCS, os grupos - em ordem decrescente de resultados: CL, MH e CL-ML; entretanto, na H.R.B. ocorre o amplo predomínio do grupo A-7-5. As amostras enquadradas pela classificação MCT apresentaram-se em maior número na classe LG'.

Segundo a seqüência estabelecida na Tabela 4.2, o perfil de alteração mais característico destes materiais é aquele que apresenta o Grau VI mais proeminente e, muito dificilmente, é possível constatar os outros graus, mas quando acontecem são igualmente métricos e bem diferenciáveis. A Figura 6.16 ilustra o perfil típico desta unidade apresentando, inclusive, erosão subterrânea.

A classe pedológica associada predominante é a de latossolo vermelho-escuro, enquanto o relevo normalmente está entre o plano e o suave ondulado. Ocorrem na sub-unidade somente as classes de espessura de 2 a 5 metros, e com muito mais freqüência o intervalo de 5 a 10 metros, sendo as áreas com declividades entre 0 a 10% as mais comuns.

Figura 6.16 - Perfil da unidade P1.1a apresentando os graus V e VI e, ainda, erosão subterrânea (Ponto RA-631).

• **P1.1c**

Nesta subunidade, localizada em restritas porções distribuídas no extremo leste da área mapeada (somadas chegam à 43,9 km²), encontram-se pedregulhos com quantidades variáveis das frações areia e argila e ainda argilas siltosas com alguma areia incluída. Tem origem nos pelitos da unidade geológica PMpl e exibem massa específica dos sólidos próxima a 2,84 g/cm³, umidade higroscópica de 13,4%, massa específica seca máxima está variando de 1,33 g/cm³ a 2,01 g/cm³ (média de 1,74 g/cm³), acompanhada por umidade ótima entre 9,1% e 32% (média de 16,7%) e ISC de 3,8% a 80%, cuja média fica na casa dos 28,8%.

O percentual de retenção da fração grossa desses materiais está entre 19,3 e 91,2% (média em torno de 52,6%), enquanto a fina vai de 8,8% a 80,7%, mais uma vez a argila representa a maioria dessa fração com uma média de 34,4% do material, contribuindo a fração silte com no máximo 24,5%. Dentre os componentes grosseiros, predomina o pedregulho até 69,6%. Geralmente são materiais de comportamento não plástico, podendo em função da grande quantidade de finos atingir LL de 54% e IP de 21%.

Pelos sistemas de classificação de solos temos: no SUCS: CL, MH, SM', GC', GM' e GP'-GM', com predominância das duas primeiras; pela H.R.B.: A-2-7, A-4, A-5, A-6 e A-7-5, e apenas um resultado da MCT, que foi enquadrado como LG'.

Característica intrínseca desta subunidade é a presença constante de concreções lateríticas, que possivelmente evoluem com os processos pedogenéticos e cujos tamanhos estão relacionados ao maior ou menor grau de empastilhamento das rochas-mãe (pelitos da unidade PMp1).

Estão incluídos os seguintes tipos pedológicos: cambissolos, latossolos vermelho-escuros e latossolos vermelho-amarelos, pela ordem de ocorrência.

As espessuras estão entre 5 a 10 metros, prevalecendo a classe de declividade de 2% a 5%, onde o relevo suave ondulado sobressai. O comportamento do perfil de alteração típico é com o Grau VI relativamente espesso, quando comparados aos outros verificados: II, IV e V.

• P1.1p

Desenvolvida por sobre os mesmos litótipos das subunidades anteriores, diferencia-se pela textura com significativa participação da fração pedregulho e ausência de concreções lateríticas. Encontra-se distribuída nos vales da bacia do rio Preto e quase todo o extremo norte/noroeste da área, estando representada em 635,8 km² (10,94% do total).

A classificação textural aponta a predominância dos pedregulhos areno-argilosos (20,7%), seguidos pelas argilas areno-pedregulhosas e argilas siltosas (13,8%), pedregulhos arenosos, argila pedregulhosa com areia e pedregulho argiloso (10,36% cada um) e outras frações em menores proporções. As classificações Unificada e H.R.B. apresentaram quase todas as classes; GC' até MH (SUCS) e de A-2-4 a A-7-6 (H.R.B.), enquanto na MCT a maioria dos solos foram enquadrados na LG', mas com representantes nas classes NS', LA'-LG' e NS'-NG'.

Obtiveram-se, do ensaio granulométrico, valores máximos das frações grossa e fina de 87% e 92,1%, e mínimos da ordem de 7,84% e 13%, em respectivo.

Ao contrário da subunidade P1.1a, a fração pedregulho foi a que contribuiu mais expressivamente para a composição dos materiais classificados, exibindo percentual retido máximo de 68,2%.

Os valores máximos para os intervalos silte e argila retidos praticamente se equiparam - 69,5% e 60,8%, quase triplicando a favor da argila em relação aos mínimos - 3,47% contra 9,53%. Convém ressaltar que a fração argila está significativamente presente na quase totalidade das amostras submetidas ao ensaio granulométrico, o que é evidente pela própria natureza do material de origem.

A massa específica dos sólidos varia entre 2,68 g/cm³ e 2,86 g/cm³, com valor médio de 2,77 g/cm³; a umidade higroscópica entre 0,79% e 13,02%, com valor médio de 6,68%. Os valores da massa específica seca máxima estão entre 1,46 g/cm³ e 2,01 g/cm³, a umidade ótima entre 8,2% e 24,2% (média de 14,64%) e o ISC situado na faixa de 5,6% a 92%, cuja média é de 25,63%.

Os resultados alcançados para os limites de consistência evidenciam se tratar de material com comportamento normalmente não plástico a pouco plástico, com máximo de 61,9% para o LL, e máximo de 25% para o IP, porém as médias estão na casa dos 32% e 9,8%, na mesma ordem.

Os valores da CTC atingiram máximo de 11,2 e.mg/TFSA e 19,3 e.mg/argila, e mínimos de 2,0 e.mg/TFSA e 5,1 e.mg/argila, estando o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre 4,6 e 5,7 e o pH_{KCl} variando de 3,9 a 4,3. A saturação em bases vai de 12,5% a 42,86%. Tais resultados abrangem as classes pedológicas dos cambissolos (com maioria absoluta) e ainda com alguma expressão os latossolos vermelho-escuros e os podzólicos.

Os valores de SPT obtidos para esta subunidade de materiais inconsolidados apresentam máximo de 82 golpes, mínimo de 2 e média de 24 golpes. O comportamento do perfil de alteração é normalmente o mesmo em diversas exposições, onde os Graus I a V são os mais verificados e o VI é pouco espesso.

Ocorrem todas as classes de declividade estabelecidas, com predominância das mais elevadas (acima dos 10%) estando as espessuras entre 2 e 5 metros. A somatória dos aspectos mencionados vem corroborar com a significativa presença de erosões nesta subunidade, que soma 16% de todas as constatadas na área mapeada (Figura 6.17).

Figura 6.17 - Aspecto da erosão nos materiais da subunidade P1.1p (Ponto RA-242).

• P1.2

Os materiais dessa subunidade, onde prevalecem as argilas siltosas, estão localizados sobre litótipos calcários do Grupo Paranoá, na porções norte do Distrito Federal com pequenas manchas que somadas não ultrapassam à 17,3 km².

Tais argilas siltosas, considerados os poucos resultados disponíveis, têm valores máximos e mínimos obtidos para as frações de grossos e finos retidos de 37,2% e 6,33%; 93,6% e 62,8%, respectivamente. Dentre os grosseiros predominaram areias médias (com até 11,9%) e para os finos as argilas chegam a 63,9% contra 29,7% de silte.

A massa específica dos sólidos está em média próxima de 2,8 g/cm³; com umidade higroscópica de 13,4%; a massa específica seca máxima em 1,61 g/cm³, ficando o ISC em 15% e a umidade ótima em 17,4%. O resultado dos ensaios de limites de consistência exibem comportamento plástico, com LL médio de 56,2%, oscilando entre 37,4% e 75% e de 11% a 42% para IP (média de 26,5%).

Da única sondagem com SPT disponível, os valores mínimo, médio e máximo são da ordem de n igual a 3, 17 e 36, respectivamente. Exibe perfil característico com a inclusão freqüente dos graus I ao VII, onde as espessuras são muito variadas (mais normalmente pequenas).

Somente um ponto gerou resultados físico-químicos, apresentando uma CTC de 7,0 e.mg/TFSA e 14,58 e.mg/argila; o pH_{H2O} de 6,0 e pH_{KCl} em 5,4, estando a saturação em bases em 78,57%.

Pela classificação SUCS, têm-se solos do tipo CL e CH. O sistema H.R.B. os enquadra no tipo A-6 e A-7-5 e o MCT como LG'.

A maioria das classes de declividade estabelecidas ocorrem na subunidade, prevalecendo as acima de 10%, enquanto a espessura do material inconsolidado está quase sempre no intervalo de 0 a 2 metros.

Associam-se as seguintes classes pedológicas: cambissolos, brunizens avermelhados e terra roxa estruturada similar.

- **P1.3**

Distribui-se restritamente nos extremos nordeste e noroeste da área mapeada. Sobrepõe-se aos quartzitos da unidade PMp1 (Grupo Paranoá), ocupando uma área com aproximadamente 17,9 km², apenas 0,31% de todo o DF.

Apesar da indisponibilidade de resultados laboratoriais, pode-se, em função de suas características de campo, supor comportamento geotécnico similar aos materiais residuais dos quartzitos da mesma unidade geológica, que podem ter seus dados extrapolados para esta, principalmente aqueles da subunidade P4.1.

São areias finas pouco argilosas, esbranquiçadas, friáveis cuja espessura dificilmente ultrapassa aos 2 metros, em decorrência das altas declividades associadas (entre 10 e 20%). Seu perfil de alteração resulta, quase sempre, com a apresentação dos graus II a VI.

A diversidade de tipos pedológicos está limitada às areias quartzosas e aos cambissolos.

- **P1.4**

Como os materiais desta subunidade possuem irrisória distribuição no DF, com apenas 0,4 km² de área, o que corresponde à menos de 0,01% do território mapeado, à exemplo da anterior, não se dispõe de dados relativos a ensaios de laboratório.

Localizam-se sobre os dolomitos do Grupo Paranoá, na porção norte do Distrito Federal em única ocorrência, próxima à serra do Catingueiro. Seu perfil típico enquadra a sequência de níveis delgados do Grau I ao VII.

Segundo observações de campo, têm características comparáveis aos materiais residuais dos calcários, onde sobressaem as argilas siltosas, de colorações avermelhadas, cujas espessuras estão entre 0 a 2 metros e a classe de declividade é a de 10 a 20%. Das unidades pedológicas somente o cambissolo se faz relacionar.

b) *Metarritmito Argiloso (P2)*

Seguindo-se o mesmo critério da unidade anterior, esta foi subdividida em duas, em função da litologia de origem, apesar de incluídas no mesmo pacote litoestratigráfico: *P2.1* - Metargilito e Metassiltito; e *P2.2* - Quartzito.

• **P2.1a**

Correlacionada aos metargilitos e metassiltitos da unidade litoestratigráfica PMp2, é a que ocupa a maior área do DF, localizando-se em porções distintas, com aproximadamente 1.359 km² (23,4% da área estudada) e, talvez por isso, registra o maior número de ocorrência de erosões de porte representativo (quase 20% das erosões observadas na região), incluindo uma das maiores voçorocas do Distrito Federal (Figura 6.18.)

Figura 6.18 - Erosão do Gama nos materiais da subunidade P2.1a (Ponto RA-493).

Predomina a fração argilosa, com contribuições de silte e areia fina. Das amostras ensaiadas granulometricamente, a maioria se classifica como argila siltosa e argila arenosa, aparecendo significativamente as areias finas siltosa e argilosa. Nota-se alguma ocorrência de material pedregulhoso, que se deve a áreas que enquadrar-se-iam como concrecionária ou pedregulhosa, porém tão pequenas que não puderam ser delimitadas na escala adotada neste trabalho.

O percentual granulométrico retido máximo para a frações grossa e fina é de 86,6% e 95,1%, enquanto que para o mínimo têm-se 4,9% e 13,4%, em respectivo.

A massa específica dos sólidos média é de $2,77 \text{ g/cm}^3$ (mínima de $2,61 \text{ g/cm}^3$ e máxima de $2,92 \text{ g/cm}^3$); a umidade higroscópica apresenta faixa bastante ampla - entre 0,4% e 18,2%, a exemplo da massa específica seca máxima que varia de $1,21 \text{ g/cm}^3$ a $2,02 \text{ g/cm}^3$ (média de $1,49 \text{ g/cm}^3$), da umidade ótima - de 8% a 32,7% e do ISC entre 2% e 90%. Os limites de consistência apresentam resultados de não plásticos a 67,2% para o LL, e de não plásticos a 24,1% para o IP.

A CTC apresenta valores máximos de 7,1 e.mg/TFSA e 15,1 e.mg/argila, e mínimos de 1,8 e.mg/TFSA e 2,7 e.mg/argila. A saturação em bases varia de 2,44% a 66,67%. O $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ dos materiais inconsolidados desta subunidade está entre 4,9 e 6,4, enquanto o pH_{KCl} vai de 4,2 a 5,9.

A classificação SUCS enquadra os materiais da subunidade como sendo predominantemente CL, porém ocorre a maioria das outras classes. Pela HRB, são preferencialmente A-7-5, passando também por todas as outras; na MCT têm-se LG', NS', LA'-LG', NS'-NG' e ainda NA'. Associam-se latossolos vermelho-escuros (maioria absoluta), latossolos vermelho-amarelos e cambissolos.

As sondagens de simples reconhecimento com SPT revelam variações partindo de SPT igual a 1, aumentando gradativamente com a profundidade, até alcançar um número de golpes máximo de 76; porém, o intervalo mais representativo varia de 2 a 14, até os primeiros 5 metros, e de 11 a 30, para níveis abaixo da mencionada cota. Considerada a seqüência dos perfis de alteração da Tabela 4.2, somente é possível verificar os graus indo de V a VII e, mais raramente, o IV.

As declividades vão de 0% a maior que 20%, sendo as classes menores as mais freqüentes; associam-se espessuras dos intervalos de 0 a 2 metros até maiores que 20 metros, sendo que a classe de 5 a 10 metros exhibe maior relação em termos de área, com aproximadamente 17,25% (1.002 km²).

As grandes variações dos resultados de caracterização e classificação geotécnica são, principalmente, função das frações com predominância de pedregulhos, não descartadas quando da análise dos resultados, embora a distribuição espacial mencionada anteriormente.

• P2.1c

Geneticamente relacionada também aos metassiltitos e metargilitos, difere da subunidade anterior pela presença constante da fração pedregulho, sob a forma de concreções lateríticas; alguns dos pontos amostrados da subunidade anterior estariam melhor posicionado nesta, não fosse a questão da escala de trabalho.

Ocupa cerca de 43 km² (0,73% do DF), distribui-se em vários locais e forma as maiores cascalheiras verificadas na área (Figuras 6.19). Está representada por pedregulhos areno-argilosos (27,8%), pedregulhos arenosos (22,2%), pedregulhos argilo-arenosos (16,7%) e pedregulhos argilosos (11,1%); as demais frações, com presença menos significativa de pedregulho, somam juntas 22,2%.

Figura 6.19 - Cascalheira próxima à Brazlândia originada a partir de processos pedogenéticos dos metapelitos da unidade PMp2 (Ponto RA-352).

Os resultados dos ensaios granulométricos apontam os pedregulhos como responsáveis pela máxima contribuição na fração grossa retida (89,8%) e pelo mínimo da fração fina (10,2%). Apesar do menor percentual da fração grossa ser de 6,5%, a média está em torno de 68,6%.

Os pedregulhos na fração grossa, e as argilas na fração fina, são os principais contribuintes para a classificação textural da maioria dos materiais inconsolidados desta subunidade; contudo, em mais de 83% das amostras ensaiadas a fração areia tem papel significativo.

A massa específica dos sólidos e a umidade higroscópica variam em torno de $2,8 \text{ g/cm}^3$ e $6,4\%$, respectivamente; a massa específica seca máxima está entre $1,39 \text{ g/cm}^3$ e $1,98 \text{ g/cm}^3$, para uma umidade ótima de $11,3\%$ a $27,8\%$, com ISC indo de 9% a 124% . Os poucos resultados de limites de consistência revelam para o LL intervalo situado entre $33,3\%$ e $59,4\%$ e índice de plasticidade entre $7,9\%$ e $26,3\%$ (média de $14,7\%$). Convém alertar que possivelmente a não plasticidade deve ser muito mais comum do que refletem estas amostras.

As informações físico-químicas não foram obtidas, mas os resultados não devem ser muito diferentes daqueles apresentados pela subunidade P1.1c. O perfil típico desta subunidade apresenta-se do Grau III ao VI.

Pelo SUCS, os solos desta Unidade pertencem às classes GM', GM, GC'-GM', GP'-GM', SM', CL e SC. O sistema HRB indica solos em sua maioria enquadrados como A-2-7. Pelo MCT têm-se somente dois ensaios, ambos resultando na classe LA'-LG'. A classe pedológica associada mais freqüente é a de cambissolos.

De todas as classes de declividade, estão presentes somente aquelas inferiores à 10% , e as espessuras variam entre 5 e 20 metros. Às menores declividades (0 a 2%), correspondem espessuras entre 10 a 20 metros; às maiores declividades ($>5\%$), espessuras entre 5 a 10 metros.

• P2.1p

Recobrando os mesmos tipos litológicos da subunidade anterior, tem como principal característica a expressiva quantidade de pedregulhos, originários dos fragmentos da rocha subjacente. Encontra-se distribuída nos fundos e vertentes dos vales das bacias dos rios Descoberto, São Bartolomeu e Maranhão, estando representada em $7,12\%$ da área (com aproximadamente 414 km^2).

Ocorre nítida predominância da classe textural dos pedregulhos areno-argilosos ($45,8\%$), seguidos pelos pedregulhos arenosos (25%), e mais $16,7\%$ de outras classes com expressiva participação de pedregulhos. Somente $12,5\%$ das amostras não foram classificadas texturalmente com essa fração.

Da granulometria, obtiveram-se valores máximos das frações grossa e fina de 97,5% e 80,5%, e mínimos na casa dos 19,5% e 4,3%, respectivamente.

As frações pedregulho e areia foram as que participaram mais significativamente para a composição dos materiais classificados, exibindo percentuais retidos máximos de 93,7% e 83,7% (na seqüência).

Os intervalos silte e argila retidos tiveram, praticamente, seus valores máximos e mínimos equiparados - 55,0% e 52,5% (máximos) e 1% e 3,3% (mínimos). Ressalta-se, no entanto, que a fração argila se faz presente na maioria das amostras ensaiadas.

A massa específica dos sólidos varia entre 2,66 g/cm³ e 2,81 g/cm³ (média de 2,73 g/cm³), enquanto a umidade higroscópica situa-se entre 0,6% e 10,65%, com valor médio de 3,63%. O ISC apresenta-se em média com 49%, estando o mínimo em 3,1% e máximo na casa dos 92%, para valores de massa específica seca máxima entre 1,42 g/cm³ e 2,05 g/cm³ e de umidade ótima entre 7,7% e 20,3% (média de 14,01%).

Os limites de consistência demonstram plasticidade do material não tão elevada, com LL variando de não plástico à 53,4% (média de 32,9%) e IP igualmente entre o comportamento não plástico até 18,4%, cuja média situa-se próxima aos 9%.

Tanto a classificação Unificada quanto a H.R.B. exibem muitas das suas classes, sendo as mais freqüentes a GM' (SUCS) e a A-2-7 (H.R.B.), a única amostra classificada pela MCT foi posicionada como sendo LG'.

O único resultado de caracterização físico-química deste material mostra a CTC com 4,3 e.mg/TFSA e 8,8 e.mg/argila, o pH_{H₂O} de 4,9 e o pH_{KCl} em 4,2. A saturação em bases é de 6,98%. As classes pedológicas associadas são dos cambissolos (em maior quantidade) e os latossolos vermelho-escuros.

As sondagens realizadas na subunidade em epígrafe caracterizam pacotes com SPT em geral aumentando, repentinamente, de 1 para 24 golpes, até os 3 metros de profundidade, havendo acréscimos significativos (aproximadamente n igual a 80), com o aparecimento dos níveis mais pedregulhosos. O perfil típico desta subunidade exhibe uma transição gradual e estreita do Grau I ao V, aparecendo com pequenas espessuras o Grau VI.

Todas as classes de declividade são verificadas, predominando a de 10 a 20%. Somente os dois menores intervalos de espessura são constatados (0 a 2 metros e 2 a 5 metros), sendo que o primeiro com uma representação em área muito mais expressiva (366,8 km²).

Tudo isso ajuda a justificar o percentual representativo da ocorrência de erosões na região estudada, vez que esta subunidade apresenta-se como a terceira em frequência (10,71% das erosões do DF).

• P2.2

Esta subunidade se encontra representada por estreitas faixas em diversos pontos da área, somando 51,7 km² (0,89% do DF) e exibindo espessuras não superiores a 10 metros, com predomínio do intervalo de 0 a 2 metros. Somente é individualizada por sua relação com o substrato rochoso e pela quantidade de finos, principalmente nos locais onde se apresenta contígua aos materiais residuais dos quartzitos da unidade geológica PMp3.

As informações inerentes aos materiais decorrem do levantamento em campo e de análise de resultados laboratoriais que demonstram, claramente, insignificantes variações; a fração granulométrica das areias, particularmente a areia fina, exerce o total domínio sobre as demais, cujo valor mínimo nunca é inferior à 53%, a média está em torno de 74,8% e o máximo alcança 88,8%; acrescentadas às outras frações grossas estabelecem intervalo de 76,9% a 94,3% (84,2% de média).

Algumas áreas de mineração de areia exploram esses materiais, para emprego direto na construção civil (Figura 6.20).

Figura 6.20 - Exploração de areia exibindo material residual da subunidade P2.2, onde o perfil de alteração mostra os Graus VII e VI (Ponto RA-502).

À exceção de algumas poucas amostras (apenas duas) que destoam das outras, uma por apresentar 23% de finos e a segunda pela presença significativa de pedregulho (16,9%), o comportamento geral do material é muito similar, com a massa específica dos sólidos variando entre $2,72 \text{ g/cm}^3$ e $2,81 \text{ g/cm}^3$, massa específica seca máxima de $1,7 \text{ g/cm}^3$, para uma umidade ótima de 12,4% e ISC de 16%; inexistência de plasticidade e a umidade higroscópica é muito baixa, entre 0,5% e 4,49%.

A única informação das suas características físico-químicas mostra a capacidade de troca catiônica em 2,3 e.mg/TFSA e 9,6 e.mg/argila, o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ de 5,4 e o pH_{KCl} em 4,7, com uma saturação em bases de 13,04%.

A partir dos resultados laboratoriais, pode-se estimar um coeficiente de permeabilidade entre 10^{-4} cm/s e 10^{-2} cm/s (ou superior); ausência de expansibilidade e compacidade variando de mediamente compacto a muito compacto. O perfil de alteração típico inclui passagem pouco gradativa do Grau VI para o IV, e igualmente deste último para o I.

No Sistema Unificado de Classificação dos Solos, os materiais agrupam-se nos tipos SP-SC, SC', com predomínio da classe SC-SM. Pela H.R.B. enquadram-se nos grupos A-3 e A-2-4; segundo a classificação MCT, têm-se as classes LA, LA-LA' e LA'-LG'.

c) *Quartzito Médio (P3)*

Ao contrário das unidades anteriores, esta se apresenta com litologia única de origem - os quartzitos médios (*P3.1*).

• **P3.1**

Nos locais onde ocorrem os quartzitos da unidade litoestratigráfica PMp3 que lhes dão origem, verifica-se a presença de material francamente arenoso, com significativa contribuição dos finos, ao contrário da subunidade anterior; totalizam aproximadamente 154,9 km².

Tal material apresenta relativa homogeneidade em suas características físicas, mecânicas e químicas, tanto em superfície quanto em profundidade (neste caso, um pouco menor), pois seu perfil de alteração típico mostra gradação suave do Grau I ao VI; está intimamente relacionado às unidades pedológicas areias quartzosas e cambissolos, aparecendo por vezes como latossolos. Têm espessuras entre as classes 0 - 2 metros e 5 - 10 metros.

Tipificado por sua granulometria, pois em apenas duas amostras ensaiadas neste estudo o total de finos ($< 0,074$ mm) ultrapassou aos 25,0%, possui como faixa dominante a da areia fina, com as presenças constantes das areias grossa e média e mais raramente de pedregulhos - frações que emprestam ao material a pouca plasticidade, com LL variando de não plástico a 27,2% e IP entre não plástico a 14%, cujas médias ficam em 7% e 2,2%, respectivamente.

O valor médio para a massa específica dos sólidos é de $2,71 \text{ g/cm}^3$, com alterações não superiores a $\pm 0,09 \text{ g/cm}^3$, permanecendo a umidade higroscópica em níveis muito baixos, não mais do que 4,1%. Dos ensaios de compactação (Proctor Normal) executados pelo DER-DF, verifica-se a massa específica seca máxima entre $1,65 \text{ g/cm}^3$ e $2,00 \text{ g/cm}^3$, com umidade ótima de 7,7% a 16,7% e ISC entre 8% e 27% (média de 14,4%).

As colorações esbranquiçadas são as mais comuns com algumas variações para tons avermelhados em função da maior quantidade de finos.

Nos perfis da EMBRAPA(1978) acharam-se valores médios da capacidade de troca catiônica de 1,4 e.mg/TFSA e 5,3 e.mg/argila, tendo um $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre 5,4 a 5,9 e o pH_{KCl} de 5,1 a 6,1. A saturação em bases oscilou entre 6,25% e 15,4%.

A única sondagem de simples reconhecimento revela variação partindo de SPT igual a 16, aumentando gradativamente com a profundidade, até alcançar um número de golpes máximo de 30, porém é muito provável obter-se **n** menores em outros lugares nos 2 metros iniciais; a variação de 16 a 23 foi obtida nos primeiros 5 metros.

Pelas classificações usadas verificam-se, na Unificada, os grupos SC (maioria), SC-SM, SP-SC, SM e SC'; entretanto, na H.R.B., ocorre domínio equiparado dos grupos A-2-4 e A-2-6. Das amostras enquadradas pela classificação MCT, permaneceram nos campos NS'/NA' e LA, sendo possível o material ser introduzido em outra classe, tendo em vista a alta perda por imersão e a quantidade de finos.

Assim como os materiais residuais da subunidade P2.2, em todas as áreas de extração de areia existentes na área este material é retirado para utilização direta na construção civil.

d) *Metarritmito Arenoso (P4)*

Com base no critério adotado neste trabalho, subdividiu-se esta unidade em 2 (duas), tendo em vista a variação da litologia subjacente, apesar de incluídas no mesmo pacote litoestratigráfico (PMp4): P4.1 - Quartzito; e P4.2 - Metassiltito e Metargilito.

• P4.1

Esta subunidade ocupa cerca de 150,5 km² do Distrito Federal, praticamente marcando o limite norte do Parque Nacional de Brasília e, ainda, ao nordeste e sudoeste do DF, recobre as rochas quartzíticas integrantes da unidade geológica PMp4. É caracterizada por materiais muito arenosos, com expressiva parcela das frações siltosa e argilosa, ambas emprestando seus termos para quase 90% dos resultados obtidos.

A menor representatividade da fração grossa e conseqüente aumento da participação dos finos é uma das características que a diferencia dos outros materiais residuais de quartzitos (P2.2 e P3.1), excluídas as relações de campo dos litótipos a ela relacionados.

A espessura destes materiais tem como intervalo mais representativo o de 0 a 2 metros (quase 113 km²), quando desenvolvem perfis de alteração com mudanças bruscas e estreitas do Grau VI ao II, nem sempre sendo possível diferenciar os graus III e IV. Porém, quando atingem até 10 metros de espessura a facilidade é aumentada. As unidades pedológicas associadas são também as areias quartzosas, cambissolos e latossolos vermelho-amarelos.

Em termos de distribuição granulométrica, a pouca homogeneidade é significativa, quando as percentagens de finos variam de um mínimo de 12,9% ao máximo de 59,0%, sendo que permanecem majoritariamente próximo a 20,0%; entretanto, não exibem grandes modificações em profundidade. A fração grossa tem na areia fina seu principal componente (entre 16% e 78,7% - média de 50,5%), ocorrendo secundariamente os pedregulhos (de 0% a 39,5%).

Outras características naturais também expõem valores que se enquadram em grandes intervalos: a massa específica dos sólidos varia de 2,68 g/cm³ a 2,87 g/cm³, a umidade higroscópica, a exemplo da unidade anterior, é relativamente baixa, entre 0,5% e 1,9%. A massa específica seca máxima oscila de 1,67 g/cm³ a 2,00 g/cm³, sendo em média de 1,85 g/cm³; a média umidade ótima é igual a 10,6%, oscilando entre 8,2% e 32% e o ISC de 12% a 32%. Para os limites de consistência, apesar de serem comuns os materiais não plásticos, exibem alguns limites de liquidez até 46% e índices de plasticidade alcançando os 25%.

São comuns as colorações esbranquiçadas, porém chegam a vermelho-amareladas, sobretudo quando apresentam maiores quantidades da fração fina. As declividades mais comuns são aquelas superiores à 5%, apesar de ser também verificada a classe de 2 a 5%.

Do único resultado físico-químico, têm-se para a CTC o valor de 2,7 e.mg/TFSA e 27 e.mg/argila, estando o pH_{H2O} em 5,4, o pH_{KCl} em 4,2 e a saturação em bases em 14,81%. Igualmente, a sondagem de simples reconhecimento com SPT disponível mostra um mínimo de 2 e máximo de 30, para uma média de 18; o aumento é gradativo com a profundidade, variando de 2 a 8 nos primeiros 2 metros.

Na SUCS, os grupos SC-SM e SC'-GM' são os mais freqüentes; enquanto, na H.R.B. ocorre preferencialmente a classe A-2-4 e na classificação MCT, apareceram a LA, LA-LA' e NS'/NA'.

Os materiais desta subunidade são explotados para uso direto na construção civil em areeiros.

• P4.2a

Formados pela alteração dos metassiltitos e metargilitos da unidade PMp4, ocupa área de apenas 28,56 km² (0,49% do total mapeado), onde o intervalo de espessura predominante é o de 5 a 10 metros. Com a pouca evolução dos perfis de alteração (onde o Grau VI é normalmente incipiente), as frações grosseiras aparecem com bastante freqüência, alcançando a casa dos 71,3%, porém com média abaixo de 50%, cujo componente principal é a areia fina. A fração fina por sua vez varia de 28,7% a 73,2% (média de 52,2%). A classificação textural de apenas três amostras exibiu as classes das argilas areno-siltosas e das areias finas argilosas.

A massa específica dos sólidos apresentou valor 2,61 g/cm³; a umidade higroscópica deste material é baixa (0,38%); intervalo bastante estreito para a massa específica seca máxima variando de 1,7 g/cm³ a 1,83 g/cm³, com valores mínimos e máximos de umidade ótima em torno de 8,9% e 15,6% e do ISC entre 7,6% e 31,9%, respectivamente. Os limites de consistência forneceram valores máximos de 33,3% para o LL e de 7,5% para o IP, estando os mínimos como não plásticos.

O único ensaio de SPT para esta subunidade exibiu números de golpes do mínimo de 2 ao máximo de 53; somente acima dos 5 metros é que **n** ultrapassou de 10 golpes.

Os latossolos vermelho-escuros têm maior relação com esta subunidade, enquanto as áreas com declividades entre 2 a 5% são as mais freqüentes.

- **P4.2c**

Localizada em restrita porção à nordeste da área mapeada, perfazendo 2,84 km² (0,05% do território), esta subunidade caracteriza-se pelas quantidades de pedregulhos na forma de concreções lateríticas que, a similaridade das demais subunidades concrecionárias residuais, possivelmente decorrem de processos pedogenéticos, onde os tamanhos dessas concreções relacionam-se à intensidade do empastilhamento da rocha-matriz (metassiltitos e/ou metargilitos).

Verifica-se, por exame tátil-visual, que as quantidades das frações areia e argila são expressivas, principalmente da primeira. Como não se dispõe de informações decorrentes de ensaios geotécnicos e físico-químicos, pode-se tomar como base para caracterização e classificação destes materiais os resultados da subunidade P1.1c que muito se assemelham a estes em observações de campo e ainda por serem originados de tipos litológicos razoavelmente semelhantes.

As colorações são sempre vermelho-amareladas e estão associadas a esta subunidade os latossolos vermelho-amarelos; o intervalo de espessura entre 5 e 10 metros e a classe de declividade 5 a 10%.

- **P4.2p**

Abrangendo uma área total de aproximadamente 32,5 km² (0,56% do DF), este material resulta da alteração dos mesmos litótipos da subunidade anterior, diferenciando-se pela textura com proeminente presença da fração pedregulho, sem no entanto haver participação significativa de nódulos lateríticos. Distribui-se nos vales e vertentes de algumas drenagens da bacia do rio São Bartolomeu.

Texturalmente, predominam os pedregulhos arenosos, ocorrendo ainda os pedregulhos argilo-arenosos e outras frações com menores quantidades de pedregulho. Pela classificação Unificada e H.R.B., apresentaram os grupos GM', GP-GM, SM', SM e até MH (SUCS) e de A-2-4, A-2-7 a A-7-5 (H.R.B.), enquanto na MCT dos dois solos ensaiados um foi classificado como LA'-LG' e o outro como NA'/NG'-NS'; ressalta-se que somente os solos sem muitos pedregulhos foram ensaiados por esse método.

Da granulometria conseguiram-se valores máximos das frações grossa e fina de 88,9% e 74,9%, mínimos próximos a 25% e 11,1%, e médias de 65,6% e 34,3%, em respectivo. Os pedregulhos participam com até 70,8% de material retido.

Observa-se que a fração argila está significativamente presente na quase totalidade das amostras submetidas ao ensaio de granulometria, naturalmente em função da natureza da rocha de origem.

A massa específica dos sólidos encontrada é de $2,71 \text{ g/cm}^3$; a umidade higroscópica é de 7,56%, enquanto os valores da massa específica seca máxima estão entre $1,49 \text{ g/cm}^3$ e $1,93 \text{ g/cm}^3$, a umidade ótima entre 8,8% e 20,8% (média de 13,21%) e o ISC na faixa de 6,5% a 95% (em média é 59,9%).

Os resultados dos limites de consistência retratam um material pouco plástico, com máximo de 42,3% para o LL, e máximo de 13,2% para o IP, porém as médias estão na casa dos 25,2% e 6,6%, na mesma ordem.

Como não se têm informações pontuais de ensaios físico-químicos nesta subunidade, pode-se utilizar, por similaridade pedológica, os valores da subunidade P2.1p. A classe dos cambissolos é a mais freqüente.

Os ensaios de SPT nesta subunidade revelam máximo de 50 golpes, mínimo de 2 e média de 22 golpes, sendo os valores inferiores a n igual a 10 nos primeiros 2 metros, pois tal intervalo é o relacionado ao Grau VI do seu perfil de alteração típico, vez que os graus I a V são os mais constatados.

Ocorrem todas as classes de declividade estabelecidas, mas com evidente tendência para as mais baixas (abaixo dos 10%), estando as espessuras entre 0 e 2 metros.

e) *Ardósia (P5)*

Da mesma forma, subdividiu-se os materiais residuais da unidade PMp5 em 2 (dois) tipos distintos, em função dos litótipos originais: *P5.1* - Ardósia e Metassiltito; e *P5.2* - Quartzito.

• **P5.1a**

Esta subunidade é derivada do produto de alteração das ardósias e/ou dos metassiltitos da unidade PMp5 e abrange aproximadamente 154,6 km² (2,66% da área trabalhada), localizando-se na porção central do Distrito Federal, envolvendo o Plano Piloto e algumas das Regiões Administrativas de Brasília e aquelas dos setores oeste e sul contíguas ao Plano Piloto.

A fração fina é francamente dominante, sendo as maiores contribuições provenientes da argila, o que provoca o enquadramento com poucas variações das classificações empregadas. Das amostras ensaiadas granulometricamente, a totalidade foi incluída na classe textural das argilas siltosas (100%), enquanto no SUCS apareceram apenas os grupos MH (71,4%), ML (14,3) e CL (14,3), pela classificação H.R.B. 80% das amostras foram classificadas como A-7-5 e 20% como A-7-6; pela MCT, têm-se LG' (50,0%), LA'-LG' e NA'/NG'-NS' (25% cada uma). Associam-se latossolos vermelho-escuros (em sua maioria), latossolos vermelho-amarelos e cambissolos.

O valor máximo retido nas frações grossa e fina é de 52% e 98%, enquanto o médio gira em torno de 33,2% e 66,8%, respectivamente.

A massa específica dos sólidos média é de $2,83 \text{ g/cm}^3$ (mínima de $2,64 \text{ g/cm}^3$ e máxima de $3,02 \text{ g/cm}^3$); a umidade higroscópica apresenta-se entre 2,2% e 16,4% (média de 6,9%) enquanto a massa específica seca máxima varia de $1,38 \text{ g/cm}^3$ a $1,50 \text{ g/cm}^3$ (em média $1,41 \text{ g/cm}^3$), a umidade ótima de 26,3% a 28,0% e o ISC entre 5,5% e 17,8%. Os limites de consistência, apesar de apresentarem alguns resultados de NP (não plásticos), em média enquadram estes materiais como tendo boa plasticidade, pois chega a LL de 55,5% e o IP em 21,7%.

A não disponibilidade de informações físico-químicas permite a utilização, por equiparação, dos resultados referentes à subunidade P1.1a. As sondagens de simples reconhecimento com SPT exibem oscilações de n igual a 2, crescendo até atingir número de golpes máximo de 50; no entanto, o intervalo mais significativo varia de 2 a 11, nos primeiros 5 metros e de 18 a 40 em profundidades superiores a essa, ocorrendo tais aumentos de forma gradual. Segundo o estabelecido na Tabela 4.2, é possível verificar os graus indo de IV a VII e, em menor proporção, os graus III, II e I.

Todas as classes de declividade são verificadas, sendo que as mais baixas são freqüentemente melhor associadas, sobretudo a de 2 a 5%. Quanto aos intervalos de espessura aqueles de 5 a 10 metros e de 10 a 20 metros são os únicos verificados, praticamente se equiparando em termo de distribuição areal.

• P5.1c

Produtos também da alteração das ardósias e metargilitos, diferencia-se da subunidade P5.1a em função, principalmente, do expressivo aumento da fração pedregulho, na forma de concreções lateríticas, que chega a alcançar 78,2% neste tipo de material inconsolidado.

Recobrem apenas 11,8 km² da unidade geológica que lhe origina (Pmp5), ou seja, 0,2% da área do Distrito Federal; as maiores ocorrências são verificadas dentro e nas imediações do Parque Nacional de Brasília, formando grandes cascalheiras (Figura 6.21). Texturalmente, a subunidade é constituída por pedregulhos arenosos (40,0%), pedregulhos argilo-arenosos (20,0%) e outras frações com presença menos significativa.

Figura 6.21 - Material concrecionário da subunidade P5.1c, retirado para construção da barragem de Santa Maria (Parque Nacional de Brasília - Ponto RA-743).

A granulometria indica ser a fração pedregulho como a maior participante deste material, chegando ao máximo de 78,2% da amostra e média de 35%. A fração grossa não exibiu percentuais inferiores a 22% e sua média fica em torno de 65,39%. Apesar dos pedregulhos e areias terem papel de destaque na classificação textural, as argilas têm significativa participação.

As médias da massa específica dos sólidos e da umidade higroscópica giram em torno de $2,76 \text{ g/cm}^3$ e $12,6\%$, em respectivo; a massa específica seca máxima está entre $1,69 \text{ g/cm}^3$ e $2,1 \text{ g/cm}^3$, para uma umidade ótima de $10,8\%$ a $16,0\%$, com ISC oscilando de 40% a 85% . O limite de liquidez, para estes materiais, vai de não plástico até $61,6\%$, ficando o valor médio em $32,5\%$, para um índice de plasticidade oscilando entre não plástico e $17,7\%$ (média de $10,7\%$).

Não se têm informações físico-químicas nem de ensaios de resistência à penetração (SPT) desta subunidade, mas os resultados não devem diferenciar muito da subunidade P1.1c. O perfil típico desta subunidade também apresenta o Grau VI relativamente espesso (até 5 metros) e do Grau V ao I bem mais delgados.

Pelo SUCS, os solos desta Unidade pertencem às classes GM', GM, GC'-GM', GP'-GM', SM', CL e SC. O sistema HRB indica solos em sua maioria enquadrados como A-2-7. Pelo MCT, têm-se somente dois ensaios, ambos resultando na classe LA'-LG'. A classe pedológica associada mais freqüente é a do cambissolo.

As classes de declividade associadas são as inferiores à 10% , e as espessuras variam entre 5 e 20 metros. Às menores declividades ($< 5\%$) correspondem espessuras entre 10 a 20 metros, enquanto às maiores declividades (5 a 20%) associam-se as espessuras entre 5 a 10 metros.

• P5.1p

Esta subunidade engloba materiais originados a partir dos pelitos da unidade litoestratigráfica PMp5 (ardósias e metassiltitos) e possui como característica principal a grande quantidade de fragmentos da rocha-matriz, formando a mais importante fração granulométrica (pedregulho). Distribui-se pelas vertentes dos vales da bacia do rio São Bartolomeu, totalizando área de aproximadamente $101,1 \text{ km}^2$ ($1,74\%$ do DF).

O domínio das texturas pedregulhosas, principalmente como pedregulhos areno-argilosos e pedregulhos arenosos, é claro pois, conforme se pode observar nos resultados da granulometria, a fração correspondente ($> 2,0$ mm) apresenta-se em média com 35% da amostra (máximo de 58,2%), enquanto a soma dos grossos varia de 36% a 84,5%.

Por vezes, a fração fina possui papel de destaque, alcançando até 64% do material ensaiado (mínimo de 15,5% e média de 35,3%). As frações pedregulho e areia (com destaque para areia grossa) foram as que mais participaram na composição dos materiais classificados, tendo as argilas importante influência nos percentuais retidos, atingindo um máximo de 40%.

No que concerne à massa específica dos sólidos, as duas amostras ensaiadas apresentaram valores superiores a $3,00 \text{ g/cm}^3$ (média de $3,08 \text{ g/cm}^3$), com umidade higroscópica situada entre 1,5% e 2,1%; o ISC exhibe intervalo bem mais amplo (de 40,0% a 90,2%), estando a média em 57,7%. Os resultados de ensaios de compactação (Proctor Normal) dão para massa específica seca máxima uma média de $1,84 \text{ g/cm}^3$, com variações de $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ e de umidade ótima entre 12,5% e 16,3% (média de 14,9%).

Os limites de consistência demonstram plasticidade do material bastante elevada, com LL variando de 38,6% a 53,4% (média de 46,18%) e IP igualmente alto entre 8% a 30%, cuja média situa-se próxima aos 14,8%; muito provavelmente, os resultados de não plasticidade devem se fazer presentes.

Na classificação Unificada, os grupos GM' (maioria), MH e ML se fazem presentes, enquanto na H.R.B. surgem apenas duas classes: A-2-7 e A-2-4; as amostras classificadas pela MCT foram posicionadas nos campos LG' e NG'. Da pedologia, a classe de solo mais comum é de cambissolos.

Com a mudança gradual e pouco espessa dos diferentes graus do perfil de alteração típico, esta subunidade exhibe uma transição freqüente do Grau I ao V, aparecendo com pequenas espessuras o Grau VI.

Todas as classes de declividade são verificadas, predominando aquelas abaixo de 10%. Os dois únicos intervalos de espessuras constatados são os de 0 a 2 metros e de 2 a 5 metros, sendo o último com uma representação duas vezes maior que o primeiro (70,0 km²).

• P5.2

Encontra-se representada por duas áreas próximas à barragem de Santa Maria, dentro do Parque Nacional de Brasília, que somam apenas 11,94 km², correspondendo a 0,21% do Distrito Federal; exibem espessuras na faixa de 2 a 5 metros.

Puderam ser individualizadas pela relação com o substrato rochoso e pelas quantidades da fração grossa, particularmente as areias finas argilosas, quando do exame tátil-visual realizado em dois pontos de observação qualitativa (RA-744 e RA-745), durante a etapa de campo.

Os materiais apresentam-se friáveis, esbranquiçados a vermelho-amarelados, com exposições de perfis de alteração pouco expressivas; onde ocorrem, ressaltam a passagem gradativa do Grau VI para o IV e menos perceptivelmente deste último ao I.

Apesar de não se ter disponíveis resultados laboratoriais, pode-se, tendo em vista suas características *in situ*, extrapolar para esta os intervalos e classificações de subunidades residuais de quartzitos (principalmente da P2.2 e da P4.1), exibidos no Apêndice 1.

As baixas declividades associadas, sobretudo o intervalo de 5 a 10%, são as verificadas. Os tipos pedológicos ligados à subunidade são dos latossolos vermelho-amarelos e cambissolos.

Justifica-se a falta de informações sobre esta subunidade pelo fato da localização de suas duas ocorrências coincidir com a situação de uma unidade de conservação de uso indireto, onde as limitações para trabalhos de observações qualitativas e/ou quantitativas e de amostragens são grandes.

f) *Metassiltito Argiloso (P6)*

Por não ocorrerem variações litológicas mapeáveis, ao contrário das unidades anteriores, esta engloba apenas os materiais residuais dos metassiltitos argilosos (*P6.1*).

• **P6.1**

As dificuldades de acesso e a pouca expressividade areal desta unidade, próxima à nascente do córrego Olho D'água (bacia do rio Preto), representando apenas 0,08% da área total mapeada (cerca de 4,45 km²), fizeram com que apenas um ponto fosse descrito com observações qualitativas (RA-058).

Outra ressalva é importante: apenas as espessuras com intervalo entre 0 e 2 metros, foram constatadas, impedindo assim a evolução de boas exposições de perfis de alteração.

A sua delimitação obedeceu rigorosamente a da sua unidade geológica (PMP6); os materiais analisados tátil e visualmente indicam a nítida participação da fração pedregulhosa, onde pequenos fragmentos da rocha-matriz e/ou nódulos lateríticos encontram-se envolvido por material francamente silto-argiloso.

Os materiais apresentam-se medianamente compactos, com colorações avermelhadas, verificando-se a passagem gradativa do Grau VI para o V e, menos perceptivelmente, deste último ao I.

Como não se têm resultados laboratoriais deste material inconsolidado, pode-se utilizar os intervalos e classificações de subunidades argilo-pedregulhosas (particularmente a P2.1p e P4.2p) e extrapolá-los para esta, considerando suas características em campo.

As declividades verificadas são aquelas do intervalo de 5 a 10% e de 10 a 20%. A classe pedológica relacionada a subunidade é a dos cambissolos.

g) *Quartzito Microconglomerático (P7)*

A exemplo da unidade anterior, esta também se apresenta com um único litótipo que origina os materiais inconsolidados *P7.1* - os quartzitos microconglomeráticos da unidade litoestratigráfica PMp7.

• **P7.1**

Ocorrem na porção nordeste do Distrito Federal abrangendo superfície total, praticamente contínua, de aproximadamente 37,6 km², onde se pode verificar um material francamente arenoso, com pouca contribuição dos finos.

Os materiais inconsolidados apresentam-se homogêneos em suas características físicas, mecânicas e, possivelmente químicas (não se dispõe de perfis pedológicos nesta subunidade), tanto em superfície quanto em profundidade, mesmo seu perfil de alteração típico mostrando gradação brusca do Grau VI ao I. Pelo mapa pedológico, as classes das areias quartzosas e dos cambissolos são as mais freqüentemente associadas. Têm espessuras entre 0 e 5 metros.

As curvas granulométricas demonstram a marcante predominância da fração grossa sobre a fina, com percentuais máximos de 97,55% e 26,2%, respectivamente, sendo a areia fina responsável por mais de 58% do total do material (média de 70,5%), com as presenças constantes da areia média e mais raramente de pedregulhos e areia grossa. Os siltes e argilas comparecem, em média, com apenas 6,9% e 8,6% do material. Tal composição impõe ao material a não plasticidade, e a totalidade das amostras ensaiadas resultaram como não plásticas.

Os valores da massa específica dos sólidos variam de 2,7 g/cm³ a 2,75 g/cm³, ficando a umidade higroscópica em níveis baixíssimos, não mais do que 1,34%; a massa específica seca máxima obtida não varia, todas as amostras resultaram em 1,8g/cm³, com umidade ótima média de 10,2% e ISC entre 12% e 30%.

As colorações esbranquiçadas são as mais comuns, com algumas variações para tons avermelhados em função da maior quantidade de finos.

Considerando as classificações adotadas, verificam-se: na Textural, os tipos areia fina a média, areias finas argilosas e siltosas, enquanto na Unificada os grupos SP-SC (maioria) SP, SC e SC-SM, na H.R.B. o domínio do grupo A-2-4, aparecendo ainda, o A-2-6 e A-3 e na classificação MCT, enquadram-se nos campos NA, NA/NS' e LA (para aquelas com maior contribuição de finos).

A exemplo do que ocorre em outras subunidades arenosas, nesta também se observa a exploração de materiais (friáveis e em blocos) para uso direto na construção civil, como se observa na Figura 6.22.

Figura 6.22- Material arenoso friável e blocos originados de quartzito da unidade litoestratigráfica PMp7 (Ponto RA-054).

RESIDUAIS DO GRUPO CANASTRA (C)

a) *Filito* (C1)

Nesta unidade estão incluídos os produtos da alteração dos litótipos da unidade litoestratigráfica *Filito* (PMc1). Encontram-se subdivididos em duas subunidades, originadas a partir dos filitos carbonosos (C1.1) e dos filitos calcíticos (C1.2).

• C1.1a

Os materiais desta subunidade são oriundos exclusivamente de filitos carbonosos do Canastra, com predominância da classe textural argila siltosa (42,9%) e subordinadamente argila silto-arenosa (28,6%); em menores proporções, há a argila arenosa e a argila silto-pedregulhosa, silte argiloso e silte arenoso com frequência de quase 7,2% cada uma. Em termos de abrangência areal, ocupam cerca de 236,2 km² (4,1% do total mapeado), principalmente nos topos das vertentes da margem esquerda do rio São Bartolomeu e algumas porções da margem direita.

Os valores máximos obtidos do ensaio granulométrico para as frações grossa e fina são 61,5% e 96,4%, enquanto os mínimos são 3,6% e 38,4%, ficando a média para essas frações em torno de 17,3% e 82,7%, respectivamente.

Dos intervalos granulométricos da fração grossa, a areia fina apresentou maior contribuição nestes materiais residuais, enquanto na fração fina a argila contribuiu de modo mais expressivo. Ocorreram raras participações dos pedregulhos, com até 16,7%, mas são exceções não representáveis na escala deste trabalho e que melhor se enquadrariam nas subunidades concrecionária ou pedregulhosa.

Obtiveram-se valores médios para a massa específica dos sólidos de $2,79 \text{ g/cm}^3$; os valores máximo e mínimo ficaram entre $2,69 \text{ g/cm}^3$ e $2,88 \text{ g/cm}^3$. A umidade higroscópica apresenta intervalo bastante amplo de 1,08% a 16,15% (média de 10,14%); a massa específica seca máxima variou entre $1,22 \text{ g/cm}^3$ e $1,59 \text{ g/cm}^3$, com valores médios de umidade ótima e do ISC em torno de 27,4% e 13,3%, em respectivo. Para os limites de consistência, os valores máximos de 58% do LL e 23,19% do IP foram constatados, estando os mínimos em 31% e 7,8%, respectivamente.

A única sondagem de simples reconhecimento com SPT fornece número de golpes de 16, aumentando gradativamente com a profundidade, até alcançar o máximo de 50 golpes; é provável porém obter-se *n* menores em outros pontos nos 5 metros iniciais; a variação de 16 a 24 foi verificada nos primeiros 3 metros.

Os valores de CTC mínimos e máximos são: 2,7 e.mg/TFSA e 3,5 e.mg/TFSA, e 3,04 e.mg/argila e 3,93 e.mg/argila, com $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ variando de 5,4 a 5,6 e o pH_{KCl} entre 5,2 e 5,5. A saturação em bases atingiu o máximo de 29,63% e mínimo de 5,7%.

Quanto às classificações geotécnicas, observam-se no Sistema Unificado os grupos, em ordem decrescente de resultados: CL (50%), MH (42,9%) e SC; no entanto, pela H.R.B. ocorre o amplo predomínio do grupo A-7-5 (71,4%), aparecendo ainda o A-7-6, A-5 e A-6. As amostras submetidas ao enquadramento pela classificação MCT, apresentaram-se em maior número na classe LG' e LA'-LG'.

De acordo com a seqüência exposta na Tabela 4.2, o perfil de alteração típico e mais comum destes materiais é representado pelo Grau VI proeminente, passando para os outros graus paulatinamente e com espessuras variadas, mas igualmente métricos e diferenciáveis.

As classes pedológicas predominantes são as dos latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuros, enquanto o relevo normalmente está entre o plano e o suave ondulado, onde as declividades não ultrapassam a 10%. Ocorre, na subunidade e com mais frequência, o intervalo de espessura entre 5 a 10 metros e em menor proporção o de 2 a 5 metros.

Problemas relativos a erosões foram verificados, em pequenas proporções, envolvendo os materiais desta subunidade.

- **C1.1c**

Formando grandes porções distribuídas na bacia do São Bartolomeu, quadrante sudeste da área mapeada, que somadas alcançam 49,1 km², encontra-se material pedregulhoso com significativas quantidades da fração areia. A característica maior é a marcante ocorrência de concreções lateríticas, que estão provavelmente relacionadas aos filitos carbonosos (rocha-mãe). Assim como as demais concreções residuais, têm seus tamanhos controlados pelo maior ou menor grau de empastilhamento dos litótipos.

Exibem massa específica dos sólidos próxima a 2,77 g/cm³, umidade higroscópica de 10,5%; a massa específica seca máxima varia de 1,56 g/cm³ a 2,03 g/cm³ (média de 1,85 g/cm³), acompanhada por umidade ótima entre 7,7% e 21,5% (média de 13,7%) e ISC de 15,7% a 90%, cuja média fica acima dos 40%.

O percentual da fração grossa desses materiais está entre 18,0 e 96,2% (média próxima de 73,9%), enquanto a retenção média da fração fina é 26,0%; outra vez a argila representa a maioria dessa fração com média de 19,0% do material, contribuindo o silte com o máximo de 22,2%. Dos componentes grosseiros, predomina o pedregulho, chegando aos 82,3%. Geralmente, são materiais de comportamento pouco plástico, porém em função da quantidade de finos podem atingir LL de 57,0% e IP de 23,6%.

Pelos sistemas de classificação de solos, tem-se: no SUCS - GM', GP'-GM', GP, GM, SC', SM' e até CL e MH, com domínio das duas primeiras; pela H.R.B. - A-2-7, A-2-6 e A-2-5 e um único resultado da MCT que foi enquadrado no campo LG'.

Estão associados apenas aos tipos pedológicos cambissolos (quase 90%) e latossolos vermelho-amarelos.

As espessuras estão entre 5 a 10 metros, prevalecendo a classe de declividade de 2% a 5. O comportamento do perfil de alteração típico é com o Grau VI relativamente espesso, quando comparado aos outros verificados: II, IV e V.

• C1.1p

Derivados dos mesmos litótipos das duas subunidades anteriores, apresenta como principal diferença a textura com expressiva participação da fração pedregulho, sem a presença das concreções lateríticas. Encontra-se ocupando praticamente todo o vale do rio São Bartolomeu, o que perfaz pouco mais de 553,8 km² (9,53% do total mapeado).

Pela classificação textural houve a predominância dos pedregulhos areno-argilosos (35,7%), seguidos pelos pedregulhos arenosos e argilas siltosas (14,3% cada) e pedregulhos argiloso e argilo-arenoso, argilas pedregulhosas e outras mais finas com representatividade de pouco mais de 7% cada uma. As classificações Unificada e H.R.B. apresentaram quase todas as classes, indo do GP até MH (SUCS) e de A-1 a A-7-6 (H.R.B.), enquanto na MCT os materiais foram enquadrados como LG', LA e LA'-LG'.

Obtiveram-se do ensaio granulométrico valores máximos das frações grossa e fina de 99,6% e 92,6%, e médias da ordem de 64,45% e 35,3%, em respectivo. Contrariamente à subunidade C1.1a, a fração pedregulho foi a que contribuiu mais expressivamente para a composição dos materiais classificados, exibindo percentual retido máximo de 98,3%. Os valores máximos e mínimos para os intervalos silte e argila retidos praticamente se equiparam, pela sequência: 77,0% e 64,4% (máximo), e 0,3% e 0,1% (mínimo).

A massa específica dos grãos varia entre 2,48 g/cm³ e 2,86 g/cm³, com valor médio de 2,73 g/cm³; a umidade higroscópica entre 0,1% e 13,8%, com valor médio de 4,04%. Os valores da massa específica seca máxima estão entre 1,46 g/cm³ e 2,06 g/cm³, a umidade ótima vai de 8,7% até 26,3% (média de 16,96%) e o ISC situado na faixa de 5,5% a 60,0%, com média de 40,3%.

Os resultados dos limites de consistência evidenciam se tratar de material com comportamento normalmente não plástico a pouco plástico, com máximo de 59,9% para o LL e de 23,9% para o IP, porém as médias estão na casa dos 34,6% e 11,3%, na mesma ordem.

Valores da CTC alcançaram máximo de 5,2 e.mg/TFSA e 7,9 e.mg/argila e mínimos de 2,1 e.mg/TFSA e 3,8 e.mg/argila, estando o pH_{H2O} entre 5,5 e 5,8 e o pH_{KCl} variando de 4,3 a 5,2. A saturação em bases vai dos 13,0% a 34,6%. Estes resultados abrangem as classes pedológicas dos cambissolos (com maioria absoluta) e, ainda, com poucas representações dos latossolos vermelho-escuros e vermelho-amarelos.

Quanto a resistência à penetração, os valores de SPT obtidos para esta subunidade apresentam máximo de 68 golpes, mínimo de 2 e média de 23 golpes. O comportamento do perfil de alteração é quase sempre o mesmo, apresentando os graus I a V mais expressivos, enquanto o VI é pouco espesso (Figura 6.23).

Figura 6.23 - Perfil de alteração típico da unidade C1.1p apresentando os graus V e VI (Ponto RA-603).

Ocorrem todas as classes de declividade estabelecidas, mas com uma preferência para aquelas acima de 5%, exceto nas margens das maiores drenagens. As espessuras entre 0 e 2 metros são as mais representativas da subunidade.

Convém lembrar que o conjunto das características destes materiais explica razoavelmente bem a expressiva quantidade de voçorocas e ravinamentos, chegando para o primeiro caso a cifra de 7,14% das erosões observadas no Distrito Federal.

- **C1.2**

Como os materiais residuais desta subunidade estão representados apenas por uma parcela ínfima da área, com menos de 0,4 km² do Distrito Federal, correspondendo somente cerca de 0,01% da porção estudada, à exemplo da subunidade P1.4, não se tem disponível informações inerentes a ensaios de caracterização e classificação geotécnica.

Posicionam-se sobre os filitos calcíticos do Grupo Canastra, na porção extremo norte do DF, em uma pequena mancha, próxima ao córrego do Ouro. Seu perfil típico enquadra a sequência de níveis delgados do Grau I ao VI.

Segundo observações de campo, têm características comparáveis aos materiais residuais dos filitos carbonosos, onde sobressaem as argilas siltosas, porém com significativa presença de fragmentos da rocha-matriz, de colorações avermelhadas, cujas espessuras estão entre 0 a 2 metros e a classe de declividade corresponde à maior que 20%. Das unidades pedológicas, o cambissolo é a única que se faz presente.

b) *Calcixisto*(C2)

Relacionados com único litótipo, estes materiais apresentam-se como produto da alteração dos calcixistos (C2.1), cuja unidade litoestratigráfica é a PMc2.

- **C2.1**

Totalizando cerca de 44,6 km² (0,77% da área), os materiais desta subunidade recobrem os calcixistos verificados somente no quadrante noroeste do Distrito Federal e se constituem por material essencialmente fino (argiloso e/ou siltoso), com significativa contribuição de areia fina.

Tal material apresenta características físicas, mecânicas e químicas relativamente homogêneas, principalmente na parcela correspondente ao Grau VI do perfil de alteração e, em menor proporção naqueles abaixo (Grau V ao I), pois exibe suave gradação; associa-se às unidades pedológicas dos cambissolos, latossolos e podzólicos vermelho-amarelos. Aparece com intervalo de espessura entre 0 e 2 metros, provocado principalmente pelas declividades maiores que 5%, sendo a classe predominante aquela acima de 20%.

Sua granulometria revela o total de finos ultrapassando os 52,5%, possuindo como faixa dominante a da argila, por vezes com expressiva participação de silte, frações estas que emprestam ao material alta plasticidade. A única amostra submetida aos ensaios para determinação dos limites de consistência (exatamente a que possui grande quantidade de silte) apresentou LL igual a 34,3% e IP de 10,1%.

O valor obtido para a massa específica dos sólidos foi de 2,89 g/cm³, a umidade higroscópica no nível de 0,32%. Não se tem disponíveis resultados dos ensaios de compactação (Proctor Normal) executados pelo DER-DF.

No único perfil da EMBRAPA(1978) acham-se valores da capacidade de troca catiônica de 4,0 e.mg/TFSA e 8,0 e.mg/argila, tendo pH_{H2O} de 5,8 e o pH_{KCl} em 4,3. A saturação em bases fica na casa dos 40,0%.

As sondagens de simples reconhecimento com SPT revelam números de golpes começando de 9 e crescendo gradativamente com a profundidade, até alcançar um máximo de 50, tais valores ocorrem a poucas profundidades (abaixo dos 3 metros).

Pelas classificações usadas, verificam-se na Textural as classes de argila siltosa e silte arenoso, na Unificada o grupo CL, enquanto na H.R.B. ocorre o A-6 e na MCT o campo NA/NS', nestas três últimas classificações, somente uma amostra foi considerada (silte arenoso), sendo possível a predominância das classes mais representativas da fração argilosa.

c) *Micaxisto* (C3)

Considerando-se o critério para descrição das unidades de materiais residuais, esta foi separada em duas subunidades, tendo em vista a litologia de origem, apesar de incluídos na mesma unidade litoestratigráfica (PMc3): *P3.1* - *Micaxisto* e *P3.2* - *Quartzo Xisto*.

• C3.1a

Originada dos micaxistos da unidade PMc3, ocupa área de 74,2 km² (1,3% do total estudado), distribui-se pelo setor sudoeste do DF, ocupando os locais mais elevados do relevo naquela porção.

Nestes materiais, ocorre a supremacia da fração argilosa, com contribuições de silte e areia fina equiparáveis. Das amostras ensaiadas granulometricamente, a maioria se classifica como argila siltosa, argila silto-arenosa e areia fina silto-argilosa, tendo maiores significâncias as duas primeiras. O percentual retido máximo das frações grossa e fina é de 42,8% e 95,7%, estando as médias situadas em 21,3% e 78,7%, respectivamente.

Em apenas duas amostras foram realizados ensaios, tendo-se alcançados os seguintes resultados: a massa específica dos sólidos média é de 2,82 g/cm³ (entre o mínimo de 2,73 g/cm³ e máximo de 2,91 g/cm³); a umidade higroscópica apresenta intervalo relativamente estreito - de 7,2% e 15,3%, da mesma forma que a massa específica seca máxima que varia de 1,37 g/cm³ a 1,41 g/cm³ (média de 1,39 g/cm³); a umidade ótima está entre 20% e 25,2% e o ISC oscila entre 4,2% e 15%.

Os limites de consistência apresentam resultados variando de 45,4% a 53,6% para o LL e de 12,3% a 19,5% para o IP.

A capacidade de troca catiônica apresenta valores máximos de 3,5 e.mg/TFSA e 35,0 e.mg/argila, e mínimos de 0,7 e.mg/TFSA e 3,8 e.mg/argila. A saturação em bases varia de 11,4% a 17,2%. O pH_{H_2O} dos materiais inconsolidados desta subunidade está entre 4,6 e 5,4, enquanto o pH_{KCl} vai de 4,0 a 5,3.

A classificação SUCS enquadra os materiais da subunidade como sendo predominantemente CL, porém ocorre o grupo MH em representativa quantidade. Na H.R.B., são exclusivamente A-7-5, porém há possibilidade de ocuparem outras classes com características pouco variadas. Na MCT, têm-se os campos LA'-LG' e LG'. Associam-se a latossolos vermelho-escuros (em sua maioria) e os latossolos vermelho-amarelos.

Considerando-se a seqüência exposta na Tabela 4.2, somente é possível verificar os graus de V a VII e, mais raramente o IV, sendo o Grau VI com espessura acima dos 4 metros aquele que melhor tipifica a subunidade.

As declividades são quase sempre menores que 10%, sendo as classes inferiores as mais freqüentes; estão associadas às espessuras do intervalo de 5 a 10 metros.

• C3.1c

Proveniente dos processos de alteração sofridos pelos micaxistos, diferencia-se da subunidade C3.1a pela significativa quantidade de nódulos lateríticos constituindo a fração pedregulho, principal representante na curva granulométrica.

Abrange pequena área do Distrito Federal, com aproximadamente 6,94 km² (0,12% do total mapeado), sob formas isoladas distribuídas no extremo do quadrante sudoeste, onde aparecem algumas das inúmeras cascalheiras verificadas na área. A subunidade está representada por pedregulhos areno-argilosos (75%) e argilas pedregulhosas (25%); as demais frações pedregulhosas podem marcar presença em menores quantidades.

Dos ensaios granulométricos, pôde-se observar que os pedregulhos respondem em média com 47,3% do total do material (oscilando entre 19,7% e 60,4%), contribuindo para que a fração grossa retida máxima seja de 82,0% e mínima de 46,0%. A média da fração fina gira em torno de 27,6%.

As areias, particularmente as grossas, são contribuintes importantes na classificação textural da maioria dos materiais inconsolidados desta subunidade. A massa específica seca máxima está entre 1,76 g/cm³ e 1,94 g/cm³, para uma umidade ótima de 10,8% a 16,6%, com ISC variando de 27% a 66% (média de 49%). Os resultados dos limites de consistência revelam para o LL intervalo situado entre o não plástico até 47,1% e índice de plasticidade chegando ao máximo de 14,1% (média de 8,83%).

As informações físico-químicas, como na maioria das subunidades concrecionárias, não foram obtidas, mas os resultados não devem ser muito diferentes daqueles apresentados pela subunidade P1.1c. O perfil típico desta subunidade apresenta-se do Grau I ao VI, sendo este último o único com espessura considerável.

No Sistema Unificado, os solos desta Unidade foram posicionados nos grupos GM' (maioria), SM' e SC'. O sistema HRB indica materiais enquadrados como A-2-7 e, secundariamente, no A-2-5 e A-6. A unidade pedológica que mais está associada é a dos cambissolos.

Encontram-se relacionadas, predominantemente, as classes de declividade inferiores à 5% e de espessura entre 5 e 10 metros. Às menores declividades (0 a 2%) correspondem espessuras mais próximas ao limite superior, enquanto que nas maiores declividades as espessuras tendem aos 5 metros.

- **C3.1p**

Os materiais desta subunidade têm como característica marcante a quantidade de pedregulhos, constituídos pelos fragmentos da rocha-matriz. Aham-se ocupando os fundos e vertentes dos vales das maiores drenagens da bacia do rio Descoberto, no setor sudoeste do DF, perfazendo aproximadamente 253 km² (4,37% da área mapeada).

Na classificação textural, aparecem apenas tipos onde a fração pedregulho se faz presente, tais como: pedregulhos areno-argilosos (42,9%), argilas areno-pedregulhosas (28,6%), seguidos pelos pedregulhos arenosos e argilas pedregulhosas (14,25% cada um).

Os ensaios de granulometria forneceram valores máximos das frações grossa e fina de 86,8% e 54,0%, e médias em torno dos 67,7% e 32,3%, respectivamente.

As frações pedregulho e areia foram as que tiveram participação mais significativa na composição dos materiais classificados, exibindo percentuais retidos máximos de 71,07% e 44,4% (na ordem), esta última seguida de perto pelas argilas com máximo de 39,6%.

Dos ensaios de compactação (Normal) realizados pelo DER-DF, observou-se que o ISC apresenta média de 38,2%, estando o mínimo em 8,0% e o máximo na casa dos 92%, para valores de massa específica seca máxima entre 1,58 g/cm³ e 1,93 g/cm³ e de umidade ótima entre 6,4% e 20,8% (média de 11,8%).

Os limites de consistência demonstram plasticidade do material não muito elevada (comparativamente), com LL variando de não plástico à 52,7% (média de 17,0%) e IP de igual comportamento, entre não plástico até 14,3%, cuja média situa-se próxima aos 3,9%.

Na classificação Unificada, os grupos GM' , SC'-GM' e o SC' tiveram o mesmo peso de representação (28,6%) e o CL com apenas 14,2% dos resultados. Pela H.R.B. predominou a classe A-6 (42,9%), seguida pela A-2-7 (28,6%), A-4 (14,25%) e A-1b(14,25).

O único perfil pedológico, de onde obteve-se a caracterização físico-química deste material, mostra a CTC com 4,3 e.mg/TFSA e 15,9 e.mg/argila, pH_{H_2O} de 4,7 e pH_{KCl} em 4,1. A saturação em bases é de 6.98%. Nas classes pedológicas associadas, estão os cambissolos (quase 90%) e os latossolos vermelho-escuros.

O perfil típico desta subunidade, a exemplo de outras subunidades pedregulhosas, exhibe transição gradual e delgada do Grau I ao V, aparecendo o Grau VI com insignificantes espessuras.

Todas as classes de declividade são verificadas, predominando a de 5 a 20%. Apenas as menores classes de espessura são constatadas - 0 a 2 metros e 2 a 5 metros, tendo a primeira uma representação areal de 527,1 km² e a segunda somente 27,1 km².

• C3.2

Ocupando 16,2 km² (0,28% do DF) no baixo curso do rio Descoberto, exibindo espessuras entre 0 e 2 metros e declividades entre 2 e 10%, os materiais desta subunidade apresentam textura arenosa, com boa parcela da fração fina, particularmente silte, derivados da alteração incipiente dos quartzo-xistos.

Os dados referentes aos materiais decorrem de um único perfil realizado pela EMBRAPA(1978) e demonstram a nítida influência que a areia fina exerce sobre os demais em 51,0%, que quando acrescentados das outras frações grossas estabelecem 61,0% da amostra.

As características físico-químicas mostram a capacidade de troca catiônica em 2,2 e.mg/TFSA e 36,7 e.mg/argila, pH_{H_2O} de 4,8, pH_{KCl} em 3,9 e a saturação em bases de 13,64%.

O pouco desenvolvimento do perfil de alteração, associado ao tamanho da área, dificulta o estabelecimento do perfil típico, porém no ponto observado constatou-se a passagem pouco gradativa do Grau VI para o V e igualmente deste último para o I.

6.5.2.2 *Materiais Retrabalhados (T)*

Incluem-se, nesta unidade aqueles, materiais inconsolidados que sofreram mudanças consideráveis, sobretudo por agentes de transporte, capazes de lhes alterar as características originais; são portanto materiais retrabalhados que não se correlacionam geneticamente às litologias sobre as quais se posicionam.

Em termos de área ocupada por estes materiais, tem-se apenas 5,2% do Distrito Federal (aproximadamente 302,5 km²), porém encontram-se distribuídos por todos os quadrantes mapeados.

A evolução geomorfológica é suficiente para explicar a pouca representatividade do conjunto dos materiais retrabalhados, onde os processos de degradação do relevo vem sendo muito mais intensos do que os de acumulação (respeitada a escala de observação deste trabalho).

a) *Arenosa (T1)*

Os materiais que caracterizam esta unidade recobrem ou estão geograficamente muito próximos das unidades arenosas do Grupo Paranoá, particularmente dos Metarritmitos Arenosos (PMp4), posicionando-se ao longo de cursos d'água e perfazendo total de 27,5 km² (0,47% do DF).

São areias finas com poucas contribuições de pedregulho e argila (não mais que 26%), cujos valores granulométricos percentuais das frações grossa e fina retidas são bastante distintos, ou seja, máximos para as frações grosseira e fina - 79,9% e 32,1%; e médias para as mesmas frações - 73,9% e 26,1%, em respectivo.

A massa específica dos sólidos, para estes materiais, se encontra em torno de $2,71 \text{ g/cm}^3$ e a umidade higroscópica em 0,43%, variando a massa específica seca máxima entre $1,64 \text{ g/cm}^3$ e $1,70 \text{ g/cm}^3$. A umidade ótima e o ISC ficaram, em média, na casa dos 13,5% e 19,3%, respectivamente. O único resultado obtido da EMBRAPA(1978), para esta unidade, indica valores de CTC da ordem de 2,7 e.mg/TFSA e 7,9 e.mg/argila, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ de 5,2 e o pH_{KCl} de 4,5; a saturação em bases foi de 14,8%.

Os limites de consistência para os materiais desta unidade apresentaram apenas resultados de não plasticidade. Não foram obtidos resultados de SPT.

As classes nas quais se enquadram, dentre os sistemas de classificação de solos utilizados são: SM' e SC (SUCS) e A-2-6 (HRB). A classe pedológica associada é a de areias quartzosas e latossolos vermelho-escuros.

As declividades, na área de abrangência desta T1, estão entre 2 a 10%, e as espessuras são relativamente variadas, ocorrendo as classes entre 2 a 5 metros e de 10 a 20 metros, essa última em muito maior quantidade e relacionada às menores declividades.

b) *Argilosa (T2)*

Em sua maioria está presente na bacia do São Bartolomeu, ocupando área de aproximadamente $37,5 \text{ km}^2$, recobrando principalmente os filitos carbonosos do Grupo Canastra, sendo caracterizada pela predominância de argila e silte.

Para as amostras submetidas a ensaio granulométrico, obtiveram-se as seguintes classificações: argila sitosa e pedregulho argiloso, estando esta última enriquecida por seixos de quartzito, formando linhas de seixo, em uma porção bastante restrita (Figura 6.24), não delimitável na escala deste trabalho.

Figura 6.24 - Linha de seixo intercalada em material argiloso, com nítida indicação de retrabalhamento (Ponto RA-578).

Por conta disso, as contribuições percentuais das frações grossas e finas retidas alcançaram máximos de 89,4% e 82,8%, e mínimos de 17,2% e 10,6% (médias de 48% e 52,2%), respectivamente.

A massa específica dos sólidos ficou em torno de $2,73 \text{ g/cm}^3$, com variação de $\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$, a umidade higroscópica variou entre 2,4% e 7,6%. A massa específica seca máxima oscilou entre $1,41 \text{ g/cm}^3$ e $1,67 \text{ g/cm}^3$, para uma umidade ótima indo de 22,5% a 24,3% e ISC entre 6,0% e 13,8%. Os limites de consistência revelam que tais materiais se comportam também como plásticos, chegando a alcançar o máximo de 53,7% para o LL e 19,0% para o IP (mínimo de 49,6% e 13,4%, respectivamente).

São materiais pertencentes às classes de solos segundo a SUCS: MH, ML, CL e GM (uma única amostra); na H.R.B.: A-7-5, A-4, A-6 e A-5. Os latossolos vermelho-escuros e solos hidromórficos são os representantes da classe pedológica associada.

Ocorrem declividades entre 2% a 20% (predominando os menores intervalos) e espessuras pequenas (2 a 5 metros) a médias (5 a 10 metros), quase equitativamente.

c) *Argilo-Pedregulhosa (T3)*

Tem pouca representatividade espacial na área mapeada, com cerca de 13,2 km², e se posiciona sobre os pelitos tanto do Grupo Paranoá quanto do Canastra, principalmente espalhada na porção leste do Distrito Federal e a norte de Brazlândia.

Pela análise granulométrica, os materiais ensaiados se constituem predominantemente em pedregulho argilo-arenoso, pedregulho argiloso e pedregulho areno-argiloso (66,7 %), com ocorrências de argila siltosa. As frações grossas e finas retidas apresentam valores máximos de 92,9% e 87,0 % e mínimos de 13,0% e 7,1%, em respectivo. A constituição destes materiais em sua fração grosseira ora é decorrente das concreções lateríticas (sob a forma de métricos níveis de seixo), ora engloba fragmentos de diferentes litótipos que ocorrem na região.

A massa específica dos grãos está entre 2,69 g/cm³ e 2,81 g/cm³; a umidade higroscópica varia de 3,0% a 9,7%. A massa específica seca máxima vale, em média, 1,79 g/cm³, variando em $\pm 0,19$ g/cm³, enquanto a umidade ótima vai de 12,6% a 21,7% e o ISC de 20,0% a 50,0%.

Os limites de consistência indicam que os materiais se comportam como muito plásticos, com LL máximo de 71% e IP máximo de 29,3%.

De acordo com a classificação SUCS, são do tipo SM', GM, MH, ML e CL. Pelo sistema da H.R.B., classificam-se como A-7-5, A-2-7, A-2-5 e A-5. Já pela MCT, das duas amostras classificadas (coletadas no mesmo ponto), a primeira (acima da linha de seixos) apresentou-se como NA'/NG'-NS' e aquela abaixo do nível referido como LG'.

A diversidade de classes pedológicas associadas é alta, englobando desde os solos hidromórficos até os cambissolos, passando pelos latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuros.

Exceto o intervalo $> 20\%$, todas as outras classes de declividade ocorrem nesta unidade, particularmente aquelas menores que 10% , e às mesmas se associam espessuras entre 5 a 10 metros.

d) *Areno-Pedregulhosa (T4)*

Posiciona-se no extremo norte do DF, ao longo de pequenos afluentes do ribeirão da Contagem, sobre litologias do Grupo Canastra, ocupando $5,5 \text{ km}^2$ ($0,09\%$ da área). Caracteriza-se pela maior presença de pedregulhos dentre as demais frações granulométricas, ocorrendo de forma significativa as faixas arenosas.

Tem-se informação de apenas uma amostra nesta unidade (fora exame tátil-visual em campo), que após ensaio de granulometria se classificou como pedregulho arenoso. O percentual de material grosseiro retido obteve $82,5\%$, com a fração argilosa participando com $12,8\%$, enquanto na fração grossa obteve-se maior contribuição de pedregulhos ($50,7\%$).

A massa específica dos sólidos foi de $2,70 \text{ g/cm}^3$ e a umidade higroscópica ficou em $2,5\%$. Os valores encontrados para a massa específica seca máxima, umidade ótima e ISC foram de $2,07 \text{ g/cm}^3$, $13,1\%$ e 100% , em respectivo. Apesar de ser esperado na determinação dos limites de consistência um comportamento não plástico para as areias pedregulhosas, o limite de liquidez encontrado foi de $35,4\%$, ficando o índice de plasticidade em $9,5\%$.

De acordo com os sistemas de classificação adotados neste trabalho, os materiais inconsolidados desta unidade se comportam como GM' (SUCS), A-2-4 (HRB) e se associam aos solos hidromórficos da pedologia.

As declividades predominantes são altas ($> 10\%$), ocorrendo os dois intervalos compreendidos por este limite. As espessuras do material inconsolidado variam de 2 a 5 metros.

e) *Intermediária (T5)*

É a de maior representatividade espacial na área mapeada dentre os materiais retrabalhados, com o total de $167,4 \text{ km}^2$, e se posiciona sobre a maioria das unidades geológicas identificadas, principalmente aquelas do Grupo Paranoá, que apresentam relevo normalmente plano a suave ondulado.

As areias e materiais finos desta unidade ocorrem em diversas zonas do Distrito Federal, acompanhando as principais drenagens da área, apresentando como característica marcante o equilíbrio nas participações das frações grossa e fina, motivo pelo qual recebe a denominação Intermediária.

Dentre as amostras ensaiadas granulometricamente, 25% são areias finas siltosas, tendo participações ainda argila arenosa, argila siltosa, argila areno-pedregulhosa, pedregulho arenoso, pedregulho areno-argiloso e pedregulho argilo-arenoso (cada um com 12,5% de frequência). A fração grossa retida apresentou percentuais máximos de 80,8% e mínimo de 3,8%; a fração fina retida, valores entre 19,2% e 96,2%. As frações grossa e fina tem valores percentuais médios de aproximadamente 50,0%.

A massa específica dos sólidos variou entre $2,69 \text{ g/cm}^3$ e $2,82 \text{ g/cm}^3$ e a umidade higroscópica obteve resultados entre 2,1% e 4,9%. A massa específica seca máxima variou entre $1,34 \text{ g/cm}^3$ e $1,97 \text{ g/cm}^3$; a umidade ótima foi de 9,8% a 28,1%, com intervalo de ISC igualmente dilatado - entre 4,2% a 84,0%. O LL atingiu valor máximo de 54,9%, e o IP o máximo de 13,8%, embora os materiais ensaiados hajam se comportado também como não plásticos.

Os valores máximos achados para CTC foram de 7,5 e.mg/TFSA e 20,8 e.mg/argila; os mínimos foram 2,4 e.mg/TFSA e 4,62 e.mg/argila. A saturação em bases apresentou valores de 12,5% a 84,0%. Os ensaios de resistência à penetração (SPT) mostram resultados de 1 a 62 golpes, com média de 22 golpes; apesar de gradativa, são comuns as variações decorrentes das intercalações irregulares entre níveis pedregulhosos e outros de menor resistência (acima e abaixo desses).

Pelo sistema SUCS classificam-se esses solos como CL, SC, ML, SC-SM, SC'—GM', SM', GM' e SC'. Pela classificação H.R.B., têm-se os tipos A-2-4, A-2-7, A-4, A-5 e A-6. Pela classificação MCT, têm-se NG', NS' e LA'-LG'. As classes pedológicas associadas que predominam são os solos hidromórficos e latossolos vermelho-escuros.

As classes de declividade constatadas são aquelas menores de 20%, majoritariamente a de 0 a 2%, e as espessuras situam-se nos intervalos entre 5 e 10 metros (51%), 2 a 5 metros (38,5%) e de 10 a 20 metros (10,5%).

e) *Pedregulhosa (T6)*

Especialmente, é uma das unidades de menor expressão com apenas 0,4 km² (0,01% do DF), estando situada à sudoeste de Sobradinho (entre esta cidade satélite e o Plano Piloto) sobre a unidade litoestratigráfica dos Metarritmitos Argilosos (PMp2).

Deve se tratar de um antigo colúvio, rico em blocos de quartzitos angulosos a arredondados, imersos em uma matriz areno-argilosa. Possui coloração vermelho-amarelada, é pouco friável e se expõe num talude de aproximadamente 8 metros (Figura 6.25).

De apenas um ensaio de granulometria, têm-se a fração grossa predominando com 65,8% do total, sendo que mais da metade corresponde à pedregulho. A argila é maioria entre os finos, com 25,6%.

Figura 6.25 - Material pedregulhoso composto por fragmentos rochosos variados e arredondados (Ponto RA-234).

Incluída no mapa pedológico da EMBRAPA(1978) como cambissolo, esta unidade apresenta declividades maiores que 10%, estando a espessura entre 10 e 20 metros.

g) *Orgânica (T7)*

Verificada em vários pontos da área, que somados chegam a 34,8 km², tem suas ocorrências condicionadas aos locais inundáveis ou permanentemente alagados (charcos), próximos a drenagens representativas.

Os materiais desta unidade são enriquecidos em matéria orgânica, estão associados a declividades entre 0 e 5% e normalmente com espessuras entre 2 e 5 metros, porém aparecem pacotes acima desses valores (maiores que 5 metros).

As classes texturais relacionadas a este material orgânico são areias finas e siltes argilosos. A cor dos mesmos é caracteristicamente cinza escura a preta.

Apesar de se revestir de importância às obras de engenharia, esta classe de material é sempre considerada como de uso restrito, e pela pequena expressividade que assumem na área (0,9%) em relação aos demais tipos de materiais inconsolidados identificados, não foi estudada detalhadamente.

O comportamento de todas as unidades de materiais inconsolidados (residuais e retrabalhadas), quanto as sondagens de simples reconhecimento com SPT e para as quais há informações), manteve-se homogêneo durante a execução do ensaio, crescendo gradativamente o número de golpes (**n**) com o aumento da profundidade do perfil, ocorrendo redução normal, quando atingido o nível hidrostático e voltando a aumentar após a sua passagem.

6.5.3 Mapa de Texturas dos Materiais Inconsolidados (ANEXO VIII)

A partir do mapa de materiais inconsolidados e com o auxílio de um dos recursos do SGI (reclassificação), pôde-se confeccionar o mapa de textura, englobando os diferentes tipos e sem quaisquer relacionamento com sua gênese e rocha-matriz.

Neste documento, encontram-se individualizadas as seguintes texturas: arenosa, argilo-pedregulhosa, argilosa/siltosa, argilo-concrecionária, areno-pedregulhosa, intermediária, pedregulhosa e orgânica. Na Tabela 6.5, pode-se verificar dados relativos à área de abrangência de cada uma das texturas dentro do DF.

Cabe ressaltar que este também foi um dos mapas utilizados na elaboração das cartas de vulnerabilidade do meio físico, em lugar do mapa de materiais inconsolidados, que participou na confecção da carta de zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal.

Tabela 6.5 - Áreas ocupadas pelas diferentes texturas individualizadas, em relação à área total do Distrito Federal.

TEXTURA	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Arenosa	468,16	8,06
Argilo-Pedregulhosa	2004,48	34,50
Argilosa/Siltosa	2525,13	43,47
Argilo-Concrecionária	156,73	2,70
Areno-Pedregulhosa	5,51	0,09
Intermediária	167,38	2,88
Pedregulhosa	0,40	1,15
Orgânica	34,75	0,60

6.5.4 Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados (ANEXO IX)

Com base nos resultados das análises efetuadas, levantamentos em campo e, também, nos mais de 760 pontos de informações de subsuperfície, foram adotadas cinco classes de isoespessuras para os materiais inconsolidados na região estudada, conforme proposição de ZUQUETTE(1987), ou seja: 0 a 2 metros; 2 a 5 metros; 5 a 10 metros; 10 a 20 metros; e acima de 20 metros.

A exemplo do procedimento realizado para a confecção do mapa de profundidade do nível hidrostático, foi desenvolvida tabela onde constam as coordenadas UTM's, cota altimétrica do terreno e as espessuras dos materiais inconsolidados, sendo assim possível a determinação da profundidade em cada ponto. A partir disso, utilizou-se o programa *Surfer* na confecção do MNT da superfície de isoespessura pelo método da krigagem. Do modelo, foi gerado o arquivo ASCII para o SGI, onde foi possível gerar a imagem, a partir da qual e com o auxílio de fotointerpretação foi possível ajustar os traçados de alguns contornos e estabelecer as classes adotadas.

Este documento cartográfico foi usado tanto para a confecção das cartas de vulnerabilidade do meio físico, quanto da carta de zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal.

A Tabela 6.6 ilustra os dados relativos à abrangência areal de cada uma das classes definidas.

Tabela 6.6 - Distribuição areal das classes de espessuras dos materiais inconsolidados estabelecidas em relação ao total da superfície do Distrito Federal.

CLASSE DE ESPESSURA	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
0 - 2m	2.214,72	38,12
2 - 5m	394,70	6,79
5 - 10m	2.237,18	38,51
10 - 20m	430,07	7,40
> 20m	85,94	1,48

6.6 CARTA DE VULNERABILIDADE DO MEIO FÍSICO (ANEXOS X e XI)

Foram confeccionados dois tipos de carta de vulnerabilidade do meio físico, ambos utilizando os atributos relativos ao material inconsolidado (sintetizados pela textura e espessura), declividade e litologia, porém diferenciados pela não inclusão da profundidade do nível hidrostático em um deles (Anexo X), pelos motivos explicitados no tópico referente ao exemplar correspondente. A carta do Anexo XI, por sua vez, inclui o referido atributo e, devendo ser tratada com a cautela devida, porém serve para se fazer uma análise comparativa dos resultados.

Optou-se pela elaboração de cartas de objetivo genérico, voltadas para o meio físico, na tentativa de correlacionar os diferentes graus de suscetibilidade do terreno aos problemas que ocorrem no Distrito Federal diretamente relacionados à questão do espaço físico, mais precisamente quanto à disposição final de resíduos urbanos (domésticos e hospitalares) e industriais, à erosão do solo, à poluição dos aquíferos (assoreamento dos superficiais e contaminação dos subterrâneos) e, finalmente, às áreas mais propícias à urbanização.

Ressalta-se que a terminologia adotada (vulnerável e estável) não tem a pretensão de indicar zonas proibitivas ou permissíveis ao uso/ocupação, mas apenas graus de tolerância do meio físico natural.

6.6.1 Método de Elaboração

A partir da confecção da carta de declividade e dos mapas litológico, de unidades e espessuras do material inconsolidado, acrescidos (ou não) do mapa de profundidade do nível hidrostático (todos no SGI) e de posse das informações/características inerentes aos atributos considerados, foi possível não somente a definição de pesos a cada um dos atributos do meio físico (representados nos documentos cartográficos), como também dos valores das classes inerentes a eles.

A Tabela 6.7 ilustra a determinação dos pesos conferidos a cada atributo e dos valores aos seus componentes/propriedades, de forma que fique nítida a participação de cada um deles no processo. Analisando-se a importância dos atributos considerados na elaboração da carta de vulnerabilidade, conclui-se que são praticamente equiparadas, estabelecendo-se portanto o mesmo peso a eles; para o caso da inclusão do nível hidrostático, tendo em vista os problemas de confiabilidade já mencionados, optou-se pela atribuição de um peso menor à litologia, para minimizar o efeito do acúmulo de erros naquele documento cartográfico.

Para o estabelecimento de pesos e valores, deve-se observar as seguintes restrições impostas pelo SGI: os pesos devem variar de tal forma que a somatória não ultrapasse a 100 e nem seja igual ou menor que 0 (neste caso o atributo não tem porque ser usado). Os valores das classes, por outro lado, podem estar em um intervalo aberto de -1 a 100, sendo que os valores negativos indicam restrição completa por parte da classe (independentemente dos valores das outras) e no caso de ser 0, não influencia na média. Recomenda-se adotar, para pesos e valores, números inteiros. Os critérios adotados para a valoração dos atributos e classes baseia-se nos mecanismos preconizados por HILL(1973) e nos limites estabelecidos por ZUQUETTE(1987 e 1993).

Tabela 6.7 - Pesos e valores utilizados na ponderação dos atributos para elaboração dos Anexos X e XI.

		ATRIBUTOS									
		LITOLOGIA		TEXTURA		DECLIVIDADE		ESPESSURA		NÍVEL HIDROSTÁTICO	
PESO	ANEXO X	25		25		25		25		-	
	ANEXO XI	20		25		25		25		5	
		Rótulo	Valores	Rótulo	Valores	Rótulo	Valores	Rótulo	Valores	Rótulo	Valores
		Ardósia	25	Arenosa	5	0 a 2%	75	0 - 2m	5	0 a 1m	-1
		Filitos	5	Argilo- Pedregulhosa	50	2 a 5%	100	2 - 5m	25	1 a 3m	5
		Indeterminada	0	Argilo-Siltosa	100	5 a 10%	50	5 - 10m	50	3 a 10m	25
		Metargilito	100	Argilo- Concrecionária	75	10 a 20%	25	10 - 20m	75	10 a 30m	50
		Metarritmito Argiloso	25	Areno- Pedregulosa	25	> 20%	5	> 20m	100	> 30m	100
		Siltito/Argilito	75	Intermediária	75	Área Urbana	-1	Área Urbana	-1	Área Urbana	-1
		Micaxisto	25	Pedregulho	5	Lago	-1	Lago	-1	Lago	-1
		Quartzito	50	Orgânica	25						
		Calcário	50	Área Urbana	-1						
		Dolomito	50	Lago	-1						
		Metassiltito	100								
		Calcixisto	5								
		Quartzo Xisto	25								
		Área Urbana	-1								
		Lago	-1								

A obtenção e cartografia do resultado final do valor de cada zona se dá pelo cálculo da média ponderada dos pesos e valores, de acordo com o objetivo definido, tal com preconizado por AGUIAR(1989), segundo a fórmula:

$$M_{(x,y)} = \left(\sum_{j=1}^{j=n} P_j \cdot V_{(x,y)} \right) / \sum_{j=1}^{j=n} P_j;$$

onde: $M_{(x,y)}$ = Média final da unidade no ponto (x,y) ;

P_j = Peso do atributo j ;

$V_{(x,y)}$ = Valor da classe do atributo no ponto (x,y) ;

n = Número de atributo j .

No SGI, o processo é feito automaticamente, apenas escrevendo-se um arquivo em formato ASCII, bastante simplificado. A descrição mais detalhada deste procedimento pode ser encontrada em SOUZA(1994).

6.6.2 Representação das Unidades Finais

A simples operação de extração da média ponderada entre os pesos e valores individuais, onde as unidades se dispõem em uma escala de estabilidade/vulnerabilidade com 5 classes, as mais estáveis ocupando os espaços mais próximos de 100, as intermediárias ao redor de 50 e as unidades mais vulneráveis próximas de 0, frente aos objetivos anteriormente mencionados. A Tabela 6.8 ilustra as classes e seus intervalos de pesos finais.

Tabela 6.8 – Intervalos de pesos definidos para as classes de estabilidade/vulnerabilidade.

CLASSE	RESULTADO FINAL	COR
Vulnerável	-1 - 20	
Moderadamente Vulnerável	20 - 40	
Estável/Vulnerável	40 - 60	
Moderadamente Estável	60 - 80	
Estável	80 - 100	

Para as representações cartográficas das classes de vulnerabilidade/estabilidade, usou-se um formato a partir da combinação aditiva das três cores primárias (azul, verde e vermelho), obedecendo o critério de que ao peso final de maior estabilidade associa-se a cor azul, ao intermediário a cor verde e às unidades de maior vulnerabilidade associa-se a cor vermelha.

À unidade com peso final intermediário entre 80 e 60 associa-se cor resultante da combinação entre o azul e o verde, e àquela com peso final intermediário entre 20 e 40, estabeleceu-se a cor resultante da combinação entre o verde e o vermelho.

A Tabela 6.9 retrata a somatória das áreas de cada uma das classes de estabilidade/vulnerabilidade estabelecida, bem como sua representação percentual em relação a área total mapeada, excetuadas as áreas urbanizadas e os lagos.

Tabela 6.9 - Representação areal das diferentes classes de estabilidade/vulnerabilidade no Distrito Federal.

CLASSE	ANEXO X		ANEXO XI	
	km ²	%	km ²	%
Vulnerável	546,11	9,40	369,84	6,37
Moderadamente Vulnerável	1.424,85	24,53	1.611,84	27,74
Estável/Vulnerável	1.172,57	20,18	1.254,35	21,59
Moderadamente Estável	1.592,98	27,42	1.500,79	25,83
Estável	624,22	10,74	624,22	10,74

6.7 CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL

No *sensu strictu*, o zoneamento do meio físico é um processo de planejamento dirigido a avaliar as perspectivas de uso e manejo de determinada região, para preservar, restaurar e/ou proteger o ambiente, visando ainda a compatibilização entre o espaço geográfico e as atividades produtivas. É também um instrumento normativo básico sobre o qual se baseiam outros mecanismos de gestão ambiental, que podem não levar em conta impactos ou efeitos cumulativos, passíveis de comprometer seriamente o equilíbrio e integridade regional.

6.7.1 Método de Confecção

A carta de zoneamento geotécnico geral foi originada da superposição/intercruzamento automático no SGI, dos mapas do substrato rochoso, de materiais inconsolidados (unidades e espessura) e da carta declividade, considerando-se para tanto, todas as características mais relevantes neles presentes.

Para otimizar o processo de elaboração da carta final, verificadas as limitações do sistema de informação geográfica utilizado, empreenderam-se duas etapas distintas: inicialmente fez-se a combinação entre o mapa do substrato rochoso e a carta de declividade e o mapa de unidades de materiais inconsolidados com o de isoespessura dos materiais inconsolidados para, com auxílio da tabulação cruzada (verificação das interseções), definir as relações entre as unidades de cada um dos documentos cartográficos. Destas tabulações - Geologia x Declividade (GD) e Unidades de Materiais Inconsolidados x Espessura dos Materiais Inconsolidados (ME), obteve-se um total de 61 e 129 combinações possíveis.

A partir disso estabeleceu-se o limite mínimo, a partir do qual a unidade resultante do cruzamento deveria e poderia ser representada, para posteriormente ser incluída no segundo cruzamento (entre GD e ME); optou-se que o menor tamanho corresponderia a $0,4 \text{ km}^2$ (0,01% da área), correspondente às menores unidades em todos os mapas utilizados. As combinações cujas áreas são inferiores a esse limite foram incorporadas pela unidade geológica ou de material inconsolidado equivalente, resultando 45 unidades de combinação para GD e 59 para ME. Para essa agregação, elaborou-se arquivo de regra para cada uma das combinações, definindo-se todas as regras necessárias (no SGI é um arquivo em formato ASCII), a fim de que não houvessem lacunas de unidades no mapa de cruzamento.

O mapa resultante do cruzamento do mapa do substrato rochoso e da carta de declividade constitui o Anexo XII, enquanto aquele resultante da combinação entre os mapas de materiais inconsolidados e espessura encontra-se como Anexo XIII.

A etapa seguinte é tão somente um novo processo de cruzamento, também automatizado, desta vez entre os mapas originados pelo cruzamento exposto na fase anterior (GD x ME), que gerou a Carta de Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal (Anexo XIV).

O procedimento da superposição/intercruzamento foi inteiramente automatizado, utilizando-se operações booleanas: interseção (E), união (OU) e negação (NÃO) usadas pelo sistema de informações geográficas do INPE - SGI. Os arquivos de regra utilizados encontram-se no **Apêndice 3**.

6.7.2 Unidades Geotécnicas Finais

As 133 unidades geotécnicas finais foram obtidas pelo método da sobreposição, cujo princípio básico segue a proposta de MC HARG(1969), usando-se inclusive o processo de generalização tipológica (através dos arquivos de regras baseados na tabulação cruzada), tendo sido mantidos todos os atributos utilizados na confecção dos mapas sobrepostos, que posteriormente sofreram análise conjunta.

A utilização da tabulação cruzada fez com que se evitassem as dificuldades naturais de interpretação quanto ao cruzamento das informações, inclusive consultas individuais aos mapas empregados na superposição, vez que todas as unidades apresentavam área representativa (maior ou igual a 0,4 km²).

No processo de combinação dos atributos para o zoneamento geotécnico geral, bem como para futuras avaliações das adequabilidades/limitações do meio físico estudado, não foram consideradas as interferências fundamentais das águas subterrâneas, em função de dificuldades já expostas, participando este atributo somente de uma das cartas de vulnerabilidade do meio físico.

O **Apêndice 4** apresenta as características gerais inerentes a cada uma das classes, inclusive das suas estabilidades/vulnerabilidades, tendo em vista que seria cansativo descrever cada unidade geotécnica frente aos atributos e fins/restrições consideradas.

6.8 INSERÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS NA GESTÃO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

A seqüência geral da metodologia adotada se ajusta às três grandes etapas pertinentes ao processo de gestão ambiental: inventário-diagnóstico, geração de alternativas-avaliação-decisão e execução do plano definitivo, pressupondo-se a prévia definição de metas e objetivos.

Nesse sentido e como consequência das características do Distrito Federal (interesses conflitantes, expectativas de uso, superposição de diferentes tipos de planejamento, etc.), é objeto dessa análise o diagnóstico e valoração dos fatores intrínsecos ao meio físico (potencialidades e limitações), sem abordar concomitantemente, e com igual ênfase, outros fatores importantes na análise global do processo de planejamento e gestão (meio biótico e sócio-econômico). Diante disso, a carta de zoneamento geotécnico (quer geral ou específico) pode atender plena e eficazmente a essa etapa.

A utilização de toda essa grande quantidade de variáveis complexas requer mecanismos/ferramentas eficientes para uniformizá-las e tratá-las, tanto no que diz respeito à referência geográfica (georeferenciamento), quanto no armazenamento e manipulação ordenados e rápidos dos dados disponíveis. Atualmente vem se tornando cada vez mais indispensável o uso de ambiente de geoprocessamento, para agilizar e assegurar resultados mais confiáveis, com base em diversos modelos incluídos nos sistemas ou elaborados, para posterior processamento nos mesmos.

Diante dos resultados obtidos é possível a delimitação de áreas problemáticas (representadas neste estudo pela carta de vulnerabilidade do meio físico) e a geração de alternativas que, somadas aos mecanismos de operacionalização das metas e objetivos (*modus operandi*), subsidiam o processo de avaliação e decisão do poder público. Os organismos governamentais necessitam compatibilizar os projetos ou ações externas aos objetivos traçados, para que não ocorram situações contraditórias entre a vontade de fazer e a possibilidade de executar.

Caso as dificuldades sejam insuperáveis, devem ser reavaliadas novas formas de execução dos objetivos e, conseqüentemente, outras alternativas até que seja considerado exeqüível.

Para avaliação e decisão positivas, são estabelecidas uma ou mais alternativas que possam direcionar a elaboração de mecanismos de planejamento e ação, visando antes de tudo a melhoria da qualidade de vida da comunidade. Outro aspecto importante, é a necessidade de acompanhamento sistemático (que não seja somente para cumprir formalidades legais) desde as estratégias, diretrizes e normas, até à execução dos programas de controle definidos, para possibilitar a realimentação do processo.

O fluxograma da Figura 6.26 sintetiza a participação objetiva da cartografia geotécnica no processo de gestão ambiental, particularmente das cartas elaboradas neste trabalho.

Além dos órgãos públicos e do conjunto de legislação em vigor, o Distrito Federal dispõe de alguns instrumentos de gestão ambiental, em diferentes estágios:

- Zoneamento - tentativas já foram experimentadas neste sentido mas, recentemente foi definido um termo de referência para o zoneamento ecológico-econômico, que servirá de base para o Plano Diretor do Distrito Federal;
- Planejamento - a construção do DF ocorreu baseada em trabalho de planejamento, que apesar da gama de trabalhos previamente executados, desprezou algumas observações (sobretudo relacionadas ao meio físico) que teriam minimizado os problemas relatados ao longo deste trabalho;

Figura 6.26 - Inserção do mapeamento geotécnico no processo de gestão ambiental, por intermédio do Zoneamento Geotécnico Geral (Z.G.G.) e da Carta de Vulnerabilidade.

- Educação Ambiental - considerado setor prioritário pela SEMATEC, atualmente vêm sendo desenvolvidos alguns programas articulados com a Secretaria de Educação do DF, principalmente voltados à crianças;
- Unidades de Conservação - inúmeras são as áreas protegidas por lei que estão demarcadas no DF, porém somente aquelas de uso indireto vêm merecendo os cuidados e atenções devidas, mas mesmo assim continuam alvo de degradações provocadas principalmente por incêndios e invasões no seu entorno;
- Mecanismos de Controle - estão implantados o licenciamento, a fiscalização e o monitoramento das atividades impactantes ao meio ambiente, através das licenças prévia, de instalação e de operação, bem como pela análise de estudos de impacto ambiental, ambos seguidos de programas de monitoramento e fiscalização. A estrutura da Secretaria de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - SEMATEC, dispõe do Instituto de Ecologia e Meio Ambiente - IEMA e do Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT, que participam desse mecanismo, que por si só não garante a qualidade ambiental;
- Participação da Sociedade - ainda estão carentes de implementação e reforço alguns dos mecanismos de participação, seja em programas ou em conselhos, porém vêm sendo frequentemente realizadas as audiências públicas dos estudos de impacto ambiental.

Assim, a complexidade dos problemas requer soluções e ações que tenham por base um zoneamento territorial integrado, realizadas a partir de um diagnóstico ambiental do DF, onde as cartas geotécnicas podem e devem participar da consolidação desse ordenamento, caracterizando e prognosticando questões relativas à utilização racional do meio físico.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista os subsídios técnicos proporcionados pelos princípios básicos da metodologia empregada no decorrer do trabalho, foi possível realizar este estudo como forma de contribuição ao conhecimento geotécnico da área, tentando com isso auxiliar no estabelecimento claro da participação da cartografia geotécnica no processo de gestão ambiental, visando uma utilização mais racional, sob o prisma da análise do espaço físico do Distrito Federal, como também cooperar no aperfeiçoamento da própria proposta metodológica do Departamento de Geotecnia da EESC/USP.

A principal intenção da pesquisa não foi motivada por objetivos meramente especulativos ou acadêmicos, pois deriva da convicção de que o processo de desenvolvimento da humanidade deve ser baseada sobre o conhecimento e gerenciamento do sistema natural, sobretudo o físico, de forma controlada e mediante ações técnico-científicas. Na definição destas relações/interrelações, é prudente não perder de vista as dimensões naturais e sociais, dentro da dinâmica que caracteriza os fenômenos ambientais. As formas de interpretá-las têm sido refletidas historicamente nas teorias, doutrinas, filosofias e tecnologias descritas (e em inúmeras outras), que pretendem definir e orientar as atividades potencialmente modificadoras do meio ambiente.

Assim, direta ou indiretamente, consciente ou inconscientemente, pretendeu-se contribuir na orientação das formas de manejo e, sobretudo, na gestão do **subsistema físico natural** do DF.

O inventário e classificação do espaço físico apresentam-se como uma das etapas mais importantes, pelo reconhecimento e retratação das informações necessárias e suficientes para descrever o meio de forma prática.

Observa-se, dessa forma, que a geotecnia tem por objetivo fornecer a engenheiros, planejadores e projetistas, as informações que lhes permitam realizar obras de engenharia e o desenvolvimento regional, na melhor harmonia possível com o ambiente geológico. Sem esta harmonia podem ocorrer incidentes de conseqüências desastrosas, afetando não somente a economia e durabilidade mas, também, a segurança das obras e do meio ambiente. Neste contexto fica evidenciado que é imprescindível a execução do mapeamento geotécnico para inventariar dados que sejam significativos, operativos, facilmente obtidos e precisos, admitindo-se como corretas as premissas defendidas por FLAWN(1970); CAMPOS(1986), BITAR *et al.*(1990), OLIVEIRA *et al.*(1991) e FORNASARI FILHO *et al.*(1992).

7.1 CONCLUSÕES

Levando-se em consideração os diversos aspectos observados, pôde-se chegar as seguintes conclusões:

Quanto ao método de trabalho:

Através do levantamento de informações básicas realizado ao longo deste trabalho, tentou-se mostrar as interrelações entre o processo de planejamento ambiental e o mapeamento geotécnico, de forma a serem estabelecidas as bases de uma metodologia, visando a participação contínua e direta de tal ferramenta na gestão ambiental, tendo como área teste o Distrito Federal.

A flexibilidade estratégica e operativa passa a ser não somente uma exigência do processo de planejamento, para que seja capaz de adotar alternativas frente a situações de risco elevado ou mudança do sistema total. O manejo da informação constitui, neste esquema, um setor cada vez mais estratégico para superar ou simplesmente fazer mais permeáveis os limites e restrições do sistema real.

A orientação do processo de desenvolvimento requer, portanto, a integração dos diferentes métodos de gestão. Sistemas de planejamento integral que aceitam a unidirecionalidade do processo de desenvolvimento, ainda que tendo caráter global, devem ser examinados e operados com base no reconhecimento das diversidades que lhes são inerentes e repelir tanto as generalizações teóricas e metodológicas, quanto o processo de decisão centralizada que, com uma visão parcial, mecânica, da relação meio ambiente $\leftrightarrow$ sociedade, congelam uma situação predatória do sistema natural em benefício de pequenos segmentos do grupo social.

A gestão do meio físico com base no zoneamento geotécnico deve ser dirigida na determinação do potencial do terreno, em função de um possível uso ou de sua estabilidade/vulnerabilidade. O uso potencial, tal como se considera na gestão, consiste em determinar a capacidade de se usar o território e seus recursos com o mínimo de degradação. Da mesma forma, a potencialidade de uso deve fundamentar-se em uma ponderação consistente da vocação do território a partir do interesse global da coletividade.

Sem a determinação do comportamento e interrelações dos sistemas naturais e da realidade social (objeto do zoneamento sócio-econômico) não se pode estender aplicação da gestão ambiental a um patamar que, de fato, tenha alguma utilidade para a sociedade.

O ambiente de geoprocessamento (sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas) tem se mostrado imprescindível para a cartografia temática, em particular àquela onde são tratados/manipulados grandes quantidades de dados, como é o caso do mapeamento geotécnico.

É evidente, também, a enorme contribuição dos sistemas de informações geográficas, de onde podem ser captados e organizados os dados gerados, permitindo diagnosticar e avaliar de forma contínua a problemática ambiental regional, com a criação de uma estrutura hierárquica que sirva como marco comum de referência para elaboração de programas e projetos, tanto a nível do Distrito Federal quanto das regiões administrativas que o integram.

Salienta-se, no entanto, que os sistemas de informações utilizados apresentam-se com grandes limitações tanto no que diz respeito à compatibilidade entre eles (exportação e importação de arquivos) quanto à saída gráfica dos documentos cartográficos no formato analógico, sobretudo daqueles com mais de 40 classes.

A metodologia apresentada (e utilizada) é uma tentativa de dar maior praticidade às metodologias de mapeamento geotécnico, sobretudo no concernente ao zoneamento geotécnico geral, que teve como base fundamental a metodologia de ZUQUETTE(1987 e 1993). Empregada no Distrito Federal, tal como está sendo apresentada, a sequência operacional dos trabalhos atingiu os objetivos planejados para o zoneamento geotécnico geral. Restrições são feitas quanto à execução de alguns testes/ensaios a serem realizados em campo e laboratório, em virtude da complexidade e demanda financeira envolvidos.

Faz-se necessário reafirmar, contudo, que a confecção de algumas cartas de finalidade específica à engenharia e/ou uso no planejamento territorial, prescinde de dados pertinentes, que por vezes dependem da realização dos mesmos.

Apesar de não merecer maiores detalhamentos na metodologia adotada (ZUQUETTE, 1987 e 1993), a Carta de Zoneamento Geotécnico Geral, para a escala deste trabalho (1:100.000), mostra-se como de extrema importância para o processo de planejamento e gestão do meio físico.

O princípio da sobreposição (MC HARG, 1969) associado à valoração dos atributos considerados, facilita sobremaneira o enquadramento das unidades geotécnicas em classes de estabilidade/vulnerabilidade, tendo-se mostrado extremamente útil tal método de trabalho, sobretudo pela minimização da subjetividade nas interpretações.

Sem nenhuma dúvida o mapeamento geotécnico é uma das mais valiosas ferramentas (se não a melhor) para proceder o zoneamento do meio físico de qualquer região e, portanto, tem estreito relacionamento com processos de gestão do meio físico e ambiental.

Quanto à área estudada:

Apesar da grande expressividade das unidades de conservação no Distrito Federal e do histórico de sucessivos trabalhos de planejamento territorial, o uso e ocupação do solo têm sido feitos sem o devido cuidado com as condições limitantes do meio físico, sobretudo naqueles locais em que podem ocorrer problemas de difícil solução.

Foram delimitadas duas grandes unidades litoestratigráficas constituintes do substrato rochoso na região do Distrito Federal - Grupo Canastra e Grupo Paranoá, ambas subdivididas em 3 e 7 subunidades, respectivamente. Seguindo a ordem cronológica ascendente, têm-se para o Grupo Canastra as subunidades: Micaxisto (PMc3) - micaxistos e quartzo xistos; Calcixisto (PMc2) - calcixistos; Filito (PMc1) - filitos carbonosos e filitos calcíticos. Integrando o Grupo Paranoá, aparecem: Pelito-Carbonatada (PMp1) - metargilitos, ardósias, metamargas, metassiltitos, calcários, quartzitos e dolomitos; Metarritmito Argiloso (PMp2) - metargilitos, metassiltitos e quartzitos; Quartzito Médio (PMp3) - quartzitos; Metarritmito Arenoso (PMp4) - quartzitos, metassiltitos e metargilitos; Ardósia (PMp5) - ardósias, metassiltitos e quartzitos; Metassiltito Argiloso (PMp6) - metassiltitos e quartzitos; e Quartzito Microconglomerático (PMp7) - quartzitos.

O Grupo Paranoá é o de maior representatividade espacial, ocupando cerca de 70,4% da área mapeada, e tem como sua mais expressiva representante a subunidade Metarritmito Argiloso (PMp2), com quase a metade desse total.

O reconhecimento dos litótipos, aliado à fotointerpretação criteriosa e caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados, possibilitou a individualização de trinta e sete unidades de materiais inconsolidados, diferenciados segundo suas origens em residuais e retrabalhados, sendo que trinta das unidades são do primeiro tipo (residuais) e sete outras decorrentes de retrabalhamento dos materiais, fato este explicado pela evolução geomorfológica da região (predomínio dos processos de degradação do relevo). A subunidade de textura argilosa residual do Metarritmito Argiloso (P2.1a) é a de maior predomínio espacial.

As características geotécnicas determinadas para os materiais inconsolidados, estão compatíveis com as encontradas em trabalhos anteriormente executados no DF, onde também se verificam amplas faixas de variação dos resultados, tendo em vista a variedade e a complexidade geológica/estrutural da área, mas perfeitamente satisfatórios para seus enquadramentos nas diferentes unidades estabelecidas.

Às causas e efeitos do processo erosivo, que vêm sendo ressaltadas mesmo antes da construção de Brasília, associa-se um modelo controlado por condicionantes estruturais e geotécnicos, porém quase sempre em locais onde ocorreu intervenção antrópica inadequada. Sendo assim, cuidados especiais com relação à erosão são imprescindíveis, por parte dos planejadores e empreendedores, face ao caráter do alto potencial de risco à erosão na região, mesmo quando da implantação de obras de engenharia de pequeno porte.

No tocante à qualidade ambiental, são verificados alguns problemas referentes ao lançamento de efluentes e disposição de resíduos sólidos urbanos (domésticos, industriais e hospitalares), que vêm comprometendo a qualidade da água de alguns mananciais hídricos superficiais e subterrâneos.

A exploração mineral para uso na construção civil é intensa, tendo-se verificado a existência mais de uma centena de cascalheiras, pedreiras, pontos de extração de areia e de argila; dentre os quais a maioria é clandestina e não sofre qualquer tipo de controle por parte do Órgão Ambiental Governamental.

As duas cartas de vulnerabilidade do meio físico mostram uma tendência de estabilidade das porções situadas entre o Plano Piloto e o Gama, ao norte de Planaltina, Região Administrativa do Lago Sul e em quase toda a bacia do rio Preto. Nelas, observa-se ainda que houve redução percentual das áreas vulneráveis e moderadamente estáveis, quando foi utilizado o mapa do nível hidrostático, havendo incremento (quase proporcional) da classe moderadamente vulnerável e estável/vulnerável; por sua vez, a classe de estabilidade não sofreu qualquer alteração em área.

Os resultados alcançados nas cartas de vulnerabilidade do meio físico mostram a ocorrência de todas as classes de vulnerabilidade, com prevalência das classes intermediárias entre a Estável e a Vulnerável, onde se destaca a classe Moderadamente Vulnerável, significando que a região, em função dos atributos avaliados, se comporta de maneira preocupante frente ao uso racional do espaço.

Boa parte da zona urbana de dinamização proposta no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT, coincide com as unidades mais estáveis da carta de vulnerabilidade do meio físico. Porém, há que se notar que algumas destas porções estão enquadradas como moderadamente vulneráveis a vulneráveis. Por outro lado, a zona rural de dinamização tem sua maior parcela posicionada entre as classes moderadamente estáveis a vulneráveis

As unidade de vulnerabilidade/estabilidade não determinam zonas proibidas ou permitidas ao uso/ocupação, mas apenas os graus de tolerância do meio físico natural.

A não inclusão do atributo **água** (carta de vulnerabilidade do meio físico), no processo combinatório para o estabelecimento dos potenciais e limitações do meio físico, parece ser o mais indicado pela não confiabilidade dos dados; isto impõe cautela na avaliação das classes de vulnerabilidade, pois em todas as análises de potenciais de uso e ocupação, tal atributo é fundamental.

Foram definidas cento e trinta e duas unidades geotécnicas finais para a região mapeada, representadas na carta de zoneamento geotécnico geral, que se apresenta como importante subsídio ao processo de gestão ambiental do Distrito Federal.

Mais do que um resultado conclusivo de enquadramento quanto às condições geotécnicas e classes de estabilidade/vulnerabilidade da área, este trabalho retrata o importante desempenho do emprego de métodos e metodologia adotados.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Diante de todos os aspectos verificados e avaliados recomenda-se que:

- Para trabalhos efetuados por equipe que não seja, de fato, multidisciplinar, a elaboração e credibilidade das cartas interpretativas ficam prejudicadas, sendo mais aconselhável a confecção de cartas de condições geotécnicas ou, principalmente, carta de zoneamento geotécnico geral;
- Em mapeamentos geotécnicos para zoneamento geral sejam procedidos somente os ensaios comuns de caracterização geotécnica em todas as amostras coletadas, e os que fornecem parâmetros geomecânicos usados diretamente em obras civis, por serem de maior complexidade técnica/financeira, sejam direcionados a amostras selecionadas a partir das caracterizações anteriores.
- Para consolidar a eficácia do presente trabalho, as determinantes e condicionantes do zoneamento geotécnico deverão estar intrinsecamente articulados, de modo a subsidiar os planos oficiais de desenvolvimento, evitando-se discordâncias ou desajustes no tempo e espaço.
- Aos sistemas de informações geográficas somente devem ser integrados inventários e análises de atributos, sobre bases cartográficas de alta definição. No entanto, a escolha do mesmo deve observar, além da capacidade de processamento das informações, os recursos de saída dos documentos cartográficos (sobretudo no formato analógico).

- O Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, adote métodos padronizados que possibilitem o armazenamento, manipulação e tratamento informatizados dos dados produzidos por trabalhos de mapeamento geotécnico, além da geração de produtos cartográficos.
- Sejam envidados esforços no sentido de orientar os mineradores quanto à exploração racional dos recursos minerais e à recuperação posterior das áreas degradadas.
- Os mecanismos de controle ambiental pode ser otimizado, com fiscalização mais intensa nas unidades de materiais inconsolidados delimitadas como concrecionárias e/ou arenosas.
- Faz-se necessária uma reavaliação no mais recente Macrozoneamento do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT, para nova definição de unidades de uso e ocupação do DF.
- Medidas preventivas e corretivas quanto ao tratamento de esgotos e disposição do lixo são de extrema urgência, verificando-se para este segundo caso, áreas apresentadas como mais estáveis na carta de vulnerabilidade do meio físico.
- As cartas de vulnerabilidade do meio físico não devem ser consideradas como suficientes para orientar no processo de gestão ambiental, há necessidade imperiosa dos dados do meio biótico e sócio econômico para completar o diagnóstico dos sistemas ambientais.
- Recomendam-se, finalmente, estudos geotécnicos em escalas maiores que a do presente trabalho da ordem de 1:25.000 ou superior, abrangendo principalmente as regiões administrativas do DF, com vistas a fornecer critérios mais adequados à ocupação das áreas, bem como contribuir na detecção de áreas de riscos à urbanização.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). NBR nº 10.703 - *Degradação do solo: terminologia*. São Paulo.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 6502/95 - *Solos e rochas: terminologia*. Rio de Janeiro.
- AB'SABER, A.N. (1977). Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, São Paulo/SP, nº 3.
- AGUIAR, R.L. (1989). *Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos - SP: contribuição ao planejamento*. São Carlos/SP. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AGUIAR, R.L. (1994). *Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal - DF*. São Carlos/ SP. 88 p. Seminário Geral em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ALAMO, C. (1975). Prospección del medio natural. *Curso de Planificación Integrada del Paisaje Florestal*, I., Madrid/Espanha, ICOMA.
- ALMEIDA, F.F.M. (1967). Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21., Curitiba/PR, Programa, Resumo das Comunicações, Roteiro das Excursões. Curitiba/PR, SBG, p. 19-22.

- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (1984). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo/SP. Ed. Edgard Blucher.
- ALONSO, S.G. *et al.* (1991). *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: arreteras y ferrocarriles*. Madrid/Espanha, MOPT.
- AMIR, S. (1976). Local environmental sensitivity program (LESA): a program to improve the preparation of environmental impact statement. In: *LANDSCAPE PLANNING*, New York/USA, v. 2, nº 4.
- AMORE, L. (1994). *Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal*. São Carlos/SP. 142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ANON (1972). *The preparation of maps and in term of engineering geology*. London/England. Q. J.L. Eng. Geol., p. 293-381.
- ANON (1976). *Engineering geological maps. A guide to their preparation*. Paris/France. The UNESCO Press, .
- ARAÚJO FILHO, J.O. & FARIA, A. (1992). Características estruturais de propagação do empurrão Canastra sobre o Paranoá, no Evento Brasileiro no Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo/SP, 1992, *Anais*, São Paulo/SP, SBG, v. 2, p. 318-319.
- ARONOFF, S. (1989). *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa/Canada, WDL Publications.
- ASSAD, E.D. & SANO, E.E. (1993). *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília/DF, EMBRAPA-CEPAC.
- BAKUZIS, E.V. (1969). *Scientific method and systems analysis*. Minnessota/USA, University of Minnesota.
- BARBOSA, O. *et al.* (1961). *Geologia econômica e aplicada a uma parte do Planalto Central do Brasil*. Brasília/DF, Prospec-DNPM.

- BARBOSA,O. *et al.* (1969). *Geologia e inventário dos recursos minerais do Projeto Brasília*. Petrópolis/RJ, Prospec-DNPM.
- BARROS,J.G.C. (1984). *As águas subterrâneas no Distrito Federal*. Brasília/DF, CNPq. /inédito/.
- BARROS,J.G.C. (1986). Mapeamento hidrogeológico do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia/GO, 1986, *Anais*, Goiânia/GO, SBG, v. 1, p. 391-409.
- BARROS,J.G.C. (1994). Caracterização, geológica e hidrogeológica. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 8, p. 265-284.
- BATALHA,B.L. (1986). *Glossário de engenharia ambiental*. Brasília/DF, DNPM-MME.
- BAUMEWERD-AHLMANN,A. & KALINSKI,J. (1990). Structuring techniques for knowledge-based planning systems in environmental impact assessment In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPERT PLANNING SYSTEMS, London/England, Conference Publication, nº 322, p. 257-261.
- BEANLANDS,G.E. (1984). Do EIA methods have a future. In: SYMPOSIUM PAPERS, PROJECT APPRAISAL FOR DEVELOPMENT CONTROL, Aberdeen/USA.
- BELCHER,D.J. *et al.* (1995). *Relatório técnico sobre a nova capital da república: relatório Belcher*. 4 ed. Brasília/DF, CODEPLAN.
- BERTALANFFY,L. (1972). The history and status of general systems theory. *Trends in General Systems Theory*, New York/USA. Wiley. p. 33-78.
- BERTIN,J. (1963). *Semiologie graphique*. Paris/France, Gauthier'Villar and Co.
- BISSET,R. (1982). Methods for EIA: a selective survey with casa studies. In: TRAINING COUSE ON EIA, China.

- BITAR, O.Y. *et al.* (1990). *O meio físico em estudos de impacto ambiental*. São Paulo/SP, Boletim nº 56, IPT.
- BOLEA, M.T.E (1984). *Evaluacion del Impacto Ambiental*. Madri/Espanha, ITSEMAP.
- BRANCO, S.M. & ROCHA, A.A. (1987). *Elementos de ciência do ambiente*. São Paulo/SP, CETESB.
- BRASIL - Ministério das Minas e Energia (1982). *Projeto RADAMBRASIL: Folha SD-23*. Brasília-DF, DNPM-MME, v. 25/29.
- BRAUN, O.P.G. (1968). Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 22., Belo Horizonte/MG, 1968, *Anais*, Belo Horizonte/MG, SBG, v. 1, p. 155-166.
- BRAUN, O.P.G. (1971). *Contribuição à geomorfologia do Brasil Central*. Revista Brasileira de Geografia, nº 3, p. 3-39.
- BREHAUT, H. (1991). *Environmental management from a corporate perspective*. CIM, Bulletin, Vancouver, v. 84, nº 952, p. 63-66.
- BRESSAN JR., A. *et al.* (1992). *Brasil'92: perfil ambiental e estratégias*. Governo do Estado de São Paulo-Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo - SP.
- BROD, *et al.* (1991). Tectonoestratigrafia da Faixa Brasília na região do Alto Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 3., Cuiabá/MT, 1991, *Anais*, Cuiabá/MT, SBG, p. 155-168.
- CAESB - Companhia de Água e Esgoto de Brasília (1987). *Inventário hidrogeológico do Distrito Federal*. v. 1, 2 e 3.
- CAMPOS NETO, M.C. (1984). Geometria e fases de dobramentos brasileiros superpostos no oeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 14, p. 60-68.

- CAMPOS,T.M.P. (1986). Geotecnia e meio ambiente: relato do estado da arte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES, 8., Porto Alegre/RS, 1986, Anais, Porto Alegre-RS, ABMS, p. 123-156.
- CANTER,L.W. (1977). *Environmental impact assesment.* , New York/USA, Mc Craw-Hill.
- CARNEIRO,P.J.R. (1984). *Modelo de interpretação de imagens de sensores remotos, aplicados ao planejamento regional e urbano: Brasília como área teste"*. Lisboa, 129p. Projeto de Tese (Doutorado) - Universidade Nova de Lisboa.
- CARVALHO,P.G.M. de (1987). Meio ambiente e políticas públicas: a FEEAM diante da poluição industrial. *Ecologia & Política no Brasil, Espaço e Tempo*, Rio de Janeiro - RJ, IUPERJ, p. 182 - 208.
- CATANESE,A. & STEISS,O. (1978). *Systematic planning for very complex systems.* New York/USA, Planning Outlook, New Series, v. 5.
- CHADWICK,G.F. (1971). *A systems view of planning.* New York/USA, Pergamon Press.
- CHRISTIAN,C.S. & STEWART,C.A. (1968). *Methodology of integrated surveys. Aerial surveys and integrated studies.* Paris/ França, UNESCO
- CHURCHMAN,C.W. (1968). *The systems approach.* New York/ USA, Dell.
- CODEPLAN- Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central (1984). *Atlas do Distrito Federal.* Brasília - DF, v. 2, CODEPLAN.
- CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central (1992). *Mapa ambiental do Distrito Federal - escala 1:150.000.* Brasília/DF, CODEPLAN-SEMATEC.

- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (1991) – Resolução 001, de 23/01/86. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação de impacto ambiental – AIA no país. *Lex: Resoluções do CONAMA: 1984-1991*, Brasília, 3ª edição, p. 39-44.
- COSTA, L.A.M. & ANGEIRAS, A.G. (1971). Geosynclinal evolution of the epibaykalian platform of Central Brazil. *Geol. Rundschau*, USA, v. 60, n° 3, p. 1024-1050.
- COSTA, L.A.M. *et al.* (1970). Novos conceitos sobre o Grupo Bambuí e sua divisão em tectonogrupos. In: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro/RJ, Boletim, n° 5, p. 3-34.
- CREPANI, E. *et al.* (1996). Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador/BA, (CD-Rom).
- CRESS, J.J. & DEISTER, R.R.P. (1990). Development and implementation of knowledge-based GIS geological engineering map production system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. New York/USA, v. 56, n° 11, p. 1529-1535.
- CRÓSTA, A. (1996). Sensoriamento remoto hiperespectral aplicado ao mapeamento de minerais de alteração hidrotermal nos distritos mineiros de Bodie e Paramount - Califórnia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador. (CD-Rom).
- CRULS, L. (1995). *Relatório da comissão exploradora do Planalto Central do Brasil: relatório Cruls*. 6 ed. Brasília/DF, CODEPLAN.
- DARDENNE, M.A. & FARIA, A. de (1985). Estratigrafia do Grupo Paranoá na região de Alto Paraíso-GO. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 2., Goiânia/GO, 1985, *Geologia do Precambriano*, Goiânia/GO, SBG, p. 65-69.

- DARDENNE,M.A (1978a). Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife/PE, 1978, *Anais*, Recife/PE, SBG , v. 2, p. 597-610.
- DARDENNE,M.A. (1978b). Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife/PE, 1978, *Anais*, Recife/PE, SBG, v. 1, p. 299-308.
- DARDENNE,M.A. (1981). Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada de Brasília. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DE SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 4., Salvador/BA, 1979, *Anais*, Salvador/BA, SGM-CPM/NBA-SE, v. 1, p. 140-157.
- DEARMAN,W.R. (1991). *Engineering geological mapping*. Oxford/England, Butterworth Heinemann Ltd.
- DIAS,B.F.S. (1992). Cerrados: uma caracterização. In: ALTERNATIVAS DE DESENVOLVIMENTO DOS CERRADOS: MANEJO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, Brasília/DF, FUNATURA/IBAMA, p. 11-27.
- DIEFFY,P.J.B. (1985). *The development and practice of EIA concepts in Canada*. Ottawa/ Canada, Environment Canada.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral (1990). *Anuário mineral brasileiro: 1990*. Brasília/DF.
- DUARTE,K.(1992). *Mapeamento geotécnico da margem direita do rio São Bartolomeu, Distrito Federal..* Brasília/DF. 117p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- EITEN,G. (1994). Vegetação. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 1,p. 17-74.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1978). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. Rio de Janeiro/ RJ, EMBRAPA.

- FARIA,A. de (1988). *Mapa geológico do Distrito Federal - escala 1:100.000*. Brasília/DF, UnB-DNPM.
- FARIA,A. de (1989). O Grupo Paranoá no Distrito Federal. , In: SIMPÓSIO NÚCLEO MINAS GERAIS, 5., e SIMPÓSIO NÚCLEO BRASÍLIA, 1., Brasília/DF, 1989, *Anais*, Brasília/DF, SBG, p. 262-264.
- FARIA,A. de (1995). *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás*. Brasília/DF. 199p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- FARIAS,I.C. *et al.* (1984). *Guia para la elaboration de estudios del medio fisico: contenido y metodologia*. Madri/Espanha, Serie Manuales, nº 3, 2ª Edición, CEOTMA/MOPU
- FILGUEIRAS,T.S. & PEREIRA,B. da S. (1994). Flora. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 11, p. 345-404.
- FINLAYSON,A.A. (1982). *Terrain Analysis, Classification and Engineering Geological Assessment of the Sydnei Area, New South Wales*. Austrália, DAGTP nº 32, V. 1 e 2, CSIRO.
- FISHER,W.D. & DAVIES,G.S. (1973). An approach to assessing environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, USA, v. 1, p. 207-227, .
- FLAWN,P. (1970). *Enviromental geology*. New York/ USA, Harper-Row Pub.
- FORNASARI FILHO, N. *et al.* (1992). *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo/SP, Boletim nº 61, IPT.
- FUCK,R.A. (1990). Dobramentos neoproterozóicos da margem ocidental do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Natal/RN, 1990, *Bol. Resumos*, Natal/RN, SBG, p. 288-289.

- FUCK,R.A. *et al.* (1993). Faixa de dobramentos marginais. In: J.M.L. DOMINGUES, A. MISI eds. O Cráton do São Francisco, Salvador/BA, SBG/SGM/CNPq, p. 161-185.
- GARCIA,A. & GARCIA,E. (1980). Las variables ambientales en la planificación de desarrollo. *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, p. 132-145.
- GASTO,J. (1980). Bases ecológicas de la modernización de la agricultura. *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, p. 58-71.
- GDF - Governo do Distrito Federal (1997a). *Geografia e estatística*. <http://www.gdf.gov.br/sec/setur/home.htm> (25 fev.)
- GDF - Governo do Distrito Federal (1997b). *Anuário estatístico*. <http://www.gdf.gov.br/sec/codeplan/anuario/fisica.htm/clima> (01 mar.)
- GDF - Governo do Distrito Federal (1997c). *Caesb - Companhia de água e esgoto de Brasília*. <http://www.gdf.gov.br/sec/caesb/index.htm>. (23 mar.)
- GRANT,K. & FINLAYSON,A.A. (1978). *The Assessment and the Evalution of Geotechnical Resources in Urban or Regional Environments*. Amsterdam, Eng. Geol., v. 12, n° 3, p. 219-293.
- GRANT,K. (1975). *The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes*. Austrália, DAGTP n° 15, CSIRO, .
- HARIDASAN,M. (1994). Solos. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 10, p. 321-344.
- HILL,M. (1973). *Planning for multiples objectives*. Filadélfia/USA, Regions Science Research Institute.
- HILLS,A.G. (1970). *Develloping a better environment*. Toronto-Canadá, Ontario Economic Souncil, .

- HOLLING,C.S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. New York/USA, Jhon Wiley & Sons.
- HORBERRY,J. (1984). *Status and application of EIA for development*. Gland/USA, Consevation for Development Center.
- HURTUBIA,J. (1980). Ecologia y desarrollo: evolución y perspectivas del pensamiento ecológico. *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, p. 21-30.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1977). *Geografia do Brasil - região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro/RJ, v. 4, SEC/SEDG/IBGE.
- IMC - Interim Mekong Comitee (1982). *Environmental impact assessment guidelines of application to tropical niver basin development*. China, Mekong Secretariat, Bangkok.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1997). *Introdução ao geoprocessamento*. <http://www.inpe.br/spring/usuario/geoproc.htm> (26 fev.)
- IPDF - Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal (1996). Mapa PDOT- Macrozoneamento - escala 1:370.000. Brasília/DF, IPDF/CODEPLAN.
- JOHNS,D.H. (1973). *Environmental quality evaluation and impact analysis methodology*. Manitoba/USA, Center for Settlement Studies, University of Manitoba.
- JUCHEM,P.A. (1992). A questão ambiental. In: MANUAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS, Curitiba - PR, Seção 0100, SUREHMA.
- JUNQUEIRA,F.F. (1994). *Caracterização dos calcários do Distrito Federal e avaliação de seu potencial para uso na pavimentação*. Brasília/DF. 93p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

- KAINUMA,M.; NAKAMORI,Y. & MORITA,T. (1990). *Integrated decision support system for environmental planning*. Japan, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Nat Inst for Environ Studies, v. 20, n° 4, p. 777-790.
- KANE,J. *et al.*(1973). KSIM: a methodology for inter-active resource policy simulation. In: WATER RESOURCES RESEARCH, USA, v. 9, n° 1.
- KÉZDI,A. (1980). *Handbook of soil mechanics: soil testing*. New York/USA, Elsevier Scientific Publishing Company, v. 2.
- KING,C.C. (1965). Geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro/RJ, v. 18, n° 2, p. 147-265.
- LEE,C. (1975). *Modelos de planificación*. Madri/Espanha, Ed. Pirámide.
- LEE,N. & WOOD,C. (1980). *Methods of environmental impact assesment for use in proyect appraisal and physical planning*. Mancherter/USA, Dep. of Town and Country Planning, University of Mancherter,.
- LEOPOLD,M. *et al.*(1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington/USA, Geological Survey, Circ. n° 645.
- LEWIS,Ph.H. (1964). *Quality corridors for Wisconsin*. USA, Landscape Architecture Quarters, v. 1, p. 100-107.
- LINSTONE,H.A. & TUROFF,M. (1975). *The Delphi method: techiniques and applicationm*. Massachusetts/USA, Addison Wesley Co.
- LOLLO,J.A. (1995). *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas*. São Carlos/SP. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LYNCH,K. (1972). *L'évaluation d'impact des decisions sur l'environnement: trois approches américaines*. Paris/France, Humanisme, n° 129, p. 11-14.

- MARINI,O.J. *et al.* (1977). Contribuição à geologia do Pré-Cambriano da porção central de Goiás. *Revista Brasileira de Geologia*, v. 7, p.:304-324.
- MARINI,O.J. *et al.* (1984). *As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguaia-Araguaia e o maciço mediano de Goiás*. In: SHOBHENHAUS *et al.* - Geologia do Brasil. Brasília - DF: OGM/DNPM, p. 251-303.
- MATHEWSON,C. & FONT,R.G. (1974). *Geologic environment: forgotten aspect in the land use planning process*. In: THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ENG, GEOLOGY. CASE HISTORIES, USA, Boulder, v. 10, p. 23-28.
- MATHER,A.S. (1989). *Land use*. New York - USA, John Wiley & Sons.
- MATULA,M. (1979). Regional engineering geological evaluation for planning purposes. *Bulletin of IAEG*, nº 19, p. 18-24.
- MC HARG,I.L. (1969). *Desing with nature*. New York-USA, Natural History Press,
- MENDONÇA,A.F. (1993). *Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal*. Brasília/DF. 155p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- MILLER,V.C. & MILLER,C.F. (1961). *Photogeology*. New York., McGraw Hill Book Co.
- MORAIS,M.V.R. (1983). Características das encostas do Distrito Federal. *Boletim de Geografia Teórica*, v. 13, nº 26, p. 78-83.
- MOREIRA,I.V.D. (1985). *Avaliação de impacto ambiental*. Rio de Janeiro/RJ, FEEMA.
- MOREIRA,I.V.D. (1990). *Vocabulário básico de meio ambiente*. Rio de Janeiro/RJ, FEEMA/PETROBRÁS.

- MOREIRA,I.V.D. (1992). Origem e síntese dos principais métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA). In: MANUAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS, Curitiba/PR, Seção 3100, SUREHMA.
- MORTARI,D. (1994). *Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal*. Brasília/DF. 200p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- MUNN,R.E. (1979). *Environmental impact assessment*. Toronto/Canada, John Wiley & Sons.
- NOGAMI,J.S. & VILLIBOR,D.F. (1981). Uma nova classificação para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1., Rio de Janeiro/RJ, 1981, *Anais*, Rio de Janeiro/RJ, COOPE/ABMS, v. 1, p. 30-41.
- NOGAMI,J.S. & VILLIBOR,D.F. (1994). A new simple method for classification of lateritic and saprolitic soils. In: INTERNATIONAL IAEG CONGRESS, 12., Balkena/Rotterdam, ISBN: 90, p. 5410-5438.
- ODUM,E.P. (1983). *Ecologia*. Rio de Janeiro/RJ, Editora Guanabara.
- OLIVEIRA,A.M.S. *et al.* (1991). Geologia de engenharia e meio ambiente. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2., São Paulo/SP, 1991, *Anais*, São Paulo/SP, SBG, p. 293 - 296.
- ORELLANA,M.M.P. (1976). Tipos de concreções ferruginosas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto de Brasília. *Notícia Geomorfológica*, São Paulo - SP, v. 16, nº 32, p. 39-53.
- ORTIZ,J.M.R. (1985). Mapas geotécnicos. In: COL. ING. GEOL. UNIV. CATAL., 3., Barcelona, p. 95-120.
- OWENS,S.E. (1992). Land-use planning for energy efficiency. *Applied Energy*, Cambridge/England, v. 43, nº 1-3, p. 81-114.

- PASTORE,E.L. (1995). Weathering profiles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 7., Guadalajara/Mexico, 1995, *Anais*, Guadalajara/Mexico, v. 1, p. 130-141.
- PERAZZA,M.C. *et al.* (1985). *Estudo analítico de metodologias de avaliação de impacto ambiental*. São Paulo/SP, EMBRAPA,.
- PINTO,M.N. & CARNEIRO,P.J.R. (1984). Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, 4., São Paulo/SP, 1984, *Anais*, São Paulo/SP, Livro II, v. 2, p. 190-213.
- PINTO,M.N. (1986a). Unidades geomorfológicas do Distrito Federal. *Geografia*, Marília/SP, v. 11, nº 21, p. 97-109.
- PINTO, M.N. (1986b). Caracterização morfológica do curso superior do rio São Bartolomeu - Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro/RJ, v. 48, nº 4, p. 377-397.
- PINTO,M.N. (1987). Superfície de aplainamento do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro/RJ, v. 49, nº 2, p. 9-26.
- PINTO,M.N. (1994a). Caracterização geomorfológica. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 9, p. 285-320.
- PINTO,M.N. (1994b). Paisagens do cerrado. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 17, p. 51--542.
- QUEIROZ,S.M.P.de (1992). Avaliação de impactos ambientais: conceitos, definições e objetivos. In: MANUAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS, Curitiba - PR, Seção 0310, SUREHMA.
- RAMOS,J.R.A. (1956). Folha geológica da Nova Capital. In: RELATÓRIO ANUAL DA DIRETORIA, Rio de Janeiro/RJDGM/DNPM, p. 55-58.

- RAMOS,J.R.A. (1959). Notas geológicas. In: RELATÓRIO ANUAL DA DIRETORIA, Rio de Janeiro/RJDGM/DNPM, p. 34-53.
- ROBINSON,D.G. *et al.* (1976). *Landscape evaluation*. USA, University of Mannester.
- ROCHA,A.J.A. (1994). Caracterização liminológica. In: CERRADO: CARACTERIZAÇÃO, OCUPAÇÃO E PERSPECTIVAS, Brasília/DF, Edunb, Cap. 15, p. 469-492.
- ROMANO,O. & ROSAS,J.G.C. (1970). Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 4., Brasília/DF, 1970, *Anais*, Brasília/DF, SBG, v. 1, p. 313-333.
- ROMÃO,P.A. (1995). *Mapeamento geotécnico da região de Águas Claras (DF): utilização de recursos de geoprocessamento e de novos métodos de ensaio para caracterização de solos tropicais*. Brasília/DF. 166p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- SANEJOUAND,R. (1972). *La cartographie geotechnique en France*. Paris/France, Laboratoire Central Ponts Chaussées.
- SANTOS,J.P. (1989). Estudos de hidrogeologia. In: PLANO DIRETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E CONTROLE DA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS DO DISTRITO FEDERAL - ZONA RURAL, Brasília/DF, CAESB/CNEC.
- SANTOS,M.C.R. (1975). A cartografia geotécnica como ferramenta para geólogos e engenheiros e sua adequação realidade brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 7., São Paulo/SP, 1975, *Anais*, São Paulo/SP, SBC, v.1, p. 864-871.
- SASSAMAN,R.W. (1981). Threshold of concern: a technique for evaluating environmental impactes and amenity values. In: JOURNAL OF FORESTY, USA, v. 79, nº 2.

- SEMATEC - Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Distrito Federal (1994). *Mapa das unidades hidrográficas do Distrito Federal - escala 1:100.000*. Brasília/DF, SEMATEC/IEMA.
- SHOBBENHAUS, C. *et al.* (1984). *Geologia do Brasil*. Brasília/DF, DNPM-MME.
- SILVA, L.C.L. da (1992). *Análise hidrogeológica qualitativa da interação das águas subterrâneas dos aquíferos fissurais com o lago Paranoá, Brasília - DF*. Brasília/DF. 168p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R. (1973). *Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification*. São Francisco/USA, W. H. Freeman and Co.
- SOUZA, N.M. de (1994). *Contribuição à cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica*. São Carlos/SP. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- STEINITZ, C. & ROGERS, P. (1968). *A systems analysis model of urbanisation and change: an experiment in interdisciplinary education*. Harvard/USA, Graduate School of Desing, - University of Harvard.
- STRIEDER, A.J. (1990). Análise estrutural da região de Abadiânia (GO). *Revista Brasileira de Geociências*. v. 20, p. 239-257.
- THOR, E.C. *et al.* (1978). Forest environmental impact analysis - a new approach. In: JOURNAL OF FORESTRY, USA, p. 11-78.
- TORRES, H.H.F.; OLIVEIRA, R.G. & FIGUEIROA, I. (1994). Edentação tectônica da extremidade norte do Cráton do São Francisco na Faixa Riacho do Pontal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú/SC, 1994, *Resumos Expandidos*, Camboriú/SC, SBG, p. 222-223.

- TRICARD, J. (1966). As discontinuidades nos fenômenos de erosão. *Notícia Geomorfológica*, São Paulo -SP, v. 6, nº 12, p. 3-14.
- VASCO, C.E. (1978). Relaciones, operaciones y sistemas. In: CONFERÊNCIA DEL DESARROLLO EN AMÉRICA LATINA, 1., Bogotá/Colômbia. 1978, *Anais*, Bogotá/Colômbia, v. 1, p. 214-225.
- WATHERN, P. (1988). *Environmental impact assessment. Theory and practice*. Londres/England, Unwin Hyman Ltd.
- WEDDLE, A.E. (1973). Applied analysis and evaluation techniques. In: LAND USE AND LANDSCAPE PLANNING, USA, Leonard Hill Books, Cap. 3.
- WELSH, S. (1992). Assessment and management of risks to the environment. In: SYMPOSIUM ON MAJOR HAZARDS ONSHORE AND OFFSHORE, London - England, Inst. of Chemical Engineers, Series nº 130, p. 85-110.
- WESTMAN, W.E. (1985). Ecology, impact assessment and environmental planning. New York/USA, John Wiley & Sons.
- WHITEHOUSE, S.J. (1990). Public sector management in developing countries. Amman, a case study. In: MUNICIPAL ENGINEER (INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS), USA, v. 7, nº 1, p. 51-57.
- ZUQUETTE, L.V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodologia para condições brasileiras*. São Carlos/SP. 3v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos/SP. 2v. Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

APÊNDICE 01

**Características gerais unidades de materiais
inconsolidados.**

Fração Grosseira

MI	Pedregulho (%)			Areia Grossa (%)			Areia Média (%)			Areia Fina (%)			Fração Grosseira (%)			No.
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	
C1.1a	0	1,29	16,7	0	2,097	13,9	0,6	4,397	13,7	0,7	9,468	23	3,6	17,25	61,53	36
C1.1c	2,1	50,03	82,3	0,9	10,76	21,8	0,8	6,108	17,3	0,8	7,044	14,4	18,03	73,94	96,2	12
C1.1p	0	51,97	98,3	0,4	10	21,4	1,4	5,329	13,9	0,6	7,055	34,6	7,4	64,45	99,6	54
C2.1	0	0	0	0,4	2,9	5,4	2,6	2,7	2,8	7,5	25,74	43,97	15,5	31,34	47,17	5
C3.1a	0	0,083	0,4	0,2	1,283	3	1,4	3,883	7,8	2,4	16,01	33,58	4,3	21,26	42,78	9
C3.1c	30,4	47,33	60,4	5,4	11,45	14,2	6,3	6,825	7,7	5,2	6,725	9,8	56,5	72,33	82	5
C3.1p	19,7	41,54	71	4,5	9,211	14,5	2,6	6,4	10,4	3,6	10,49	19,5	46	67,64	86,8	10
C3.2	0,1	0,1	0,1	2,4	2,4	2,4	7,5	7,5	7,5	51	51	51	61	61	61	1
P1.1a	0	1,105	11,8	0	2,452	19,9	0,5	3,56	10,9	0,9	9,139	23,94	2,2	16,26	37,74	50
P1.1c	2,2	31,65	69,6	3,2	10,54	20,8	2,3	4,657	7	1,3	5,771	14,4	19,3	52,61	91,2	15

MI	Pedregulho (%)			Areia Grossa (%)			Areia Média (%)			Areia Fina (%)			Fração Grossa (%)			No.
	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	
P1.1p	0	27,91	68,2	0	9,169	22,6	0,3	6,206	14,7	1,6	9,594	39,46	7,84	52,88	87	57
P1.2	0,5	4,8	9,1	0,7	6,3	11,9	0,8	6,8	12,8	3,4	3,865	4,33	6,33	21,77	37,2	4
P2.1a	0	6,363	57,7	0	2,654	21	0,8	4,427	15,2	2,2	15,93	66,76	4,9	29,23	86,6	175
P2.1c	0	44,75	84,5	0,2	8,056	14,1	1,6	4,661	14,1	1,2	11,11	41,98	6,5	68,58	89,8	18
P2.1p	0	49,54	93,7	0,5	10,38	20,7	0,8	5,286	15,6	1,3	9,3	47,4	19,5	70,91	95,7	61
P2.2	0	4,625	16,9	0,6	2,675	7,9	0,3	2,075	2,9	53,4	74,83	88,78	76,92	84,21	94,28	5
P3.1	0	18,85	93,6	0,2	3,044	13	1,2	3,622	6,7	3,5	55,05	86,93	49,5	79,36	97,1	15
P4.1	0	10,94	39,5	0	3,691	13,7	0,4	3,564	10,9	16	50,55	78,7	41	68,74	87,03	13
P4.2a	0	3,025	7,1	0	3,1	6,6	0	3,2	4,4	8,7	38,45	66,3	26,8	47,78	71,3	5
P4.2p	0	34,53	70,8	0	11,03	20,9	0,9	4,386	13,2	2,6	15,69	47,13	25,1	65,63	88,9	9
P5.1a	0	0,179	3	0	0,211	1	0,5	4,2	14,1	0,5	28,61	48	2	33,2	52	27

MI	Pedregulho (%)			Areia Grossa (%)			Areia Média (%)			Areia Fina (%)			Fração Grossa (%)			No.
	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	
P5.1c	0	35	78,2	0,8	9,56	26,3	1,4	6,56	15,6	0,9	14,27	47,45	22	65,39	89,1	5
P5.1p	1	35	58,2	3	11,1	18,8	2	3,38	5,3	4,1	15,18	33	36	64,66	84,5	8
P7.1	0	0,1	0,5	0	0,5	1,1	1,9	13,46	28	58,1	70,45	85,55	73,8	84,51	97,55	5
T1	0	12,95	25,9	0,7	11,25	21,8	6,3	9,4	12,5	7,7	40,3	72,9	67,9	73,9	79,9	3
T2	0,1	39,85	86,7	3,2	5,95	8,7	3,3	4,4	5,5	2,7	4,7	8,4	17,2	48	89,4	6
T3	0,6	47,23	90,7	2,3	7,75	13,3	0,8	3,217	6,2	2,2	7,279	19,85	12,98	62,73	92,9	8
T4	50,7	50,7	50,7	15	15	15	8,1	8,1	8,1	8,7	8,7	8,7	82,5	82,5	82,5	1
T5	0	14,59	50,6	0	4,673	15,4	0	3,691	10,3	2,7	27,17	75,8	3,8	50,13	80,8	24
T6	37,97	37,97	37,97	16,9	16,9	16,9	3,05	3,05	3,05	7,9	7,9	7,9	65,82	65,82	65,82	1
T7	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	2,1	9,2	9,2	9,2	22,07	22,07	22,07	33,47	33,47	33,47	3

Fração Fina

MI	Silte (%)			Argila (%)			Fração Fina (%)			No.
	min	méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	
Cl.1a	17,8	25,2	57,4	12,2	57,6	72,1	38,5	82,7	96,4	36
Cl.1c	1,01	6,99	22,3	2,79	19,1	59,7	3,8	26,1	82	12
Cl.1p	0,3	16,8	77	0,1	18,5	64,4	0,4	35,3	92,6	54
C2.1	34	42,6	51,1	1,7	26,1	50,5	52,8	68,7	84,5	5
C3.1a	19,4	23,5	27,1	30,1	55,3	70,2	57,2	78,7	95,7	9
C3.1c	4,8	7,38	11,6	13,2	20,3	31,9	18	27,7	43,5	5
C3.1p	3,52	8,63	14,4	9,68	23,7	39,6	13,2	32,4	54	10
C3.2	33	33	33	6	6	6	39	39	39	1
Pl.1a	17	25,8	45,6	35,5	57,9	71,7	62,3	83,7	97,8	50
Pl.1c	2,35	13	24,5	6,45	34,4	59,2	8,8	47,4	80,7	15
Pl.1p	3,47	17,5	69,6	9,53	29,6	60,9	13	47,1	92,2	57
Pl.2	16,8	23,3	29,8	46,1	55	63,9	62,8	78,2	93,7	4
P2.1a	3,57	20,6	63,9	5,4	50,2	69,7	13,4	70,8	95,1	175
P2.1c	2,72	9,52	24,9	7,48	21,9	68,6	10,2	31,4	93,5	18
P2.1p	1	9,46	55	3,3	18,6	52,5	4,3	28,0	80,5	61
P2.2	5,17	9,36	16,4	0,5	6,43	14,2	5,72	15,8	23,1	5

<i>MI</i>	<i>Silte (%)</i>			<i>Argila (%)</i>			<i>Fração Fina (%)</i>			<i>No.</i>
	<i>min</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	
<i>P3.1</i>	1	9,23	38,5	1,6	11,4	19,7	2,9	20,6	50,5	15
<i>P4.1</i>	5,6	15,9	51	3,9	15,4	32	13	31,3	59	13
<i>P4.2a</i>	7,18	18,4	34	21,5	33,9	53,7	28,7	52,2	73,2	5
<i>P4.2p</i>	2,96	11,1	27,1	8,14	23,3	54,9	11,1	34,4	74,9	9
<i>P5.1a</i>	10	21,2	34	18	45,6	71,9	48	66,8	98	27
<i>P5.1c</i>	2,91	12,9	26,7	7,99	21,7	51,3	10,9	34,6	78	5
<i>P5.1p</i>	4,13	11,8	28	11,4	23,5	40	15,5	35,3	64	8
<i>P7.1</i>	2,15	6,92	9,65	0,3	8,57	19,2	2,45	15,5	26,2	5
<i>T1</i>	5,36	6,96	8,56	14,7	19,1	23,5	20,1	26,1	32,1	3
<i>T2</i>	3,5	14,6	22,1	7,1	37,7	60,7	10,6	52,3	82,8	6
<i>T3</i>	2	13,3	35,9	3,8	24	56,7	7,1	37,3	87,0	8
<i>T4</i>	4,67	4,67	4,67	12,8	12,8	12,8	17,5	17,5	17,5	1
<i>T5</i>	6,35	14,7	25,7	6,4	35,2	70,6	19,2	50,1	96,2	24
<i>T6</i>	8,56	8,56	8,56	25,6	25,6	25,6	34,2	34,2	34,2	1
<i>T7</i>	34,3	34,3	34,3	32,2	32,2	32,2	66,5	66,5	66,5	3

Limites de Consistência

MI	LL (%)			LP (%)			IP (%)			No.
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	
Cl.1a										
	31	48,2	58	20,8	34,1	43,3	7,8	14,2	23,1	36
Cl.1c										
	32,7	44,3	57	21,4	31,6	42,2	8,6	12,7	23,6	12
Cl.1p										
	0	34,6	59,9	0	23,3	43,1	0	11,3	23,9	54
C2.1										
	34,3	34,3	34,3	24,1	24,1	24,1	10,1	10,1	10,1	5
C3.1a										
	45,4	48,9	53,6	30,3	33,3	35,2	12,3	15,6	19,5	9
C3.1c										
	0	33,4	47,1	0	24,6	37,3	0	8,83	14,1	5
C3.1p										
	0	17	52,7	0	13,1	41,5	0	3,86	14,3	10
P1.1a										
	35,1	49,6	56,5	24,9	35,6	44,2	5,4	14	22,9	50
P1.1c										
	0	43,8	54	0	32,1	42,8	0	11,7	21	15
P1.1p										
	0	32,8	61,9	0	23,0	39,9	0	9,77	25	57
P1.2										
	37,4	56,2	75	26,4	29,7	33	11	26,5	42,0	4
P2.1a										
	0	42,3	67,2	0	31	43,1	0	11,3	24,1	175
P2.1c										
	0	39,5	61,6	0	28,8	48,8	0	10,7	17,7	18
P2.1p										
	0	32,9	53,4	0	24,3	37,8	0	8,98	18,4	61

<i>MI</i>	<i>LL (%)</i>			<i>LP (%)</i>			<i>IP (%)</i>			<i>No.</i>
	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	
<i>P2.2</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>P3.1</i>	0	6,97	27,2	0	4,78	21,1	0	2,19	14	15
<i>P4.1</i>	0	12,6	46	0	7,54	33	0	5,07	25	13
<i>P4.2a</i>	0	14,8	33,3	0	11,3	26,7	0	3,53	7,5	5
<i>P4.2p</i>	0	25,2	42,3	0	18,6	32,8	0	6,58	13,2	9
<i>P5.1a</i>	0	43,5	55,5	0	29,8	39	0	13,7	21,7	27
<i>P5.1c</i>	33,3	46,6	59,4	25,4	31,9	36,5	7,9	14,7	26,3	5
<i>P5.1p</i>	38,6	46,2	63	30	31,4	33	8	14,8	30	8
<i>P7.1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>T1</i>	0	18,7	37,4	0	12,9	25,8	0	5,8	11,6	3
<i>T2</i>	49,6	51,7	53,7	30,7	35,3	38,2	13,4	16,4	19	6
<i>T3</i>	39	48,5	71	31,4	35,9	41,7	7,6	12,6	29,3	8
<i>T4</i>	35,4	35,4	35,4	25,9	25,9	25,9	9,5	9,5	9,5	1
<i>T5</i>	0	31,3	54,9	0	23,8	41,1	0	7,53	13,8	24
<i>T7</i>	49,2	49,2	49,2	34,5	34,5	34,5	14,7	14,7	14,7	3

Massa Específicas - Umidades

MI	M. E. grãos (g/cm3)			Whig. (%)			M. E. máx (g/cm3)			W ót. (%)			ISC (%)			No.
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	
C1.1a	2,69	2,79	2,88	1,08	10,1	16,2	1,22	1,39	1,59	19,5	27,4	30,8	5,4	13,3	20,9	36
C1.1c	2,77	2,77	2,77	10,5	10,5	10,5	1,56	1,85	2,03	7,7	13,7	21,5	15,7	40,3	90	12
C1.1p	2,48	2,73	2,86	0,1	4,04	13,8	1,46	1,75	2,06	8,7	17	26,3	5,5	25,1	60	54
C2.1	2,89	2,89	2,89	0,32	0,32	0,32										5
C3.1a	2,73	2,82	2,91	7,15	9,36	15,3	1,37	1,39	1,41	20	22,6	25,2	4,2	9,6	15	9
Pl.1a	2,68	2,77	2,85	1,67	11,6	21,7	1,23	1,41	1,8	17,1	25,8	31,2	1,9	12,6	23	50
Pl.1c	2,84	2,84	2,84	13,4	13,4	13,4	1,33	1,74	2,01	9,1	16,7	32	3,8	28,8	80	15
Pl.1p	2,68	2,77	2,86	0,79	6,68	13,0	1,46	1,74	2,01	8,2	14,6	24,2	5,6	25,6	92	57
Pl.2	2,8	2,8	2,8	5,53	5,53	5,53	1,67	1,67	1,67	17,4	17,4	17,4	15	15	15	4

<i>MI</i>	<i>M. E. grãos (g/cm3)</i>			<i>Whig. (%)</i>			<i>M. E. máx (g/cm3)</i>			<i>W ót. (%)</i>			<i>ISC (%)</i>			<i>No.</i>
	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	
<i>P2.1a</i>	2,61	2,77	2,92	0,4	8,87	18,2	1,21	1,49	2,03	8	23,2	32,7	2	18,4	90	175
<i>P2.1c</i>	2,8	2,8	2,8	6,15	6,39	6,63	1,39	1,77	1,98	11,3	16,3	27,8	9	48,0	124	18
<i>P2.1p</i>	2,66	2,73	2,81	0,6	3,63	10,7	1,42	1,82	2,05	7,7	14,0	20,3	3,1	49,0	92	61
<i>P2.2</i>	2,72	2,79	2,86	0,5	2,17	4,49	1,7	1,7	1,7	12,4	12,4	12,4	16	16	16	5
<i>P3.1</i>	2,68	2,72	2,8	0,34	1,56	4,1	1,65	1,74	2	7,7	9,96	16,7	8	14,4	27	15
<i>P4.1</i>	2,68	2,76	2,87	0,51	1,03	1,9	1,67	1,85	2	8,2	10,6	12,4	12	22,3	32	13
<i>P4.2a</i>	2,61	2,61	2,61	0,38	0,38	0,38	1,7	1,76	1,83	8,9	12,6	15,6	7,6	22,2	31,9	5
<i>P4.2p</i>	2,71	2,71	2,71	7,56	7,56	7,56	1,49	1,78	1,93	8,8	13,2	20,8	6,5	59,9	95	9
<i>P5.1a</i>	2,64	2,83	3,02	2,2	6,87	16,4	1,38	1,41	1,5	26,3	27	28	5,5	11,3	17,8	27
<i>P5.1c</i>	2,75	2,76	2,77	11,5	12,6	13,7	1,69	1,92	2,1	10,8	13,6	16	40	56,3	85	5

MI	M. E. grãos (g/cm3)			Whig. (%)			M. E. máx (g/cm3)			W ót. (%)			ISC (%)			No.
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	
P5.1p	3,02	3,08	3,13	1,5	1,8	2,1	1,79	1,83	1,89	12,5	14,9	16,3	40	57,7	90,2	8
P7.1	2,7	2,72	2,75	0,14	0,79	1,34	1,8	1,8	1,8	10,1	10,2	10,3	24	27	30	5
T1	2,71	2,71	2,71	0,43	0,43	0,43	1,64	1,67	1,7	7,2	13,5	19,7	12	19,3	26,5	3
T2	2,71	2,73	2,75	2,4	5,38	7,6	1,41	1,54	1,67	22,5	23,4	24,3	6	9,9	13,8	6
T3	2,69	2,76	2,81	3	7,16	9,7	1,62	1,79	1,98	12,6	17,4	21,7	20	39	50	8
T4	2,7	2,7	2,7	2,5	2,5	2,5	2,07	2,07	2,07	13,1	13,1	13,1	100	100	100	1
T5	2,69	2,76	2,82	2,1	3,13	4,9	1,34	1,7	1,97	9,8	16,3	28,1	4,2	29,6	84	24
T7	2,76	2,76	2,76	13,2	13,2	13,2										3

SPT

MI	SPTmin			SPTméd			SPTmáx			No.
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	
C1.1a	16	16	16	24	24	24	50	50	50	36
C1.1p	2	3,5	5	22	22,5	23	51	59,5	68	54
C2.1	9	17,7	30	15	28	40	46	48,7	50	5
C3.1c	8	8	8	25	25	25	77	77	77	5
P1.1p	2	7,06	20	13	23,9	31	30	49,8	82	57
P1.2	3	3	3	17	17	17	36	36	36	4
P2.1a	1	1,8	2	11	14,2	18	30	61,6	76	175
P2.1p	1	5,92	24	9	24,2	48	44	59,2	80	61
P3.1	16	16	16	23	23	23	30	30	30	15
P4.1	2	2	2	18	18	18	30	30	30	13
P4.2a	2	2	2	13	13	13	53	53	53	5
P4.2p	2	2	2	21	22	23	45	47,5	50	9
P5.1a	2	3,63	10	9	14,4	19	23	35	45	27
P5.1p	2	4	6	11	18	26	39	46,3	53	8
T5	1	10,2	60	7	22,4	60	29	47,4	62	24

<i>MI</i>	<i>SPTmin</i>			<i>SPTméd</i>			<i>SPTmáx</i>			<i>No.</i>
	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	
<i>T7</i>	1	1,5	2	11	11,5	12	39	42,5	46	3

Propriedades Fisico-Químicas

MI	pH Água			pH KCl			Saturação (%)			CTC (e.mg/TFSA)			CTC e.mg/ argila		
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx
C1.1a	5,4	5,52	5,6	5,2	5,34	5,5	5,71	13,6	29,6	2,7	3,08	3,5	3,04	3,52	3,93
C1.1p	5,5	5,63	5,8	4,3	4,63	5,2	13,0	24,1	34,6	2,1	3,2	5,2	3,75	6,52	7,93
C2.1	5,8	5,8	5,8	4,3	4,3	4,3	40	40	40	4	4	4	8	8	8
C3.1a	4,6	5,03	5,4	4	4,77	5,3	11,4	14,3	17,2	0,7	2,37	3,5	3,82	14,2	35
C3.1p	4,7	4,7	4,7	4,1	4,1	4,1	6,98	6,98	6,98	4,3	4,3	4,3	15,9	15,9	15,9
C3.2	4,8	4,8	4,8	3,9	3,9	3,9	13,6	13,6	13,6	2,2	2,2	2,2	36,7	36,7	36,7
Pl.1a	4,6	5,39	6,1	4,1	5,1	5,8	9,09	15,8	22,7	2,2	3,66	9,4	2,97	5,72	11,8

MI	pH Água			pH KCl			Saturação (%)			CTC (e.mg/TFSA)			CTC e.mg/ argila		
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx
P1.1c	5,4	5,4	5,4	5,9	5,9	5,9	14,3	14,3	14,3	2,8	2,8	2,8	3,46	3,46	3,46
P1.1p	4,6	5,22	5,7	3,9	4,12	4,3	12,5	23,4	42,9	2	5,54	11,2	5,13	10,9	19,3
P1.2	6	6	6	5,4	5,4	5,4	78,6	78,6	78,6	7	7	7	14,6	14,6	14,6
P2.1a	4,9	5,39	6,4	4,2	5,06	5,9	2,44	13,3	66,7	1,8	3,72	7,1	2,73	6,58	15,1
P2.1p	4,9	4,9	4,9	4,2	4,2	4,2	6,98	6,98	6,98	4,3	4,3	4,3	8,78	8,78	8,78
P2.2	5,4	5,4	5,4	4,7	4,7	4,7	13,0	13,0	13,0	2,3	2,3	2,3	9,58	9,58	9,58
P3.1	5,4	5,7	5,9	5,1	5,63	6,1	6,25	12	15,4	1,3	1,43	1,6	3,82	5,35	6,15
P4.1	5,4	5,4	5,4	4,2	4,2	4,2	18,5	18,5	18,5	2,7	2,7	2,7	27	27	27

<i>MI</i>	<i>pH Água</i>			<i>pH KCl</i>			<i>Saturação (%)</i>			<i>CTC (e.mg/TFSA)</i>			<i>CTC e.mg/ argila</i>		
	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>	<i>mín</i>	<i>méd</i>	<i>máx</i>
<i>T1</i>															
	5,2	5,2	5,2	4,5	4,5	4,5	14,8	14,8	14,8	2,7	2,7	2,7	7,94	7,94	7,94
<i>T5</i>															
	5,6	5,9	6,4	4,5	5,35	5,9	12,5	34,9	84	2,4	4,55	7,5	4,62	9,26	20,8
<i>T6</i>															
	4,5	4,5	4,5	4	4	4	8,82	8,82	8,82	6,8	6,8	6,8	15,1	15,1	15,1

Classificações Geotécnicas

MI	TEXTURAL	SUCS	HRB	MCT	No.
Cl.1a					
	Argila Areno-Siltosa	CL	A-7-5		1
	Argila Areno-Siltosa	MH	A-7-5		1
	Argila Areno-Siltosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Areno-Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Argila Arenosa	CL	A-7-5		1
	Argila Silto-Pedregulhosa	MH	A-7-5		1
	Argila Siltosa	CL	A-5		4
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		9
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		4
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	3
	Silte Arenoso	SC	A-6	LA'	1
	Silte Argiloso	CL	A-7-6	NG'	1
Cl.1c					
	Argila Areno-Pedregulhosa	CL	A-7-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	SM'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	SM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GP	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-6		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>Cl.1p</i>	Pedregulho Arenoso	SM'	A-2-4		1
		GM	A-2		8
		GP	A-1		3
		GP - GM	A-1		6
		GPM	A-1		1
		GW	A-1		4
		MH	A-6		1
		ML	A-4		3
		ML	A-5		4
		SM	A-2		1
	Argila Areno-Siltosa	CL	A-7-6		1
	Argila Arenosa	SM	A-4		1
	Argila Pedregulhosa	SM'	A-7-5		1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LA	1
	Argila Siltosa	ML	A-4	LG'	1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GC'	A-2-6		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM	A-2-7		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM'	A-2-7		3
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC'	A-2-6		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC' - GM'	A-2-4		1
<i>C2.1</i>	Pedregulho Arenoso	GC'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-6		2
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM	A-2-7		1
<i>C3.1a</i>	Argila Siltosa	CL			1
	Silte Arenoso	CL	A-6	NA/NS'	1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Areia Fina Silto-Argilosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	2
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-7-5		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
<i>C3.1c</i>					
	Argila Pedregulhosa	SC'	A-6		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	SM'	A-2-7		1
<i>C3.1p</i>					
	Argila Arenoso-Pedregulhosa	CL	A-6		1
	Argila Arenoso-Pedregulhosa	SC'	A-6		1
	Argila Pedregulhosa	SC'	A-6		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	GM'	A-2-7		2
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	SC' - GM'	A-4		2
	Pedregulho Arenoso	SC' - GM'	A-1b		1
<i>C3.2</i>					
	Areia Fina Siltosa	ML			1
<i>Pl.1a</i>					
	Argila Arenoso Siltosa	CL	A-7-5	NS'	1
	Argila Arenoso-Siltosa	CL	A-5		1
	Argila Arenoso-Siltosa	CL	A-6		1
	Argila Arenoso-Siltosa	MH	A-7-5		1
	Argila Arenosa	CL - ML	A-5		1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-5		1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-7-5		1
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-5		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-7-5		1
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-5		4
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		7
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6	LG'	1
	Argila Siltosa	CL - ML	A-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		9
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	2
	Argila Siltosa	MH	A-7-6	NA'/NS'	1
	Silte Argiloso	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Silte Argiloso	MH	A-7-5	NG'	1
	Silte Argiloso	MH	A-7-5	NS'/NA'	1
<i>Pl.1c</i>					
	Argila Areno-Pedregulhosa	CL	A-4		1
	Argila Areno-Siltosa	CL	A-5		1
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-6		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-7		2
	Pedregulho Arenoso	GC'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM	A-2-7		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>Pl.1p</i>	Pedregulho Argiloso	SM'	A-5		1
	Areia Fina Silto-Argilosa	CH	A-7-6	LG'	1
	Areia Fina Silto-Argilosa	CL	A-6	NS'	1
	Argila Areno-Pedregulhosa	CL	A-4		1
	Argila Areno-Pedregulhosa	ML	A-4		1
	Argila Areno-Pedregulhosa	SM'	A-4		1
	Argila Areno-Pedregulhosa	SM'	A-7-5		1
	Argila Areno-Siltosa	ML	A-4		2
	Argila Pedregulhosa com Areia	MH	A-7-5		1
	Argila Pedregulhosa com Areia	SC'	A-6		1
	Argila Pedregulhosa com Areia	SM'	A-7-5		1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-6		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6		1
	Argila Siltosa	MH	A-4	LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GC'	A-2-6		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC'	A-2-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC' - GM'	A-2-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-7		2
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-5		2
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-7		3
	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-6		1
	Pedregulho Argiloso	SC'	A-6		2
	Pedregulho Argiloso	SM'	A-2-6		1
	Silte Argiloso	CL	A-7-6	LA'-LG'	1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>P1.2</i>	Silte Argiloso	CL	A-7-6	LG'	1
	Silte Argiloso	CL	A-7-6	NS'-NG'	1
<i>P2.1a</i>	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-6		1
	Argila Siltosa	CH	A-7-5	LG'	1
		ML		NS'	1
		ML	A-5		2
		OL	A-5		1
	Areia Fina Argilo-Siltosa	CL	A-7-6	LA'-LG'	1
	Areia Fina Argilosa	CL	A-6	LA'-LG'	1
	Areia Fina Argilosa	CL	A-7-6	NS'-NG'	1
	Areia Fina Argilosa	SC	A-4		1
	Areia Fina Argilosa	SC - SM	A-4		1
	Areia Fina Pedregulhosa	SC' - GM'	A-2-4		1
	Areia Fina Silto-Argilosa	SC	A-2-6	LA'	1
	Areia Fina Siltosa	ML	A-4	LG'	1
	Areia Fina Siltosa	SC	A-2-6	NS'/NA'	1
	Areia Fina Siltosa	SC	A-6	NA'/NG'-NS'	1
	Areia Fina Siltosa	SM	A-4	NS'	1
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-5		3
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-6		2
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-7-5		6
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-7-5	LG'	1
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-7-5	NA'/NG'-NS'	1
	Argila Arenó-Siltosa	CL	A-7-6		1
	Argila Arenó-Siltosa	MH	A-7-5		2
	Argila Arenó-Siltosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Arenó-Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Argila Arenosa	CL	A-4		5
	Argila Arenosa	CL	A-5		1
	Argila Arenosa	CL	A-6		4
	Argila Arenosa	CL	A-7-5		4
	Argila Arenosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	2
	Argila Arenosa	CL	A-7-6	LA	1
	Argila Arenosa	CL	A-7-6	LG'	1
	Argila Arenosa	CL - ML	A-4		2
	Argila Arenosa	MH	A-7-6	LA'-LG'	1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-7-5		5
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-7-5	LG'	1
	Argila Silto-Arenosa	CL - ML	A-5		1
	Argila Silto-Arenosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	CL	A-4		1
	Argila Siltosa	CL	A-5		14
	Argila Siltosa	CL	A-6		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		21
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	LA'-LG'	5
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	LG'	2
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	NA'/NS'	1
	Argila Siltosa	CL	A-7-6		4
	Argila Siltosa	CL	A-7-6	NS'-NG'	1
	Argila Siltosa	CL - ML	A-4		1
	Argila Siltosa	CL - ML	A-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		8
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-6	LG'	1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Argila Siltosa	ML	A-5		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	GC'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	GM'	A-2-4		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SC'	A-2-4		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SC' - GM'	A-2-4		2
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-2-4		3
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-2-7		3
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-4		1
	Pedregulho Arenoso	GC' - GM'	A-1b		1
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-4		1
	Pedregulho Argiloso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Argiloso	SM'	A-5		1
	Pedregulho Argiloso	SM'	A-7-5		1
	Silte Argiloso	MH	A-7-5	NA'/NG'-NS'	1
<i>P2.1c</i>					
	Areia Fina Argilosa	CL	A-7-6	LA'-LG'	1
	Areia Fina Siltosa	SC	A-6	LA'-LG'	1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-6		1
	Argila Siltosa	CL	A-5		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	GM'	A-2-5		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	GM'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-2-6		1
	Pedregulho Arenó-Argiloso	SM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GC' - GM'	A-1b		1
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-4		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>P2.1p</i>	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-6		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GP - GM	A-2-7		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	SM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argiloso	GM	A-2-7		1
	Pedregulho Argiloso	GM'	A-2-7		1
<i>P2.1p</i>		GC	A-2		1
		GM	A-2		1
		GP	A-1		1
		GW	A-1		2
		ML	A-4		3
		ML	A-5		1
		SC	A-4		1
		SM	A-2		1
	Argila Areno-Pedregulhosa	SM'	A-4		1
	Argila Areno-Siltosa	CL	A-5		1
	Argila Arenosa	CL	A-7-5	LG'	1
	Argila Arenosa	CL - ML	A-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GC'	A-2-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM	A-2-7		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM'	A-2-4		2
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM'	A-2-5		2
	Pedregulho Areno-Argiloso	GM'	A-2-7		3
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC'	A-2-4		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC'	A-2-6		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SC'	A-6		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-5		1
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-6		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-7		4
	Pedregulho Arenoso	GC' - GM'	A-1b		3
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GC'	A-1a		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GC'	A-1b		2
	Pedregulho Arenoso	GP' - GM'	A-2-7		2
	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-4		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM	A-2-7		2
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argiloso	GM	A-2-7		2
<i>P2.2</i>					
	Areia Fina Pedregulhosa com Argila	SC'	A-2-4		1
	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	LA'-LG'	1
	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	LA-LA'	1
	Areia Fina Siltosa	SP-SC	A-3	LA	1
<i>P3.1</i>					
		GP	A-1		1
		SC	A-4		1
	Areia Fina Argilosa	SC	A-2-4		2
	Areia Fina Argilosa	SC	A-2-6		2
	Areia Fina Argilosa	SC - SM	A-2-4		1
	Areia Fina Pedregulhosa	SC'	A-2-6		2
	Areia Fina Siltosa	SM	A-2-4	NS'/NA'	1
	Areia Fina Siltosa	SP-SC	A-2-4	LA	1
<i>P4.1</i>					
		CL		NG'	1
		ML			1
	Areia Fina Argilosa	SC	A-6		2
	Areia Fina Argilosa	SC - SM	A-2-4		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
	Areia Fina Pedregulhosa com Argila	SC' - GM'	A-2-4		1
	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	LA	1
	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	LA-LA'	1
	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	NS'/NA'	1
	Pedregulho Arenoso-Argiloso	SC' - GM'	A-4		1
	Pedregulho Arenoso	SC'	A-2-6		1
<i>P4.2a</i>					
	Areia Fina Argilosa	SC	A-4		1
	Areia Fina Argilosa	SC - SM	A-2-4		1
	Argila Arenoso-Siltosa	CL - ML	A-4		1
<i>P4.2p</i>					
	Areia Fina Silto-Argilosa	CL	A-4	LA'-LG'	1
	Argila Arenosa	SM	A-7-6		1
	Argila Silto-Arenosa	CL	A-5		1
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-4		1
	Pedregulho Arenoso	GP' - GC'	A-1a		1
	Pedregulho Arenoso	SC' - GM'	A-1b		2
<i>P5.1a</i>					
		MH		LG'	2
		ML		LG'	8
	Argila Siltosa	CL	A-7-6		2
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		2
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	NA'/NG'-NS'	1
<i>P5.1c</i>					
	Areia Fina Siltosa	SM	A-7-5	NA'/NG'-NS'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LA'-LG'	1
	Pedregulho Arenoso	GP - GM	A-2-7		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>P5.1p</i>	Pedregulho Arenoso	SM'	A-2-4		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM'	A-2-7		1
		MH		NG'	1
		ML		LG'	1
	Pedregulho Arenos-Argiloso	GM'	A-2-4		1
	Pedregulho Arenos-Argiloso	GM'	A-2-7		1
<i>P7.1</i>	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-5		1
	Areia Fina a Média	SP	A-3	NA	1
	Areia Fina a Média Siltosa	SP-SC	A-2-4	NA/NS'	1
	Areia Fina Argilosa	SC	A-2-6		1
	Areia Fina Argilosa	SC - SM	A-2-4		1
	Areia Fina Siltosa	SP-SC	A-2-4	LA	1
<i>T1</i>					
<i>T2</i>	Areia Fina Argilosa	SC	A-2-6		1
	Pedregulho Arenos-Argiloso	SM'	A-2-6		1
<i>T3</i>		GM	A-4		1
		MH	A-6		1
		ML	A-4		1
		ML	A-5		1
	Argila Siltosa	CL	A-7-5		1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5		1
		ML	A-5		2
	Argila Siltosa	CL	A-7-5	NA/NG'-NS'	1
	Argila Siltosa	MH	A-7-5	LG'	1
	Pedregulho Arenos-Argiloso	SM'	A-2-5		1

<i>MI</i>	<i>TEXTURAL</i>	<i>SUCS</i>	<i>HRB</i>	<i>MCT</i>	<i>No.</i>
<i>T4</i>	Pedregulho Argilo-Arenoso	GM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argilo-Arenoso	SM'	A-2-7		1
	Pedregulho Argiloso	GM	A-2-5		1
<i>T5</i>	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-4		1
		ML		NG'	1
	Areia Fina Siltosa	SC	A-6	LA'-LG'	1
<i>T6</i>	Areia Fina Siltosa	SC-SM	A-2-4	NS'	1
	Argila Areno-Pedregulhosa	SC' - GM'	A-2-4		1
	Argila Arenosa	CL	A-6		1
<i>T7</i>	Argila Siltosa	CL	A-5		2
	Pedregulho Areno-Argiloso	SM'	A-2-7		1
	Pedregulho Arenoso	GM'	A-2-4		1
<i>T7</i>	Pedregulho Argilo-Arenoso	SC'	A-4		1
	Pedregulho Argiloso	SC'			1
	Silte Areno-Argiloso	CL	A-7-5	LA'-LG'	1

APÊNDICE 02

**Curvas granulométricas representativas das
unidades de materiais inconsolidados.**

Curvas granulométricas representativas da Unidade C1.1a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C1.1c.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C1.1p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C2.1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C3.1a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C3.1c.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C3.1p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade C3.2

Curvas granulométricas representativas da Unidade Pl. a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade Pl. c

Curvas granulométricas representativas da Unidade P1.p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P2.1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P2.1a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P2.1c.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P2.1p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P2.2.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P3.1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P4.1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P4.2a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P4.2p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P5.1a.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P5.1c.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P5.1p.

Curvas granulométricas representativas da Unidade P7.1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade T1.

Curvas granulométricas representativas da Unidade T2.

Curvas granulométricas representativas da Unidade T3.

Curva granulométrica representativa da Unidade T4.

Curvas granulométricas representativas da Unidade T5.

Curva granulométrica representativa da Unidade T6.

Curva granulométrica representativa da Unidade T7.

APÊNDICE 03

**Arquivos de regra utilizados para o cruzamento
dos mapas.**

**; CRUZAMENTO ENTRE OS PI's DE SUBSTRATO ROCHOSO E
DECLIVIDADE**

GEO G

DECL D

; NOME DAS CLASSES e CORES	; REGRAS PARA DEFINICAO DE CLASSES
* C1f-21 2 * C1f-2 3 * C1f-20 4 * C1f-5 5 * C1f-10 6 * C2-21 7 * C2-20 9 * C3-21 10 * C3-2 11 * C3-20 12 * C3-5 13 * C3-10 14 * Pla-21 15 * Pla-2 16 * Pla-20 17 * Pla-5 18 * Pla-10 19 * P2-21 20 * P2-2 21 * P2-20 22 * P2-5 23 * P2-10 24 * P3-21 25 * P3-2 26 * P3-20 27 * P3-5 28 * P3-10 29 * P4-21 30 * P4-2 31 * P4-20 32 * P4-5 33 * P4-10 34 * P5-2 35 * P5-20 36 * P5-5 37 * P5-10 38 * P7-20 39 * C2-10 40 * Plc-21 41 * Plc-20 42 * Plc-10 43	: C1f-21 = G11 D5 : C1f-21 = G12 D5 : C1f-2 = G11 D1 : C1f-20 = G11 D4 : C1f-20 = G12 D4 : C1f-5 = G11 D2 : C1f-10 = G11 D3 : C2-21 = G13 D5 : C2-20 = G13 D4 : C2-10 = G13 D3 : C2-10 = G13 D2 : C2-10 = G13 D1 : C3-21 = G14 D5 : C3-2 = G14 D1 : C3-20 = G14 D4 : C3-5 = G14 D2 : C3-10 = G14 D3 : Pla-21 = G1 D5 : Pla-2 = G1 D1 : Pla-20 = G1 D4 : Pla-5 = G1 D2 : Pla-10 = G1 D3 : Plc-21 = G2 D5 : Plc-21 = G4 D5 : Plc-20 = G2 D4 : Plc-20 = G4 D4 : Plc-10 = G2 D3 : Plc-10 = G2 D2 : Plc-10 = G2 D1 : Plq-20 = G3 : P2-21 = G5 D5 : P2-2 = G5 D1 : P2-20 = G5 D4 : P2-5 = G5 D2 : P2-10 = G5 D3 : P3-21 = G6 D5 : P3-2 = G6 D1 : P3-20 = G6 D4 : P3-5 = G6 D2 : P3-10 = G6 D3 : P4-21 = G7 D5

* P1q-20 44	: P4-2 = G7 D1
* P6-20 45	: P4-20 = G7 D4
* P7-2 46	: P4-5 = G7 D2
* P7-10 47	: P4-10 = G7 D3
* Urbano 1	: P5-2 = G8 D1
* Lago 8	: P5-20 = G8 D4
	: P5-20 = G8 D5
	: P5-5 = G8 D2
	: P5-10 = G8 D3
	: P6-20 = G9
	: P7-20 = G10 D4
	: P7-20 = G10 D5
	: P7-2 = G10 D1
	: P7-2 = G10 D2
	: P7-10 = G10 D3
	: Urbano = D6
	: Lago = D7

**; CRUZAMENTO ENTRE OS PI's DE MATERIAL
INCONSOLIDADO E ESPESSURA**

MI M

ESP E

; NOME DAS CLASSES e CORES	; REGRAS PARA DEFINICAO DE CLASSES
* C11a-10 43	: C11a-10 = M22 E3
* C11c-10 2	: C11a-10 = M22 E4
* C11p-2 3	: C11a-5 = M22 E2
* C11p-5 4	: C11a-5 = M22 E1
* C21-2 5	: C11c-10 = M24
* C31a-10 6	: C11p-2 = M23 E1
* C31p-2 7	: C11p-2 = M25 E1
* C31p-5 44	: C11p-5 = M23 E2
* C32-2 9	: C11p-5 = M23 E3
* P11a-10 10	: C21-2 = M26 E1
* P11c-10 11	: C31a-10 = M27
* P11p-2 12	: C31p-2 = M28 E1
* P11p-5 13	: C31p-5 = M28 E2
* P12-2 14	: C31p-5 = M28 E3
* P13-2 15	: C31c-10 = M29 E3
* P21a-21 16	: C31c-10 = M29 E1
* P21a-2 17	: C32-2 = M30 E1
* P21a-20 18	: P11a-10 = M1 E3
* P21a-10 19	: P11a-10 = M1 E4
* P21c-10 20	: P11a-5 = M1 E2
* P21p-2 21	: P11a-5 = M1 E1
* P21p-5 22	: P11c-10 = M3

* P22-2 23	: P11p-2 = M2 E1
* P31-2 24	: P11p-5 = M2 E2
* P31-5 25	: P11p-5 = M2 E3
* P41-2 26	: P12-2 = M4
* P41-5 27	: P12-2 = M6
* P41-10 28	: P13-2 = M5
* P42a-10 29	: P21a-21 = M7 E5
* P42p-2 30	: P21a-2 = M7 E1
* P51a-20 31	: P21a-2 = M7 E2
* P51a-10 32	: P21a-20 = M7 E4
* P51p-2 33	: P21a-10 = M7 E3
* P51p-5 34	: P21c-10 = M9 E3
* P52-5 35	: P21c-10 = M9 E2
* P71-2 36	: P21c-10 = M9 E1
* T2-5 37	: P21c-20 = M9 E4
* T2-10 38	: P21c-20 = M9 E5
* T5-5 39	: P21p-2 = M8 E1
* T5-10 40	: P21p-5 = M8 E2
* T7-20 41	: P21p-5 = M8 E3
* T7-10 42	: P21p-5 = M8 E4
* C11a-5 45	: P21p-5 = M8 E5
* C31c-10 46	: P22-2 = M10 E1
* P11a-5 47	: P22-2 = M10 E2
* P21c-20 48	: P22-10 = M10 E3
* P22-10 49	: P22-10 = M10 E4
* P31-10 50	: P22-10 = M10 E5
* P42c-10 51	: P31-2 = M11 E1
* P51c-20 52	: P31-2 = M11 E2
* P51c-5 53	: P31-10 = M11 E3
* P61-2 54	: P31-10 = M11 E4
* P71-5 55	: P31-10 = M11 E5
* T1-5 56	: P41-2 = M12 E1
* T1-20 57	: P41-5 = M12 E2
* T3-10 58	: P41-10 = M12
* T5-20 59	: P42a-10 = M13
* T6-20 60	: P42p-2 = M14
* T4-5 61	: P42c-10 = M15
* Urbano 1	: P51a-20 = M16 E4
* Lago 8	: P51a-20 = M16 E5
	: P51a-10 = M16 E3
	: P51a-10 = M16 E1
	: P51a-10 = M16 E2
	: P51c-20 = M18 E4
	: P51c-20 = M18 E3
	: P51c-5 = M18 E2
	: P51c-5 = M18 E1
	: P51p-2 = M17 E1
	: P51p-5 = M17 E2
	: P51p-5 = M17 E3
	: P51p-5 = M17 E4

	: P52-5 = M19 : P61-2 = M20 : P71-2 = M21 E1 : P71-5 = M21 E2 : P71-5 = M21 E3 : T1-5 = M31 E2 : T1-5 = M31 E1 : T1-20 = M31 E4 : T1-20 = M31 E3 : T1-20 = M31 E5 : T2-5 = M32 E2 : T2-5 = M32 E1 : T2-10 = M32 E3 : T3-10 = M33 : T4-5 = M34 : T5-5 = M35 E2 : T5-5 = M35 E1 : T5-10 = M35 E3 : T5-20 = M35 E4 : T5-20 = M35 E5 : T6-20 = M36 : T7-20 = M37 E4 : T7-20 = M37 E5 : T7-10 = M37 E3 : T7-10 = M37 E1 : T7-10 = M37 E2 : Urbano = M38
--	--

**; CRUZAMENTO ENTRE OS PI's DE MAT. INCONS./ESPESS. e
SUB. ROCH./DECLIV.**

MIES M

GEIN G

; NOME DAS CLASSES e CORES	; REGRAS PARA DEFINICAO DE CLASSES
* Classe1 134 * Classe2 2 * Classe3 3 * Classe4 4 * Classe5 5 * Classe6 6 * Classe7 7 * Classe8 134 * Classe9 9 * Classe10 10 * Classe11 11 * Classe12 12	: Urbano = G46 M60 : Lago = G47 M61 : Classe1 = M1 G5 : Classe1 = M1 G22 : Classe2 = M1 G2 : Classe2 = M1 G19 : Classe3 = M1 G4 : Classe3 = M1 G16 : Classe4 = M2 G5 : Classe4 = M2 G17 : Classe5 = M2 G2 : Classe5 = M2 G19

* Classe13 13	: Classe6 = M2 G4
* Classe14 14	: Classe7 = M3 G5
* Classe15 15	: Classe7 = M3 G22
* Classe16 16	: Classe8 = M3 G2
* Classe17 17	: Classe9 = M3 G3
* Classe18 18	: Classe10 = M3 G1
* Classe19 19	: Classe11 = M3 G4
* Classe20 20	: Classe12 = M5 G7
* Classe21 21	: Classe12 = M5 G38
* Classe22 22	: Classe12 = M5 G17
* Classe23 23	: Classe13 = M5 G6
* Classe24 24	: Classe13 = M5 G13
* Classe25 25	: Classe14 = M6 G12
* Classe26 26	: Classe15 = M6 G9
* Classe27 27	: Classe16 = M6 G11
* Classe28 28	: Classe17 = M7 G12
* Classe29 29	: Classe18 = M7 G9
* Classe30 30	: Classe19 = M7 G10
* Classe31 31	: Classe20 = M7 G8
* Classe32 32	: Classe21 = M7 G11
* Classe33 33	: Classe21 = M7 G21
* Classe34 34	: Classe22 = M8 G10
* Classe35 35	: Classe22 = M8 G8
* Classe36 36	: Classe23 = M10 G17
* Classe37 37	: Classe23 = M10 G5
* Classe38 38	: Classe23 = M10 G15
* Classe39 39	: Classe23 = M10 G13
* Classe40 40	: Classe24 = M10 G14
* Classe41 41	: Classe24 = M10 G19
* Classe42 42	: Classe25 = M10 G16
* Classe43 43	: Classe26 = M11 G14
* Classe44 44	: Classe27 = M11 G16
* Classe45 45	: Classe27 = M11 G13
* Classe46 46	: Classe27 = M11 G15
* Classe47 47	: Classe27 = M11 G17
* Classe48 48	: Classe28 = M12 G17
* Classe49 49	: Classe28 = M12 G22
* Classe50 50	: Classe29 = M12 G14
* Classe51 51	: Classe29 = M12 G2
* Classe52 52	: Classe30 = M12 G15
* Classe53 53	: Classe30 = M12 G40
* Classe54 54	: Classe31 = M12 G13
* Classe55 55	: Classe31 = M12 G39
* Classe56 56	: Classe31 = M12 G18
* Classe57 57	: Classe32 = M12 G16
* Classe58 58	: Classe32 = M12 G21
* Classe59 59	: Classe33 = M13 G17
* Classe60 60	: Classe34 = M13 G16
* Classe61 61	: Classe34 = M13 G14
* Classe62 62	: Classe35 = M19 G22

* Classe63 63	: Classe35 = M19 G17
* Classe64 64	: Classe35 = M19 G27
* Classe65 65	: Classe35 = M19 G32
* Classe66 66	: Classe36 = M19 G19
* Classe67 67	: Classe36 = M19 G24
* Classe68 68	: Classe37 = M19 G21
* Classe69 69	: Classe37 = M19 G16
* Classe70 70	: Classe38 = M19 G20
* Classe71 71	: Classe38 = M19 G25
* Classe72 72	: Classe38 = M19 G46
* Classe73 73	: Classe39 = M19 G18
* Classe74 74	: Classe39 = M19 G13
* Classe75 75	: Classe39 = M19 G23
* Classe76 76	: Classe40 = M18 G22
* Classe77 77	: Classe40 = M18 G20
* Classe78 78	: Classe40 = M18 G18
* Classe79 79	: Classe40 = M18 G27
* Classe80 80	: Classe40 = M18 G25
* Classe81 81	: Classe40 = M18 G22
* Classe82 82	: Classe41 = M18 G19
* Classe83 83	: Classe42 = M18 G21
* Classe84 84	: Classe42 = M18 G31
* Classe85 85	: Classe43 = M16 G22
* Classe86 86	: Classe43 = M16 G18
* Classe87 87	: Classe43 = M16 G20
* Classe88 88	: Classe44 = M16 G21
* Classe89 89	: Classe44 = M16 G19
* Classe90 90	: Classe45 = M20 G21
* Classe91 91	: Classe45 = M20 G19
* Classe92 92	: Classe46 = M21 G22
* Classe93 93	: Classe46 = M21 G12
* Classe94 94	: Classe46 = M21 G17
* Classe95 95	: Classe46 = M21 G27
* Classe96 96	: Classe47 = M21 G19
* Classe97 97	: Classe48 = M21 G20
* Classe98 98	: Classe48 = M21 G15
* Classe99 99	: Classe48 = M21 G25
* Classe100 100	: Classe49 = M21 G18
* Classe101 101	: Classe49 = M21 G13
* Classe102 102	: Classe49 = M21 G23
* Classe103 103	: Classe50 = M21 G21
* Classe104 104	: Classe50 = M21 G16
* Classe105 105	: Classe50 = M21 G35
* Classe106 106	: Classe51 = M22 G22
* Classe107 107	: Classe52 = M22 G21
* Classe108 108	: Classe52 = M22 G19
* Classe109 109	: Classe52 = M22 G35
* Classe110 110	: Classe53 = M23 G18
* Classe111 111	: Classe53 = M23 G23
* Classe112 112	: Classe54 = M24 G27

* Classe113 113	: Classe54 = M24 G22
* Classe114 114	: Classe55 = M24 G24
* Classe115 115	: classe55 = M24 G19
* Classe116 116	: Classe56 = M24 G25
* Classe117 117	: Classe56 = M24 G20
* Classe118 118	: Classe57 = M24 G23
* Classe119 119	: Classe57 = M24 G18
* Classe120 120	: Classe58 = M24 G26
* Classe121 121	: Classe58 = M24 G21
* Classe122 122	: Classe58 = M24 G31
* Classe123 123	: Classe59 = M26 G32
* Classe124 124	: Classe59 = M26 G22
* Classe125 125	: Classe59 = M26 G27
* Classe126 126	: Classe60 = M26 G30
* Classe127 127	: Classe60 = M26 G20
* Classe128 128	: Classe60 = M26 G25
* Classe129 129	: Classe61 = M26 G28
* Classe130 130	: Classe61 = M26 G18
* Classe131 131	: Classe62 = M26 G31
* Classe132 132	: Classe62 = M26 G19
* Classe133 133	: Classe62 = M26 G21
* Urbano 1	: Classe62 = M26 G24
* Lago 8	: Classe62 = M26 G26
	: Classe62 = M26 G29
	: Classe62 = M26 G33
	: Classe63 = M29 G32
	: Classe63 = M29 G22
	: Classe64 = M30 G32
	: Classe64 = M30 G36
	: Classe65 = M32 G36
	: Classe65 = M32 G22
	: Classe65 = M32 G32
	: Classe65 = M32 G30
	: Classe65 = M32 G34
	: Classe66 = M32 G35
	: Classe66 = M32 G21
	: Classe66 = M32 G33
	: Classe67 = M31 G36
	: Classe68 = M31 G33
	: Classe69 = M31 G35
	: Classe69 = M31 G21
	: Classe69 = M31 G34
	: Classe70 = M33 G35
	: Classe70 = M33 G19
	: Classe70 = M33 G21
	: Classe70 = M33 G33
	: Classe71 = M34 G36
	: Classe71 = M34 G22
	: Classe71 = M34 G34
	: Classe72 = M34 G33

	: Classe73 = M34 G35
	: Classe73 = M34 G21
	: Classe73 = M34 G31
	: Classe74 = M36 G44
	: Classe75 = M36 G37
	: Classe75 = M36 G45
	: Classe76 = M40 G22
	: Classe77 = M40 G19
	: Classe77 = M40 G2
	: Classe77 = M40 G14
	: Classe77 = M40 G24
	: Classe77 = M40 G29
	: Classe77 = M40 G33
	: Classe78 = M40 G21
	: Classe78 = M40 G14
	: Classe78 = M40 G16
	: Classe78 = M40 G26
	: Classe78 = M40 G31
	: Classe78 = M40 G35
	: Classe79 = M39 G14
	: Classe79 = M39 G2
	: Classe79 = M39 G19
	: Classe79 = M39 G29
	: Classe79 = M39 G26
	: Classe79 = M39 G16
	: Classe79 = M39 G21
	: Classe79 = M39 G26
	: Classe79 = M39 G35
	: Classe80 = M1 G3
	: Classe80 = M1 G1
	: Classe81 = M43
	: Classe82 = M2 G1
	: Classe82 = M2 G3
	: Classe83 = M4 G4
	: Classe83 = M4 G2
	: Classe83 = M4 G5
	: Classe84 = M4 G1
	: Classe84 = M4 G3
	: Classe85 = M6 G10
	: Classe85 = M6 G8
	: Classe86 = M44
	: Classe87 = M8 G12
	: Classe88 = M8 G9
	: Classe88 = M8 G11
	: Classe89 = M9 G8
	: Classe89 = M9 G10
	: Classe90 = M9 G9
	: Classe90 = M9 G11
	: Classe90 = M9 G12
	: Classe91 = M45

	: Classe92 = M13 G13
	: Classe92 = M13 G15
	: Classe93 = M14 G13
	: Classe93 = M14 G15
	: Classe93 = M14 G17
	: Classe94 = M14 G39
	: Classe94 = M14 G40
	: Classe94 = M14 G41
	: Classe95 = M15 G13
	: Classe95 = M15 G15
	: Classe95 = M15 G42
	: Classe96 = M15 G14
	: Classe96 = M15 G16
	: Classe96 = M15 G17
	: Classe96 = M15 G45
	: Classe97 = M17 G2
	: Classe97 = M17 G19
	: Classe97 = M17 G21
	: Classe97 = M17 G26
	: Classe97 = M17 G31
	: Classe98 = M17 G22
	: Classe98 = M17 G20
	: Classe98 = M17 G18
	: Classe98 = M17 G30
	: Classe98 = M17 G43
	: Classe99 = M20 G22
	: Classe99 = M20 G20
	: Classe99 = M20 G18
	: Classe99 = M20 G30
	: Classe99 = M20 G32
	: Classe99 = M20 G36
	: Classe100 = M46
	: Classe101 = M22 G20
	: Classe101 = M22 G18
	: Classe101 = M22 G25
	: Classe102 = M47 G22
	: Classe102 = M47 G32
	: Classe102 = M47 G28
	: Classe102 = M47 G30
	: Classe103 = M47 G19
	: Classe103 = M47 G21
	: Classe103 = M47 G29
	: Classe103 = M47 G31
	: Classe104 = M23 G19
	: Classe104 = M23 G21
	: Classe105 = M23 G22
	: Classe105 = M23 G20
	: Classe106 = M48
	: Classe107 = M28 G22
	: Classe107 = M28 G32

	: Classe107 = M28 G30
	: Classe107 = M28 G28
	: Classe108 = M28 G21
	: Classe108 = M28 G29
	: Classe108 = M28 G31
	: Classe109 = M27 G22
	: Classe109 = M27 G27
	: Classe109 = M27 G25
	: Classe109 = M27 G32
	: Classe109 = M27 G30
	: Classe109 = M27 G28
	: Classe110 = M27 G19
	: Classe110 = M27 G24
	: Classe110 = M27 G29
	: Classe110 = M27 G31
	: Classe111 = M29 G19
	: Classe111 = M29 G29
	: Classe111 = M29 G31
	: Classe111 = M29 G33
	: Classe111 = M29 G35
	: Classe112 = M29 G20
	: Classe112 = M29 G25
	: Classe112 = M29 G28
	: Classe112 = M29 G30
	: Classe113 = M49
	: Classe114 = M30 G20
	: Classe114 = M30 G30
	: Classe114 = M30 G28
	: Classe114 = M30 G34
	: Classe115 = M30 G19
	: Classe115 = M30 G21
	: Classe115 = M30 G29
	: Classe115 = M30 G31
	: Classe115 = M30 G35
	: Classe116 = M50
	: Classe116 = M51
	: Classe117 = M33 G36
	: Classe117 = M33 G34
	: Classe118 = M35
	: Classe119 = M52
	: Classe120 = M53
	: Classe121 = M55
	: Classe122 = M54
	: Classe123 = M38
	: Classe124 = M37 G2
	: Classe124 = M37 G4
	: Classe125 = M37 G5
	: Classe125 = M37 G3
	: Classe125 = M37 G1
	: Classe126 = M56

	: Classe127 = M59
	: Classe128 = M40 G5
	: Classe128 = M40 G3
	: Classe128 = M40 G1
	: Classe128 = M40 G17
	: Classe128 = M40 G15
	: Classe128 = M40 G20
	: Classe128 = M40 G18
	: Classe128 = M40 G27
	: Classe128 = M40 G25
	: Classe128 = M40 G23
	: Classe128 = M40 G32
	: Classe128 = M40 G30
	: Classe128 = M40 G36
	: Classe128 = M40 G34
	: Classe129 = M57
	: Classe130 = M39 G5
	: Classe130 = M39 G10
	: Classe130 = M39 G17
	: Classe130 = M39 G15
	: Classe130 = M39 G13
	: Classe130 = M39 G22
	: Classe130 = M39 G20
	: Classe130 = M39 G18
	: Classe130 = M39 G27
	: Classe130 = M39 G25
	: Classe130 = M39 G23
	: Classe130 = M39 G32
	: Classe130 = M39 G30
	: Classe130 = M39 G34
	: Classe131 = M42
	: Classe132 = M41
	: Classe133 = M60

APÊNDICE 04

**Caracterização da unidades geotécnicas finais
frente às limitações do meio físico.**

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS.

Classe	Material Inconsolidado	Espessura (m)	Substrato Rochoso	Declividade (%)	Estabilidade/Vulnerabilidade	Área (km ²)
1	C1.1a	5 - 10	PMc1c	5 - 10	Estável/Vulnerável	55,19
2	C1.1a	5 - 10	PMc1c	0 - 2	Estável/Vulnerável	108,32
					Moderadamente Estável	4,99
3	C1.1a	5 - 10	PMc1c	2 - 5	Moderadamente Estável	58,87
4	C1.1c	5 - 10	PMc1c	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	2,08
4					Estável/Vulnerável	15,92
5	C1.1c	5 - 10	PMc1c	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	0,01
					Estável/Vulnerável	10,79
6	C1.1c	5 - 10	PMc1c	2 - 5	Estável/Vulnerável	14,56
7	C1.1p	0 - 2	PMc1c	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	149,01
8	C1.1p	0 - 2	PMc1c	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	76,85
9	C1.1p	0 - 2	PMc1c	10 - 20	Vulnerável	119,82
10	C1.1p	0 - 2	PMc1c	>20	Vulnerável	121,31
11	C1.1p	0 - 2	PMc1c	2 - 5	Moderadamente Vulnerável	59,43
12	C2.1	0 - 2	PMc2	5 - 20	Moderadamente Vulnerável	17,53
					Estável/Vulnerável	2,04
13	C2.1	0 - 2	PMc2	>20	Moderadamente Vulnerável	25,05
14	C3.1a	5 - 10	PMc3	5 - 10	Estável/Vulnerável	17,72
					Moderadamente Estável	0,46
15	C3.1a	5 - 10	PMc3	0 - 2	Estável/Vulnerável	0,01
					Moderadamente Estável	15,69
16	C3.1a	5 - 10	PMc3	2 - 5	Estável/Vulnerável	0,12
16					Moderadamente Estável	29,26
17	C3.1p	0 - 2	PMc3	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	55,38
18	C3.1p	0 - 2	PMc3	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	37,85
19	C3.1p	0 - 2	PMc3	10 - 20	Moderadamente Vulnerável	73,11
20	C3.1p	0 - 2	PMc3	>20	Vulnerável	31,80
21	C3.1p	0 - 2	PMc3	2 - 5	Estável/Vulnerável	18,89
22	C3.1p	2 - 5	PMc3	> 10	Moderadamente Vulnerável	19,83
23	P1.1a	5 - 10	PMpla	> 5	Estável/Vulnerável	124,58
24	P1.1a	5 - 10	PMpla	0 - 2	Moderadamente Estável	137,84
25	P1.1a	5 - 10	PMpla	2 - 5	Moderadamente Estável	301,97
26	P1.1c	5 - 10	PMpla	0 - 2	Estável/Vulnerável	15,16
					Moderadamente Estável	0,33
					Moderadamente Vulnerável	0,96
27	P1.1c	5 - 10	PMpla	> 2	Estável/Vulnerável	9,53
					Moderadamente Estável	17,91
28	P1.1p	0 - 2	PMpla	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	144,52
29	P1.1p	0 - 2	PMpla	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	110,26
30	P1.1p	0 - 2	PMpla	10 - 20	Moderadamente Vulnerável	120,87
31	P1.1p	0 - 2	PMpla	>20	Vulnerável	82,37
32	P1.1p	0 - 2	PMpla	2 - 5	Estável/Vulnerável	144,73
33	P1.1p	2 - 5	PMpla	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	10,33
					Estável/Vulnerável	0,36

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS (Continuação).

Classe	Material Inconsolidado	Espessura (m)	Substrato Rochoso	Declividade (%).	Estabilidade/ Vulnerabilidade	Área (km ²)
34	P1.1p	2 - 5	PMp1a	0 - 5	Estável/Vulnerável	12,95
35	P2.1a	5 - 10	PMp2	5 - 10	Moderadamente Estável	289,33
36	P2.1a	5 - 10	PMp2	0 - 2	Moderadamente Estável	275,17
37	P2.1a	5 - 10	PMp2	2 - 5	Estável	352,40
38	P2.1a	5 - 10	PMp2	10 - 20	Moderadamente Estável	62,86
39	P2.1a	5 - 10	PMp2	>20	Moderadamente Estável	20,87
40	P2.1a	10 - 20	PMp2	> 5	Moderadamente Estável	62,12
41	P2.1a	10 - 20	PMp2	0 - 2	Estável	66,69
42	P2.1a	10 - 20	PMp2	2 - 5	Estável	136,35
43	P2.1a	>20	PMp2	> 5	Moderadamente Estável	5,52
					Estável	16,56
44	P2.1a	>20	PMp2	0 - 5	Estável	47,32
45	P2.1c	5 - 10	PMp2	0 - 5	Moderadamente Estável	19,26
46	P2.1p	0 - 2	PMp2	5 - 10	Estável/Vulnerável	100,21
47	P2.1p	0 - 2	PMp2	0 - 2	Estável/Vulnerável	30,40
48	P2.1p	0 - 2	PMp2	10 - 20	Estável/Vulnerável	79,81
49	P2.1p	0 - 2	PMp2	>20	Moderadamente Vulnerável	105,23
50	P2.1p	0 - 2	PMp2	2 - 5	Moderadamente Estável	49,79
51	P2.1p	2 - 5	PMp2	5 - 10	Estável/Vulnerável	16,13
					Moderadamente Estável	0,07
52	P2.1p	2 - 5	PMp2	0 - 5	Moderadamente Estável	18,01
53	P2.2	0 - 2	PMp2	>20	Vulnerável	22,17
54	P3.1	0 - 2	PMp3	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	42,89
55	P3.1	0 - 2	PMp3	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	19,11
56	P3.1	0 - 2	PMp3	10 - 20	Vulnerável	31,55
					Moderadamente Vulnerável	6,01
57	P3.1	0 - 2	PMp3	>20	Vulnerável	24,30
58	P3.1	0 - 2	PMp3	2 - 5	Moderadamente Vulnerável	20,28
					Estável/Vulnerável	1,78
59	P4.1	0 - 2	PMp4	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	44,13
60	P4.1	0 - 2	PMp4	10 - 20	Vulnerável	31,62
61	P4.1	0 - 2	PMp4	>20	Vulnerável	10,91
62	P4.1	0 - 2	PMp4	0 - 5	Moderadamente Vulnerável	26,25
63	P4.2a	5 - 10	PMp4	5 - 10	Estável/Vulnerável	0,01
					Moderadamente Estável	14,50
64	P4.2p	0 - 2	PMp4	5 - 10	Estável/Vulnerável	14,45
65	P5.1a	5 - 10	PMp5	5 - 20	Estável/Vulnerável	25,73
66	P5.1a	5 - 10	PMp5	0 - 5	Moderadamente Estável	37,05
67	P5.1a	10 - 20	PMp5	5 - 10	Moderadamente Estável	15,98
68	P5.1a	10 - 20	PMp5	0 - 2	Moderadamente Estável	43,08
69	P5.1a	10 - 20	PMp5	2 - 5; 10 - 20	Estável/Vulnerável	0,66
					Moderadamente Estável	31,76
70	P5.1p	0 - 2	PMp5	0 - 5	Moderadamente Vulnerável	4,36
					Estável/Vulnerável	14,49

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS (Continuação).

Classe	Material Inconsolidado	Espessura (m)	Substrato Rochoso	Declividade (%)	Estabilidade/Vulnerabilidade	Área (km ²)
71	P5.1p	2 - 5	PMp5	5 - 20	Moderadamente Vulnerável	25,60
					Estável/Vulnerável	0,34
72	P5.1p	2 - 5	PMp5	0 - 2	Estável/Vulnerável	18,44
73	P5.1p	2 - 5	PMp5	2 - 5	Estável/Vulnerável	25,25
					Moderadamente Estável	0,27
74	P7.1	0 - 2	PMp7	0 - 2	Moderadamente Vulnerável	10,63
75	P7.1	0 - 2	PMp7	5 - 20	Vulnerável	16,51
					Moderadamente Vulnerável	3,85
76	T5	5 - 10	PMp2	5 - 10	Estável/Vulnerável	16,76
77	T5	5 - 10	PMc1c; PMp4; PMp1a; PMp2 PMp3; PMp5	0 - 2	Estável/Vulnerável	26,08
78	T5	5 - 10	PMp2; PMp1a; PMp3; PMp4; PMp5	2 - 5	Estável/Vulnerável	33,99
79	T5	2 - 5	PMp1a; PMc1c PMp2; PMp5 PMp4; PMp3	0 - 5	Moderadamente Vulnerável	0,71
					Estável/Vulnerável	44,70
80	C1.1a	5 - 10	PMc1c	> 10	Moderadamente Vulnerável	0,71
					Estável/Vulnerável	44,70
81	C1.1a	2 - 5	PMc1c	-	Estável/Vulnerável	2,58
82	C1.1c	5 - 10	PMc1c	>10	Moderadamente Vulnerável	5,68
83	C1.1p	2 - 5	PMc1c	0 - 10	Moderadamente Vulnerável	13,19
					Estável/Vulnerável	6,04
84	C1.1p	2 - 5	PMc1c	> 10	Vulnerável	3,34
					Moderadamente Vulnerável	4,52
85	C3.1a	5 - 10	PMc3	>10	Moderadamente Vulnerável	0,06
					Estável/Vulnerável	10,86
86	C3.1c	5 - 10	PMc3	-	Moderadamente Vulnerável	0,57
					Estável/Vulnerável	6,10
					Moderadamente Estável	0,28
87	C3.1p	2 - 5	PMc3	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	9,69
					Estável/Vulnerável	0,14
88	C3.1p	2 - 5	PMc3	0 - 5	Estável/Vulnerável	6,21
89	C3.2	0 - 2	PMc3	> 10	Vulnerável	6,24
90	C3.2	0 - 2	PMc3	0 - 10	Vulnerável	6,18
					Moderadamente Vulnerável	3,77
91	P1.1a	2 - 5	PMp1	-	Moderadamente Vulnerável	0,82
					Estável/Vulnerável	1,80
					Moderadamente Estável	0,51
92	P1.1p	2 - 5	PMp1a	>10	Moderadamente Vulnerável	7,90

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS (Continuação).

Classe	Material Inconsolidado	Espessura (m)	Substrato Rochoso	Declividade (%)	Estabilidade/Vulnerabilidade	Área (km ²)
93	P1.2; P1.4	0 - 2	PMp1a; PMp1d	> 5	Moderadamente Vulnerável	0,02
					Estável/Vulnerável	0,09
94	P1.2	0 - 2	PMp1c	> 5	Moderadamente Vulnerável	6,54
					Estável/Vulnerável	10,21
					Moderadamente Estável	0,80
95	P1.3	0 - 2	PMp1q	10 - 20	Vulnerável	11,02
					Moderadamente Vulnerável	0,02
96	P1.3	0 - 2	PMp1q	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	6,86
97	P2.1a	0 - 2	PMp2	0 - 5	Moderadamente Estável	11,24
98	P2.1a	0 - 2	PMp2	> 5	Estável/Vulnerável	0,99
					Moderadamente Estável	9,16
99	P2.1c	5 - 10	PMp2	> 5	Estável/Vulnerável	1,03
					Moderadamente Estável	10,79
100	P2.1c	10 - 20	PMp2	-	Moderadamente Estável	6,82
					Estável	4,27
101	P2.1p	2 - 5	PMp2	> 10	Estável/Vulnerável	12,40
102	P2.2	5 - 10	PMp2	5 - 10	Moderadamente Vulnerável	2,00
					Estável/Vulnerável	0,90
103	P2.2	5 - 10	PMp2	0 - 5	Estável/Vulnerável	1,69
					Moderadamente Estável	0,03
104	P2.2	0 - 2	PMp2	0 - 5	Moderadamente Vulnerável	7,57
					Estável/Vulnerável	0,79
105	P2.2	0 - 2	PMp2	5 - 20	Vulnerável	8,28
					Moderadamente Vulnerável	8,24
106	P3.1	5 - 10	PMp3	-	Moderadamente Vulnerável	6,31
					Estável/Vulnerável	2,54
107	P4.1	5 - 10	PMp4	> 5	Moderadamente Vulnerável	12,67
					Estável/Vulnerável	0,06
108	P4.1	5 - 10	PMp4	0 - 5	Estável/Vulnerável	3,40
109	P4.1	2 - 5	PMp4	> 5	Vulnerável	2,13
					Moderadamente Vulnerável	10,67
110	P4.1	2 - 5	PMp4	0 - 5	Moderadamente Vulnerável	3,76
					Estável/Vulnerável	4,81
111	P4.2a	5 - 10	PMp4	0 - 5	Moderadamente Estável	9,66
					Estável	0,56
112	P4.2a	5 - 10	PMp4	> 10	Estável/Vulnerável	0,37
					Moderadamente Estável	3,48
113	P4.2c	5 - 10	PMp4	-	Estável/Vulnerável	0,40
					Moderadamente Estável	2,43
114	P4.2p	0 - 2	PMp4	> 10	Moderadamente Vulnerável	9,02
115	P4.2p	0 - 2	PMp4	0 - 5	Estável/Vulnerável	9,04
116	P5.1c	2 - 5; 10 - 20	PMp5	-	Estável/Vulnerável	5,06
					Moderadamente Estável	5,62

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS FINAIS (Continuação).

Classe	Material Inconsolidado	Espessura (m)	Substrato Rochoso	Declividade (%)	Estabilidade/Vulnerabilidade	Área (km ²)
117	P5.1p	0 - 2	PMp5	5 - 20	Moderadamente Vulnerável	12,09
					Vulnerável	0,88
118	P5.2	2 - 5	PMp5	-	Moderadamente Vulnerável	9,48
					Estável/Vulnerável	0,46
119	P6.1	0 - 2	PMp6	-	Estável/Vulnerável	3,07
					Moderadamente Estável	1,38
120	P7.1	2 - 5	PMp7	-	Vulnerável	0,14
					Moderadamente Vulnerável	5,51
					Estável/Vulnerável	0,95
121	T1	10 - 20	-	-	Vulnerável	2,05
					Moderadamente Vulnerável	11,24
					Estável/Vulnerável	4,32
122	T1	2 - 5	-	-	Vulnerável	6,31
					Moderadamente Vulnerável	3,57
					Moderadamente Vulnerável	0,06
123	T2	5 - 10	-	-	Estável/Vulnerável	10,94
					Moderadamente Estável	6,22
124	T2	2 - 5	PMc1c	0 - 5	Estável/Vulnerável	12,81
125	T2	2 - 5	PMc1c	> 5	Moderadamente Vulnerável	1,34
					Estável/Vulnerável	6,15
					Moderadamente Vulnerável	8,15
126	T3	5 - 10	-	-	Estável/Vulnerável	4,00
					Moderadamente Estável	1,06
127	T4	2 - 5	-	-	Vulnerável	1,72
					Moderadamente Vulnerável	3,79
128	T5	5 - 10	PMc1c; PMp1a PMp2; PMp4; PMp3; PMp5	> 5	Moderadamente Vulnerável	3,61
					Estável/Vulnerável	4,63
129	T5	10 - 20	-	-	Estável/Vulnerável	8,44
					Moderadamente Estável	8,63
130	T5	2 - 5	PMc1c; PMc3; PMp1a; PMp2; PMp3; PMp4; PMp5	> 5	Moderadamente Vulnerável	15,17
					Vulnerável	0,40
131	T7	5 - 10	-	-	Moderadamente Vulnerável	8,80
					Estável/Vulnerável	5,44
132	T7	10 - 20	-	-	Moderadamente Vulnerável	2,47
					Estável/Vulnerável	17,46
133	T6	10 - 20	-	-	Moderadamente Vulnerável	0,40