UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANÁLISE CRÍTICA DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CONDIÇÕES BRASILEIRAS

VOLUME II

Lázaro Valentin Zuquette

ORIENTADOR: Prof. Dr. Nilson Gandolfi

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016646

EESC - USP
Biblioteca
CAMPUS DE S. CARLOS

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a Obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil:- Geotecnia.

São Carlos

1987

SUMÁRIO

VOLUME I

INTRODUÇÃO.....001

I - SISTEMÁTICA PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS

1- Considerações Gerais.....005
- Tipos de informações.....005
- Tipos de atributos.....007
- Tipos de unidades.....008

2- Meios e Classificações para a Composição dos Mapas.....012
- Matrizes.....013
- Variação temporal.....015
- Agrupamento.....015
- Divisão.....017

3- Ordem dos Contatos.....018

4- Representação das Variações Verticais.....020

5- Operações Executadas sobre Mapas.....024
- Generalização.....024
- Seleção.....027
  - Adição e Superposição.....028
- Covariação.....029
- Mecanismos de Mudanças.....034
  - Transformação.....034

6- Comentários Específicos para Mapas Geotécnicos.....036

7- Mecanismos para Definir Unidades nos Mapas Geotécnicos.....039

8- Princípios Gerais - Mapeamento Geotécnico.....040
- Princípios Gerais.....040
- Custos.....042
- Tipos de Mapas Geotécnicos quanto a apresentação dos atributos.....042
- Mapeamento Geotécnico como Indicador para o Planejamento.....046
- Uso dos Documentos Resultantes do Mapeamento Geotécnico.....052

II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1- METODOLOGIAS E SISTEMÁTICAS 055

- Metodologia P.U.C.E.(Austrália)....056
- Metodologia da Espanha....073
- Metodologia para Mapeamento de Áreas com Materiais Instáveis (Hinojosa e Leon)..(Espanha)....092
- Sistemas de Informações Geo-ambientais....099
  - A.R.D.A.
  - Ontário (a)
  - Ontário (b)
  - Suíça

  CANADÁ
- Metodologia - New Jersey..(U.S.A)....108
- Metodologia de Kiefer.(U.S.A)....158
- Metodologia da Inglaterra....110
- Metodologia Proposta por Mathewson e Font....116
- Metodologia ZERMOS..(França)....118
- Sistemática Aplicada em Franconia (Froelich et alii).(U.S.A)....131
- Sistemática de M. Humbert....155
- Metodologia - U.R.S.S....136
- Sistemática de Bottino e Cívita.(Itália)....170
- Análise das Metodologias e Sistemáticas e Possíveis Adaptações....183

II.2- BANCO DE DADOS

- Fundamentos....196
- Princípio de um Sistema Dinâmico para os Mapas Geotécnicos....196
- Vantagens e Desvantagens....199
- Principais Bancos de Dados....200
  - Sistema GEOSYS....201
  - Banco da Cidade de Rouen....203
  - Sistema GEORET....206
  - Sistema TWEGS....206
  - Banco de Dados Automático....211
  - Banco de Dados TCHECO....219
  - Banco de Dados Automático de Hasan e West....220
  - Sistemas Adotados por Diversos Laboratórios Regionais do Ponts et Chaussées....222
  - Banco de Dados Geotécnicos (Hungria)....222
  - Sistema Geoshare....224
  - Conjunto de Programas Aplicados em Grenoble....224

6- Atributos.....380
- Obtenção e Observação.....380
- Trabalhos já Realizados.....380
- Mapas.....380
- Sondagens.....381
- Ensaios Realizados por Empresas Públicas e Privadas..382
- Confiabilidade dos Dados já Existentes.....382
- Uso de Fotografias Aéreas e Outras Imagens.....382
- Trabalho de Campo.....384
- Trabalhos de Superfície.....384
- Investigação de Subsuperfície.....385
- Trados Manuais.....385
- Poços e Trincheiras.....385
- Sondagens Geofísicas.....386
- Penetrômetros Alternativos.....389
- Onde (local) Obter os Atributos.....405
- Ensaios sobre os Materiais Rochosos e Inconsolidados....410
- Ensaios para Materiais Inconsolidados.....410
- Ensaios para Materiais Rochosos.....416
- Propriedades Estimadas.....423
- Permeabilidade.....423
- Compressibilidade.....426
- Expansibilidade.....431
- Resistência.....431

7- Classificações.....437

8- Simbologia.....452

9- Banco de Dados e Ficha de Dados Geológicos - Geotécnicos.....472

VOLUME III

IV - APLICAÇÃO
- Justificativa da Aplicação.....480
- Localização e Divisão Política.....481
- Aspectos Fisiográficos.....484
- Geomorfologia.....484
- Aspectos Climáticos.....487
- Drenagem Geral.....487
- Vegetação.....490
- Componentes do Meio Físico.....492

- Geologia 492
- Materiais Inconsolidados 525
- Águas 555
  - Subterrânea 555
  - Superficial 563
- Cartas Interpretativas 565
  - Carta das Condições Hidrogeológicas 565
  - Carta para Fundações 569
  - Carta de Erodibilidade 574
  - Carta para Rejeitos Sépticos 575
  - Carta das Condições de Escavabilidade 578
  - Carta para Irrigação 579
  - Outras Considerações 580

V - CONCLUSÕES 582

VI - LISTAGEM BIBLIOGRÁFICA
- Mapeamento Geotécnico 590
- Áreas afins 657

TABELAS

TABELA 01- Exemplo de Unidades taxonômicas.....044

TABELA 02- Níveis de Planejamento x Componentes do Meio Físico.....053

TABELA 03- Sistema de Nomenclatura para Províncias.....060

TABELA 04- Sistema Numérico para Nomenclatura de Modelo de Terreno.....063

TABELA 05- Sistema de Classificação dos Solos.....062

TABELA 06- Sistema de Classificação da Vegetação.....062

TABELA 07- Sistema para Nomenclatura de Unidades de Terreno.....063

TABELA 08- Nomenclatura para Componentes do Terreno.....064

TABELA 09- Classe de Intervalos para os Parâmetros do Terreno.....065

TABELA 10- Classificação dos Terrenos - Divisão e forma de Registro.....070

TABELA 11- Formas de Análise e Quantificação para cada Classe do Terreno.070

TABELA 12- Construções x Classes de Terreno.....072

TABELA 13- Níveis Administrativos x Níveis de Utilização.....074

TABELA 14- Critérios de Classificação.....076

TABELA 15- Condições Construtivas e Problemas.....079

TABELA 16- Plano para Elaboração do Mapa Geotécnico Básico (1:25 000)....085

TABELA 17- Tipos de Relevo.....096

TABELA 18- Grupos Geotécnicos.....096

TABELA 19- Classificação dos Documentos.....112

TABELA 20- Ficha de Estudo para Regiões com Movimentos de Massa, utilizada pela Metodologia ZERMOS - B.R.G.M.....129

TABELA 21- Esquema de Legenda para Mapa Geotécnico Especial.....141

TABELA 22- Unidades Taxonômicas x Escalas x Critérios.....141

TABELA 23- Principais Feições dos Complexos Litológicos, Superficiais e suas Características.....178

TABELA 24- Pesos para as Variações Tecnológicas, Antrópicas e de Atributos.....179

TABELA 25- Parâmetros Geotécnicos e Grau de Influência.....181
TABELA 26- Formações dos Principais Programas que compõe o "GEOSYS".....202
TABELA 27- Algumas Características dos Banco de Dados do L.C. Ponts et Chaussées.....223
TABELA 28- Índices Básicos para a Avaliação do Meio Físico.....258
TABELA 29- Relações Atributos x Aptidões.....261
TABELA 30- Atributos x Meios de Obtenções.....262
TABELA 31- Velocidades de Segurança contra a Erosão.....264
TABELA 32- Classificação dos Terrenos de Fundação.....279
TABELA 33- Pressões Admissíveis.....279
TABELA 34- Possíveis Valores de Carga Admissível sob Carregamento Estático Vertical.....280
TABELA 35- Pressões Admissíveis no Solo (DIN 1054).....280
TABELA 36- Classificação dos Materiais com Fins à Escavabilidade.....284
TABELA 37- Principais Fontes e Causas de Poluição das Águas Subterrâneas. 287
TABELA 38- Relações entre Potencial de Contaminação e a Facilidade que os Aquíferos Apresentam para serem Poluídos.....287
TABELA 39- Grupos Rochosos de Materiais para Construção Civil.....311
TABELA 40- Correlações Petrográficas para Valores de Referência.....311
TABELA 41- Relações entre Características Petrográficas e Propriedades de Agregados para Pavimentação.....312
TABELA 42- Limites de Sulfetos para Concretos.....314
TABELA 43- Características que as Rochas devem Apresentar para que sejam Utilizadas na Construção Civil.....316
TABELA 44- Parâmetros a,b e c para o calculo do Coeficiente de polimento acelerado 319
TABELA 45- Limites básicos para utilização das lateritas 324
TABELA 46- Concentrações de sulfatos..... 338
TABELA 47- Características Básicas das Principais Fibras que são Usadas em Geotêxteis.....339
TABELA 48- Agressividade da Água Devida a Substâncias Dissolvidas (TGL-11.357).....340

TABELA 49- Capacidade de infiltração 344
TABELA 50- Classificação dos Solos quanto a Salinidade.....350
TABELA 51- Aptidão dos Solos para a Construção de Estradas.....374
TABELA 52- Previsão da Aptidão dos Solos para a Construção de Aterros....374
TABELA 53- Ocupação x Aptidão.....379
TABELA 54- Principais usos das Fotos Aéreas.....383
TABELA 55- Número de Observações Mínimas para cada Situação.....409
TABELA 56- Classificação dos Materiais Segundo De Beer (1967).....420
TABELA 57- Correlações para Obtenção do Índice de Compressão.....432
TABELA 58- Parâmetros para escavações 434
TABELA 59- Formas de Identificação e Avaliação dos Materiais em Campo....435
TABELA 60- Estimativa da Resistência a Compressão não Confinada (qu) de Materiais Argilosos.....436
TABELA 61- Dados para Definir Unidades de Materiais quanto à Resistência. 436
TABELA 62- Classificação de Rochas Ígneas.....438
TABELA 63- Classificação de Rochas Metamórficas.....438
TABELA 64- Classificação de Rochas Sedimentares.....439
TABELA 65- Classificação das Águas para Irrigação.....439
TABELA 66- Limites Máximos dos Elementos Traços nas Águas Utilizadas para Irrigação.....440
TABELA 67- Características das Águas para Fins de Irrigação.....440
TABELA 68- Qualidade das Águas para o uso em algumas Indústrias.....441
TABELA 69- Qualidade das Águas para uso Industrial.....441
TABELA 70- Qualidades das Águas.....442
TABELA 71- Contador Volumétrico de Juntas (JV).....442
TABELA 72- Descontinuidades.....443
TABELA 74- Classificação Geotécnica de Rochas Carbonatadas.....444
TABELA 75- Grau de Intemperismo.....445
TABELA 73- Caracterização de Resistência de Solos Finos.....443
TABELA 76- Permeabilidade de Solos e Rochas.....446
TABELA 77- Permeabilidade de Rochas.....446

TABELA 78 - Classificação de Solos para Aeroportos.....447

TABELA 79 - Classificação Unificada dos Solos.....448

TABELA 80 - Classificação de Solos com Comportamento Laterítico..... 449

TABELA 81 - Propriedades Típicas de Campos dosSolo Segundo a Classifica - ção Proposta por Nogami-Villibor..... 450

TABELA 82 - Caracterização de Compacidade dos Solos Grosseiros..... 451

TABELA 83 - Classificação Geotécnica de Solos no Campo..... 451

TABELA 84 - Dados Médios de cada Sub bacia..... 491

TABELA 85 - Resumo da Estratigrafia Regional..... 493

TABELA 86 - Resultados dos Ensaios Realizados sobre os Materiais Inconsoli dados..... 530

FIGURAS

FIGURA 001- Exemplo de Sobreposição de atributos.....008

FIGURA 002- Exemplo de MatrizAtributo x Atributo.....011

FIGURA 003- Exemplo de Matriz x Lugar x Atributo e Mapa Superposto.....011

FIGURA 004- Exemplo de Relações Atributo x Material.....013

FIGURA 005- Exemplo de Medidas Ordinais.....013

FIGURA 006- Exemplo de Medidas de Intervalos e de Razões.....013

FIGURA 007- Matriz Atributo x Tempo.....015

FIGURA 008- Modelo da Análise de Matrizes para Reagrupamento.....016

FIGURA 009- Critérios para Definir as Ordens dos Contatos.....019

FIGURA 010- Mapa Representando Diversas Ordens de Contato.....019

FIGURA 011- Mapa Representando os Resultados Obtidos da Metodologia P.U.C.E022

FIGURA 012- Exemplo de Perfís Usados nos Mapas Legenda-Perfil.....022

FIGURA 013- Diagramas de Venn e Euler.....023

FIGURA 014- Mapa Representando os Diagramas de Venn e Euler.....023

FIGURA 015- Mapas com os Contatos Originais.....026

FIGURA 016- Exemplo de Generalização Cartográfica e Categórica.....026

FIGURA 017- Operações sobre Mapas.....028

FIGURA 018- Exemplo de Mapa Superposto.....029

FIGURA 019- Mapa Exemplificando Covariação.....030

FIGURA 020- Mapa do Zoneamento Geotécnico da Bacia de Zvolen.....031

FIGURA 021- Exemplo de Matriz Unidade x Unidade.....032

FIGURA 022- Diagrama de Venn (Bacia de Zvolen).....033

FIGURA 023- Matriz Tridimensional (Bacia de Zvolen).....033

FIGURA 024- Exemplo de Árvore Lógica para Definição de Unidades.....040

FIGURA 025- Diagrama de Matulla (1979).....045

FIGURA 026- Exemplo de Modelo "Computer Composite Mapping".....050

FIGURA 027- Representação de uma Vertente.....063

FIGURA 028- Fluxograma para Análise e Avaliação dos Terrenos.....069

FIGURA 029- Ordenação e Relação dos Mapas Temáticos.....089

FIGURA 030- Síntese e Relação Esquemática das Principais Cartas..... 171
FIGURA 031- Operação do "GEOSYS"..... 202
FIGURA 032- Organização e Canal de Transferência de Dados do "GEOSYS"..... 202
FIGURA 033- Sistema "GEORET"..... 207
FIGURA 034- Sistema "TWEGS"..... 210
FIGURA 035- Exemplo de Mapa-Banco de Dados (Tyne e Wear)..... 218
FIGURA 036- Fluxograma do Sistema G.D.R..... 223
FIGURA 037- Esquematização para Elaboração do Mapeamento Geotécnico em Escalas entre 1:100 000 e 1:250 000..... 259
FIGURA 038- Modelo de Combinação dos Atributos Considerados no Mapeamento Geotécnico em escalas pequenas..... 260
FIGURA 039- Velocidade de Erosão dos Terrenos em Função da Granulometria... 265
FIGURA 040- Nomógrafo - Erodibilidade..... 266
FIGURA 041- Classificação de Encostas..... 268
FIGURA 042- Quantidade Anual de Chorume após la Saída..... 297
FIGURA 043- Primeiro Aparecimento do Chorume..... 297
FIGURA 044- Carta para Avaliar os Locais com Materiais Granulares Soltos... 303
FIGURA 045- Carta para Avaliar os Locais com Dois Tipos de Materiais..... 303
FIGURA 046- Ábaco para Determinar a Área Necessária para o Aterro Sanitário 304
FIGURA 047- Adequabilidade de Diferentes Tipos de Solos para Recobrimento de Aterros Sanitários..... 304
FIGURA 048- Diagrama $\overline{X}$ - N (Granulometria)..... 371
FIGURA 049- Diagrama de Sensibilidade à Água (Sa - $\overline{X}$)..... 372
FIGURA 050- Aplicação da Classificação dos Solos em Função das Condições Hídricas..... 372
FIGURA 051- Possibilidade de Reemprego do Solo..... 373
FIGURA 052- Correlações de Tourenq e Archibaud entre Propriedades Físicas e Mecânicas para as Rochas Calcáreas..... 388

FIGURA 053- Esquema do Penetrômetro de Peso.....393
FIGURA 054- Tipos de Cones.....395
FIGURA 055- Nomograma para Determinação do Ângulo Atrito Interno.....398
FIGURA 056- Esquema do Equipamento "BORRO".....402
FIGURA 057- Penetrômetro Gouda de 25 KN.....403
FIGURA 058- Correlação entre à Resistência a Compressão Simples (σR) e a Penetração dos Pinos (p).....404
FIGURA 059- Diagrama para Determinação da Resistência a Compressão Simples a Partir da Dureza de Schmidt e o Peso Específico419
FIGURA 060- Relação entre a Resistência a Compressão Simples e a Dureza de Shore (Sh).....419
FIGURA 061- Resistência ao Cisalhamento não Drenada e Remoldada.....429
FIGURA 062- Permeabilidade.....429
FIGURA 063- Índice de Compressão e Índice de Compressão Normalizado.....430
FIGURA 064- Coeficiente de Consolidação.....430
FIGURA 065- Divisão Geomorfológica e Localização da Área.....482
FIGURA 066- Municípios, Principais Drenagens e Vias de Acesso.....483
FIGURA 067- Formas de Relevo.....486
FIGURA 068- Sub bacias Hidrográficas.....488
FIGURA 069- Disponibilidade Hídrica Superficial Atual e Futura.....489
FIGURA 070- Posição - Perfís Geológicos.....502
FIGURA 071- Perfil A'A.....503
FIGURA 072- Perfil B'B.....504
FIGURA 073- Perfil C'C.....505
FIGURA 074- Perfil D'D.....506
FIGURA 075- Perfil E'E.....507
FIGURA 076- Perfil F'F.....508
FIGURA 077- Perfil GG'.....509
FIGURA 078- Perfil H'H.....510

FIGURA 079- Perfil I'I.....511
FIGURA 080- Perfil J'J.....512
FIGURA 081- Perfil K'K.....513
FIGURA 082- Perfil LL'.....514
FIGURA 083- Perfil MM'.....515
FIGURA 084- Perfil NN'.....516
FIGURA 085- Perfil PP'.....517
FIGURA 086- Perfil OO'.....518
FIGURA 087- Perfil QQ'.....519
FIGURA 088- Perfil RR'.....520
FIGURA 089- Perfil SS'.....521
FIGURA 090- Perfil TT'.....522
FIGURA 091- Perfil UU'.....523
FIGURA 092- Perfil VV'.....524
FIGURA 093- Faixa Granulométrica - Residuais do Diabásio.....536
FIGURA 094- Faixa Granulométrica - Residuais do Complexo Cristalino.....539
FIGURA 095- Faixa Granulométrica - Residuais do Silt /Argilito (Siltoso).542
FIGURA 096- Faixa Granulométrica - Materiais Mistos.....544
FIGURA 097- Faixa Granulométrica - Materiais Intermediários (Argila $<$30%)547
FIGURA 098- Faixa Granulométrica - Materiais Intermediários (Argila $>$40%)548
FIGURA 099- Faixa Granulométrica - Materiais Oriundos dos Siltitos/Argili tos.....550
FIGURA 100- Faixa Granulométrica - Materiais em Depressão.....552
FIGURA 101- Faixa Granulométrica - Materiais Arenosos. I.....554
FIGURA 102- Faixa Granulométrica - Materiais Arenosos II.....556
FIGURA 103- Diagrama Piper - Águas Aquífero I Tararé/Diabásio/Cristalino.561

ABREVIAÇÕES E SÍMBOLOS

- eo - Índice de Vazios Inicial ou "in situ"
- LL - Limite de Liquidez
- LP - Limite de Plasticidade
- en - Índice de Vazios num Determinado Estágio
- e - Índice de Vazios num Momento
- WN - Umidade Natural
- γ_W - Peso Específico da Água
- γ_d - Peso Específico Seco
- IAEG- Boletim da "International Assoc. Eng. Geol."
- IAEG- Congresso da "International Assoc. Eng. Geol."
- NA - Nível de Água
- ρ_d - Massa Específica Seca
- ρ_s - Massa Específica dos Sólidos
- Dr - Densidade Relativa
- ABNT- Assoc. Brasileira de Normas Técnicas
- HRB - Highway Research Board
- TRR - Trasnport and Road Research
- IAEG- International Assoc. Eng. Geology
- Se - Superfície Específica
- D_{10} - Diâmetro Efetivo
- D_{16} - Diâmetro 16%
- D_{84} - Diâmetro 84%
- D_{50} - Diâmetro 50%
- BOD - Demanda de Oxigênio Biológico
- CTC - Capacidade de Troca Catiônica
- LI - Leaching Index
- EA - Equivalente Areia
- COD - Demanda de Oxigênio Químico
- T.F.S.A - Terra fina seca ao ar
- ARG - Argilito
- SILT- Siltito
- ARE - Arenito
- GNA - Gnaísse
- DIA - Diabásio
- GRA - Granito
- MIGMA- Migmatito
- PUCE- (Paterns, Units, Components Evaluation)

- ISRM- Intern. Soc. Rock Mechanics
- K - Coeficiente de Permeabilidade
- DAEE- Departamento de Água e Energia Elétrica
- Q_t/P- Razão Vazão Total/ Precipitação
- Q_B/P- Razão Vazão Básica/ Precipitação
- Q_B/Q_t- Razão Vazão Básica/ Vazão Total
- ρ - Massa Específica Natural
- IP - Índice de Plasticidade
- emin- Índice de Vazios Mínimo
- emax- Índice de Vazios Máximo
- GCNAT- Grau de Compactação Natural
- WOT - Umidade Ótima
- Sr % - Grau de Saturação
- Ko - Fator de erodibilidade

III-PROPOSTA METODOLÓGICA

CONDIÇÕES BÁSICAS QUE ORIENTARAM A ELABORAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA

Esta proposta metodológica tem como objetivo básico produzir documentos que auxiliarão nas diretrizes para implementar as formas de ocupação, sem que o meio-físico sofra consequências desastrosas. A proposta está baseada nas condições sócio-econômicas do país e nos princípios que regem as outras metodologias existentes. O levantamento das informações do meio-físico deverá ser executado por meio de técnicas e métodos que sejam simples, baratos e objetivos. Os atributos do meio-físico devem ser classificados basicamente segundo características naturais e secundariamente por sistemas técnicos. A aplicação da proposta não deve exigir equipe numerosa de profissionais especializados, assim como o esqueleto básico deve permitir a sua aplicação em escalas variadas entre 1:50 000 e 1:10 000, através da alteração e a densidade de pontos observados. A proposta de mapeamento geotécnico para escalas entre 1:100 000 e 1:250 000 foi elaborada com o objetivo de serem aplicadas em áreas extensas e com custo final baixo.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PORQUE OS MAPAS GEOTÉCNICOS

Ao se analisar o rol de artigos existentes sobre o assunto, verificou-se que os mapas geotécnicos constituem uma sistemática comum, de grande aplicação e utilização nos países mais desenvolvidos da Europa, U.S.A., Canadá, Austrália e outros.

Para os diversos países citados, os mapeamentos geotécnicos foram realizados com finalidades diversas em função da extensão, estágio técnico-econômico e outros fatores, porém tiveram e tem como finalidades comuns as seguintes:

- Orientação à ocupação do meio físico;
- fornecimento de dados preliminares a empresas públicas e privadas;
- utilização não só para fins de engenharia, mas também agronômicos, de planejamento, de fiscalização, etc

Para o país, o mapeamento geotécnico deve ser realizado considerando, porém, os aspectos seguintes:

a) Como o mapeamento geotécnico tem por finalidade agrupar, operar e analisar dados de interesse do meio físico, no Brasil haverá problemas em se conseguir os dados, basta observar que praticamente não existem mapas geológicos em escalas de interesse para outros tipos de dados (ensaios, materiais de cobertura, etc...) existe uma carência muito grande e se por ventura existirem, persiste uma grande dificuldade em agrupá-los, devido aos problemas de apresentação e da forma de obtenção, por este motivo a realização do mapeamento geotécnico no país é necessário para servir como base e orientação aos usuários.

b) A grande extensão territorial e a baixa ocupação de algumas regiões faz com que a elaboração do mapeamento geotécnico seja de grande utilidade.
Para as áreas com maior densidade de ocupação, a elaboração servirá para agrupar os dados já existentes e prever possíveis problemas devido a má ocupação. Poderá também ser utilizado para analisar as tendências da ocupação, assim como verificar e manter as formas corretas de ocupação. A realização do mapeamento geotécnico em região com baixa densidade de ocupação fornecerá aos usuários informações básicas do meio físico, para que a ocupação seja adequada e problemas futuros não ocorram.

c) A elaboração do mapeamento está ligada a condição econômica de cada região e do país, considerando que a taxa de gastos deve ser pequena em relação a uma investigação local. Como a existência de dados é pequena, a realização e obtenção dos dados deve obedecer uma metodologia adequada. A realização do mapeamento geotécnico com baixo custo deverá servir como ferramenta básica para a ocupação das regiões, evitando que meios de prospecção geotécnica e ocupação inadequados sejam utilizados.

d) O mapeamento geotécnico deve ser executado em escalas que venham a ser úteis nos planos de desenvolvimento. É adequado que, para regiões com baixa densidade de ocupação, o mapeamento geotécnico seja executado em escalas entre 1:250 000 e 1:1000 000, como nos países do leste europeu, Austrália, Canadá e outros. A partir destas escalas pequenas, áreas mais viáveis devem ser mapeadas em escalas maiores em função do tipo de interesse e possível ocupação.

1.2 VIABILIDADE DA METODOLOGIA

A realização só será possível se algumas situações forem viabilizadas, tais como:

- A necessidade de se conhecer as variações básicas do meio físico que o trabalho pode refletir devendo ser consideradas quais variações e que tipo de mapa pode ser realizado para atender às necessidades dos possíveis usuários;

- execução do trabalho por profissionais ligados aos diferentes campos de estudo do meio físico, bem como conhecedores das formas de obtenção e de uso das informações contidas no mapa geotécnico; a existência de uma equipe com profissionais das diferentes áreas de conhecimento não é fundamental;existem profissionais com conhecimento geral suficiente para executar o mapeamento geotécnico, principalmente aos níveis de zoneamento geotécnico geral e de condições geotécnicas;

- criação, através de condições de campo e de laboratório, de meios para que as informações possam ser obtidas e mapeadas, de acordo com a escala, a situação de ocupação, a finalidade e usuários potenciais;

- a viabilidade de elaborar este mapeamento geotécnico está intimamente ligada à escala, assim como ao interesse de algum órgão público ou empresa em realizar o trabalho.

1.3 USO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Os documentos (mapas e cartas) obtidos através do mapeamento geotécnico podem ser utilizados pelos usuários em diferentes condições e situações.

Os documentos podem ser usados com a finalidade de planejamento de uma região, tanto em termos de obras de engenharia, como na agropecuária ou na ocupação do meio físico ou por qualquer outra forma, normalmente são trabalhos executados em escalas inferiores a 1:100 000. Os documentos podem ser utilizados para analisar as condições de uma área para uma utilização específica como a instalação de fundações, rejeitos sépticos entre outros.Tais documentos sempre são analisados em escalas maiores que 1:100 000, chegando até o limite de 1:10 000. O mapeamento geotécnico deve sempre ser utilizado na fase de análise

preliminar de uma região, quando se pretende ocupá-la para um determinado fim. No caso do planejamento, após a análise preliminar é sempre adequada a realização de um trabalho em escala maior, em áreas previamente escolhidas através do mapeamento anterior; a escala deverá ser adequada à extensão da área, à heterogeneidade por ela apresentada e a ocupação futura.

Após a primeira etapa de análise para planejamento, onde os mapas estão em escalas pequenas e as informações são apresentadas de maneira geral, é aconselhável uma segunda fase onde os documentos devem estar em escalas maiores e apresentam as informações de maneira específica e que atendam a finalidade proposta. Em casos onde as informações utilizadas estão em escalas entre 1:50 000 e 1:10 000, servindo a fins específicos, a fase posterior deverá ser a nível de investigação local. A utilização das informações levantadas em mapeamentos geotécnicos, na fase preliminar de qualquer ocupação é adequada, tanto técnica quanto econômicamente; assim como para o caso de planejamento geral e como por exemplo temos a utilização dos mapas geotécnicos nos países do Leste Europeu, Espanha, Alemanha, U.S.A., Canadá e Austrália, principalmente quando foram parte dos planos de desenvolvimento dos mesmos.

A utilização do mapeamento geotécnico, como fonte de informações para a ocupação do meio físico, é função das características dos usuários, pois os mesmos deverão ter conhecimento de quais atributos lhes interessam, assim como da precisão das informações e da sua validade para as áreas em análise. Os mapas geotécnicos também devem ser utilizados pelos órgãos públicos como uma ferramenta básica na fiscalização da ocupação do meio físico, podendo-se anexar um grupo de normas que deverão ser aplicadas às ocupações inadequadas. Estas normas são criadas normalmente pelos congressos ou parlamentos, como no caso da França, da Inglaterra, do U.S.A., do Canadá e outros países.

1.4 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Normalmente, nas diversas publicações encontra-se termos tais como: cartas geotécnicas, mapas geotécnicos, mapas para planejamento, geologia ambiental e outros, todos refletindo os resultados de um processo de análise dos componentes do meio físico. Observando cuidadosamente, verifica-se que o conjunto composto pelo processo e resultado, reflete as condições exigidas pelo mapeamento geotécnico. Pode-se entender que os termos citados no início do tópico simplesmente refletem um resultado final e não o conjunto denominado de mapeamento geotécnico, que envolve diversas etapas de trabalho e que o objetivo final é representar o meio físico por meio de mapas e/ou cartas, acompanhados pelos anexos descritivos.

A partir destas suposições, entende-se o termo "mapeamento geotécnico" como:

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

2. USUÁRIOS MAIS COMUNS E SUAS NECESSIDADES

Os usuários aqui analisados em dois grupos básicos, os públicos e os privados, sendo que cada um deles tem necessidades básicas comuns, e também as específicas em função da futura ocupação. Os usuários públicos podem estar nos diferentes níveis da administração (Federal,estadual ou municipal), sendo os estaduais e os municipais os que mais informações do meio físico necessitam e a quem o mapeamento geotécnico pode auxiliar com muitas vantagens em termos econômicos e de tempo.

Os usuários a nível federal normalmente são aqueles que controlam e fiscalizam a ocupação do meio físico. No caso brasileiro, a S.E.M.A. cuida do meio ambiente e coordena as entidades com mesmas finalidades, a nível estadual e municipal. A S.E.M.A. usaria o mapeamento geotécnico principalmente para viabilizar a localização de grandes polos industriais, de maneira a não trazer problemas de poluição e de desfiguração do meio físico de maneira a não alterar as condições naturais de áreas que devem ser preservadas. A instalação destes polos industriais também exige locais onde não venham a ocorrer problemas construtivos (Fundações e outros), assim como devem apresentar condições favoráveis a realização de estradas ou outras vias que possibilitem a entrada de bens naturais e a saída de manufaturados. Assim como a S.E.M.A., os órgãos voltados a construção de vias de transporte (estradas, ferrovias, aeroportos, etc), os órgãos que visam a ocupação de grandes áreas, como a SUDENE, SUDAM, SUDECO, e similares, poderiam fazer uso do mapeamento geotécnico, obtendo informações sobre os melhores "eixos" para instalar as estradas e ferrovias, evitando situações problemáticas de cortes,aterros, pedreiras, etc. A localização de aeroportos pode ser decidida através de opções mais concretas, evitando pesquisar preliminarmente diversos locais impróprios. Empresas como a SUDENE, por exemplo podem fazer uso do mapeamento obtendo informações sobre as condições de irrigação, drenabilidade, potencial hídrico e a escolha de áreas mais adequadas para a implantação de uma determinada ocupação, seja em termos de condições técnicas ou de planejamento geral.

Os órgãos federais responsáveis pela instalação de barragens podem utilizar o mapeamento geotécnico como fonte de informações preliminares fase de viabilidade sobre a área a ser inundada, avaliação do local da obra, as possibilidades de materiais de construção, as áreas onde

deverão ser realizadas as instalações do pátio de movimentação da obra bem como para a instalação das residências.

Para os usuários a nível de órgãos federais, o mapeamento deve ser realizado de maneira que represente as condições geotécnicas em termos de zoneamento geotécnico geral, em escalas em torno de 1:250000.Tais órgãos podem selecionar e indicar áreas de interesse para que mapeamentos em escalas maiores sejam realizados, fornecer informações gerais ou específicas.

Os órgãos estaduais, com funções similares aos dos citados, devem fazer uso de informações contidas em mapas ou cartas geotécnicas, pois poderão ser muito úteis para orientar as regiões com crescimento acentuado, de maneira que a ocupação não traga problemas futuros. Ainda a nível estadual, os mapeamentos são fundamentais para orientar a ocupação de áreas expostas aos movimentos de materiais e neste caso as informações devem estar em escalas maiores ou a 1:50 000, e as vezes mapeamentos específicos devem ser executados para cada área.

A nível municipal, as informações devem estar em escala 1:50 000, porém para as áreas urbanas as escalas 1:25 000 e 1:20 000 são bastante adequadas. Esse mapeamento tem sua grande utilidade ao possibilitar uma melhor análise dos terrenos, permitindo assim que a ocupação, das áreas não urbanas, urbanas e industriais, sejam executadas de forma adequada.

Os mapeamentos geotécnicos possibilitam a seleção de áreas para loteamentos, assim como permitem escolher quais sistemas de proteção devem ser utilizados; possibilitam também a locação de sistemas de rejeitos sépticos e a localização de áreas que melhor sirvam para as fundações de obras especiais, prédios, tanques e outros. Em termos de vias de transporte só os grandes municípios tem seu próprio planejamento, os outros estão envolvidos em planos estaduais e o problema ambiental é uma constante dos mais industrializados. Todavia, quase todos tem problemas de águas, fundações, escavações, locação de rejeitos sépticos, planejamento em termos de ocupação, materiais construtivos, erosão e outros, para cujas soluções muito auxiliará a realização de mapeamento geotécnico.

A qualquer nível de usuário público, o mapeamento geotécnico também fornece dados para a recuperação de áreas (Geol. Ambiental) que tiveram uma ocupação desordenada e a proteção de áreas específicas. O poder público pode e deve fazer uso do mapeamento para fiscalizar a ocupação do meio físico pelos usuários privados.

Os usuários particulares são principalmente as empresas e as pessoas físicas que estão envolvidas na ocupação do meio físico. As empresas que mais informações podem obter do mapeamento são as projetistas e construtoras de obras civis. Estas empresas podem obter dados relativos aos diversos tipos de ocupação, como a construção civil, os edifícios, vilas, às industrias ou ainda à ocupação agropecuária-hortifruti-granjeira, ao turismo e outras.

As empresas da construção civil podem obter dos mapeamentos todos os dados preliminares necessários à execução de fundações, de estradas, de aeroportos, de aterros, à escolha de locais para rejeitos sépticos e outros fins. As informações anteriores podem ser obtidas através de trabalhos em escalas maiores que 1:50 000 para obras pontuais e de 1:100 000 a 1:50 000, para obras com extensões longitudinais intermediárias. As ocupações que atingirem extensões consideráveis, já podem se beneficiar de mapas em escalas menores que 1:100 000; evidentemente, se existirem em maiores escalas os resultados serão melhores. Os dados preliminares de interesse às empresas ligadas a ocupação agropecuária e similares, podem ser obtidos em escalas entre 1:100 000 a 1:50 000, pois a ocupação normalmente se dá em extensões consideráveis.

No caso de ocupação que exige grandes áreas, diversos atributos são de interesse comum, como a declividade, os tipos de materiais inconsolidados e do substrato, as águas, os movimento de materiais, etc.

As empresas, através destas informações preliminares podem propor a eliminação de áreas com condições precárias, indicar meios de prospecção dos locais mais adequados a cada caso, observar se as áreas mais indicadas apresentam problemas que merecem um estudo específico e em muitos casos modificar as idéias básicas do projeto inicial.

O usuário individual utiliza o mapeamento geotécnico também como fonte de informações preliminares, em vários níveis, desde construção de residências até grandes projetos. Face a esta situação, as escalas dos trabalhos de interesse são bastante variáveis bem como os tipo de dados a serem fornecidos, desde condições de escavabilidades até de ocupação agrícola.

É devido aos usuários individuais que os mapeamentos geotécnicos devem apresentar as informações da maneira mais simples e objetiva, pois dificilmente tais usuários possuem condições de uma análise técnica, mesmo que preliminar, como no caso das empresas.

Para os usuários particulares, as cartas de aptidão são de grande utilidade, por fornecerem, em folhas individuais, as características dos terrenos para um único tipo de problema o que lhes facilita o processo de consulta. As cartas ou mapas em escalas consideradas pequenas são indicadas para utilização em áreas mais amplas e trazem como conteúdo quase todos os tipos de informações, ao contrário do que acontece com as cartas de aptidão, que são específicas.

3. CLASSES DE DOCUMENTOS UTILIZADOS

A elaboração dos mapeamentos geotécnicos é baseada num grupo de informações pré-existentes e fundamentais para cada região.

As quatro principais categorias de informações que são levantadas e analisadas formam as seguintes classes de documentos: mapas básicos fundamentais e opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas.

3.1 MAPAS BÁSICOS FUNDAMENTAIS

Este grupo de mapas são utilizados para qualquer região, independentemente do conjunto de características da mesma e normalmente neles se representam os componentes do meio físico.

a-) Mapa Topográfico

Este praticamente controla a escala do trabalho, pois além de permitir a confecção da carta clinométrica, é sobre ele que serão colocadas as outras informações.
O mapa topográfico, quando não existir na escala desejada, poderá ser elaborado através de fotos aéreas. No Brasil, há regiões em que os mapas estão em escalas em torno de 1:2 000 (centros urbanos de grande importância), 1:10 000 para as regiões próximas ao centros urbanos de média à grande importância, 1:50 000 em todos os estados da região sul e sudeste, 1:100 000 nos estados da região nordeste, centro-oeste e parte da norte e no restante do país, mapas em escalas menores que 1:100 000.

b-) Mapas Geológicos

Representam tanto os materiais do substrato rochoso, quanto inconsolidados, porém em folhas separadas.

b.1-) Mapa do Substrato Geológico

Normalmente, os mapas geológicos existentes representam o substrato rochoso e neles raramente encontramos informações sobre os materiais inconsolidados.

Mesmo nas regiões mais desenvolvidas, os mapas geológicos estão em escalas menores a 1:250 000; somente algumas áreas, onde trabalhos específicos foram realizados, é que se encontra mapas geológicos em escalas maiores, mapas estes desenvolvidos por universidades, empresas com interesse específico e órgãos públicos como DNPM, CPRM, IG e outros. Para uso em mapeamento geotécnico, os mapas geológicos devem registrar litologias, e não apenas formações geológicas, grupos, etc. Portanto, é inevitável que durante o mapeamento geotécnico se complemente ou realize o mapa geológico de maneira tal que esteja mais completo e sirva aos interesses da geotecnia. Muitos dos mapeamentos geológicos atualmente existentes deixam muitas dúvidas quanto as características dos materiais, tanto em termos de litologias, de composição mineralógica, quanto de diagênese e de estruturais. Os mapas do substrato rochoso são de grande importância para a análise de quase todos os tipos de ocupação do meio físico.

b.2-) Mapas de Materiais Inconsolidados

Estes mapas devem representar todos os materiais que estão sobre o substrato rochoso. É diferenciando-os quanto à textura, à origem, à rocha-mãe, à espessura (profundidade do substrato) e outras características.

Tais mapas em termos geológicos, às vezes são conhecidos como mapas de formações superficiais, porém normalmente não retratam as características dos mate

riais com o detalhe qualitativo adequado para o uso em geotecnica.

Nas nossas condições parece que a melhor forma de elaborar um mapa de materiais inconsolidados é através do seguinte procedimento:

- Fotointerpretação associada a um trabalho qualitativo de campo;
- análise dos cortes ou afloramentos que permitam observar as características dos materiais, tais como: espessuras, compacidade ou consistência, estruturas, texturas, mineralogia (preliminar), concentrações, etc;
- após definidos os limites dos materiais, execução de amostragem para posterior ensaios laboratoriais;
- caso o número de cortes ou afloramentos não for suficiente, deverá ocorrer a realização de sondagens com trados ou de poços para a observação do material, e/ou de sondagens alternativas para a obtenção de mais informações referentes aos materiais, importantes para a elaboração do mapa em questão;
- levantamento de dados que já existem e podem fazer parte do mesmo (sondagens, ensaios, etc...).

Deve-se ressaltar que os mapas de materiais inconsolidados devem simplesmente representar as características e os atributos dos diferentes materiais, nada fornecendo quanto à sua interpretação que é função de outros documentos (cartas interpretativas ou derivadas), pois as interpretações deverão ser específicas para cada forma de ocupação que irá ocorrer. Além disso, os mapas devem manter esta condição para que os usuários possam utilizar livremente as informações contidas.

c-) Mapa das Águas

Estes devem fornecer informações sobre as condições hidrológicas (superficial) e hidrogeológica (subsuperficial).

No caso das águas superficiais, é de interesse para a elaboração do mapeamento geotécnico conhecer o tipo e o sistema da rede de drenagem, bacias e sub-bacias, tempo de concentração máximo de cada bacia em questão, possibilidade de escoamento superficial, áreas inundáveis e outras características hidrológicas pertinentes. As características hidrogeológicas de interesses são principalmente os aquíferos, sejam de superfície (livres) ou confinados, os principais tipos litológicos responsáveis pelo armazenamento, as áreas de recarga, a profundidade e a espessura do material armazenador, as condições de perfuração e os materiais que apresentam dificuldades para sondagem em cota superior a do aquífero. Qualquer que seja a situação das águas, é necessário conhecer ou até inferir suas características químicas, fator de grande importância para prever a sua utilização, para fins potáveis, de irrigação e industriais.

3.2 MAPAS BÁSICOS OPCIONAIS

São considerados todos os mapas existentes, com excessão dos citados no tópico anterior, que podem ser de grande interesse para o mapeamento, em função das características da região em análise. Dentre os mapas que serão discutidos a seguir, algum deles pode tornar-se "fundamental" face às condições da região. Cita-se como exemplo, o geomorfológico que para algumas áreas planas, onde não ocorrem erosões ou outros movimentos de materiais na superfície, não são de interesse para o executor do mapeamento; todavia, em áreas de encostas acentuadas são de extrema importância, são "fundamentais".

Os tipos de mapas mais comuns, deste grupo, são os seguintes:

a-) Mapa Pedológico

Os mapas pedológicos básicos existentes no país, quanto à escala, se apresentam em dois níveis: regional, na escala 1:500 000 e de maior detalhe, na escala 1:100 000 principalmente em parte do Estado de São Paulo e outras poucas áreas do país.

Os mapas pedológicos apresentam os materiais inconsolidados para uma profundidade que varia até 2,5 ou 3 metros. Os mesmos fornecem uma série de informações para o mapeamento geotécnico, tais como a origem e rocha-mãe dos diferentes tipos de material inconsolidado residual, (solo) a composição mineralógica, a porosidade e as estruturas, a análise granulométrica, as massas específicas aparente e real, a textura, a estimativa de permeabilidade, a C.T.C., etc.

Pode-se ainda obter, deste tipo de documento, a indicação de regiões onde ocorrem os solos litólicos e os cambissolos que normalmente são de profundidades menores que 1,5 metros e que em função da rocha-mãe podem apresentar caracter puramente saprolítico. Através do ensaio de capacidade de troca catiônica (C.T.C.), pode-se inferir o tipo de argilo-mineral que ocorre, permitindo estimar a expansibilidade do material; outras propriedades podem ser estimadas quando, por exemplo, encontra-se latossolos, pois normalmente são porosos e não expansívos.

A existência deste tipo de mapa é de grande importância, pois são confeccionados a partir de um número muito grande de observações qualitativas e semi-quantitativas, através dos tipos pedológicos, é possível obter uma série de informações pragmáticas de grande interesse para a geotécnica e que auxiliam na elaboração do mapeamento geotécnico.

b-) Mapa Geofísico

Os mapas geofísicos normalmente são utilizados para fins de mineração, na delimitação de corpos rochosos em profundidade e que podem ser de interesse para a prospecção mineral. São de interesse para geotecnia, principalmente quando se referem a jazidas de materiais de construção civil, tanto em termos de rochas duras como de material inconsolidado. É possível encontrar mapas aeromagnotométrico, de resistividade e outros, em regiões onde o manto de material inconsolidado é muito espesso, como no norte e centro-oeste do país. Além dos mapas, informações geofísicas obtidas por sondagens sísmicas e elétricas, para diversos fins são de grande interesse para o mapeamento geotécnico, por fornecerem dados sobre as espessuras dos materiais inconsolidados, das diferentes litologias e posição dos níveis de água no sub-solo.

c-) Mapa Geomorfológico

O mapa geomorfológico normalmente representa características do meio físico, tais como: a morfologia, a morfogênese e a morfocronologia, sendo que o primeiro é o mais usado.

O mapa geomorfológico registra o relevo, a litologia e os processos geodinâmicos que atuaram e os que ainda atuam sobre os componentes do meio físico. O mapa geomorfológico, primeiramente utilizado para fins de planejamento na Polonia, foi difundido posteriormente para os outros países, variando o conteúdo e a finalidade. Na realidade, pode-se ter vários tipos de mapa geomorfológico, como a seguir se descreve.

c.1-) Mapa Morfológico - Morfométrico

Representa o relevo, através de seus perfis, de suas inclinações, de suas quebras bem como de dados sobre suas dimensões.

No mapeamento geotécnico usa-se principalmente a carta clinométrica, que é obtida através da interpretação do mapa topográfico com o auxílio da técnica descrita por De Biasi (1970), Libault (1975), Coelho (1980) e outros. Nela as distâncias entre as curvas de nível são transformadas em porcentagens de inclinação sempre representadas nos mapas por classes, que possuem limites máximos e mínimos determinados pelas diversas formas de ocupação.

Após consultas a várias referências bibliográficas sobre o assunto, tais como Gonzales de Vellejo (1977), Ranga Rão et alii (1984), Coelho (1980), Cooke e Docenkamp (1974), Hilpman e Stewart (1968), foram selecionadas as tabelas seguintes que representam os valores de declividade que limitam as diversas ocupações do meio físico:

1º Segundo Crofts (apud Gonzales de Vallejo, 1977)

%	Tipo de ocupação
1	aeroportos internacionais
2	aeroportos locais e redes ferroviárias principais
4	estradas principais
5	maquinaria agrícola de plantio e colheita - início erosão
8	residências, estradas, desenvolvimento urbano e industrial

9	máximo absoluto para ferrovias
10	desenvolvimento industrial e urbano em grande escala. Máquinas e tratores pesados.
15	tratores padrões
20	absoluta para residências, máquinas e estradas.

2º Limites utilizados pelo Kansas Geological Survey (Hilpman e Stewart, 1968)

%	**Tipos de ocupação** (limites críticos)
1 a 2	aeroportos
1 a 15	uso urbano geral
10	máximo para rede do sistema de saneamento
25	máximo para estruturas de engenharia
15	máximo para residências convencionais
3	máximo para ferrovias
4	máximo para rodovias interestaduais
12	máximo para estradas em perímetro urbano
5	máximo para centros comerciais
1 a 50	uso como áreas de recreação
45	máximo para operar veículos tracionados

3º Limites propostos por Cooke e Doornkamp (1974)

%	**Tipos de ocupação** (limites críticos)
1	aeroportos internacionais
2	estradas de ferro de passageiros e cargas, máximo para veículos de carga sem reduzir, velocidade, aeroportos locais, e menos que este valor problemas com drenagem

4 estradas principais
5 máquinas agrícolas,
erosão começa a ser significativa, e
densidade elevada de ocupação com habitações
6 habitações e estradas,
declive excessivo para o desenvolvimento urbano, e
áreas de recreio intensivo
9 máquinas agrícolas pesadas, e
projetos industriais de grande dimensões
15 desenvolvimento local, e
tratores com esteiras,
20 habitações individuais

Para as nossas condições, optou-se pela adoção de 5 classes, tanto para a situação urbana (escalas maiores) quanto para a regional, variando os limites de algumas classes, como pode-se observar a seguir:

URBANA	REGIONAL
0 - 2%	0 - 2%
2 - 5%	2 - 10%
5 - 10%	10 - 15%
10 - 15%	15 - 20%
> 15%	> 20%

A razão para tal procedimentos e que os limites adotados facilitam a análise de cada área frente aos possíveis tipos de ocupação. Para a condição urbana principalmente e secundariamente para a regional, esta carta permite observar e analisar preliminarmente as situações de cortes, de aterros e de movimento de materiais que normalmente são exigidos em obras civis. Porém, a utilização de maior importância diz respeito às limitações das possíveis ocupações.

c.2 Mapa Morfogenético

Esse mapa retrata as origens e o desenvolvimento dos relevos, de maneira simples e sempre acompanhado de um anexo descritivo das formas e das características dos materiais que compõem o terreno.

c.3 Mapa Morfocronológico

Tem como funções básicas o registro e a classificação das formas de acordo com idade.

c.4 Simbologia

São muitas as situações a serem representadas, assim como grande são as complexidades apresentadas. As simbologias mais empregadas são as de Fairbridge (1968), Demek (1972), Cooke et alii (1974) e Anon (1972), tendo sido a última adotada praticamente na íntegra pela I.A.E.G. (1976), o foi também para as nossas condições,com pequenas adaptações.

c.5 Escala

Normalmente, é escolhida com base na natureza topográfica e no possível uso do futuro mapeamento. É aconselhável que os trabalhos sejam realizados entre as escalas 1:100 000 e 1:10 000, podendo ser analisados em dois grupos:

1º Escalas Pequenas

São aquelas entre 1:25 000 e 1:100 000, e os mapas geomorfológicos são elaborados rapidamente, com baixo custo e apresentam informações geológi

cas reduzidas, porém adequado para o uso e entendimento geral da região. São usados para planejamento, estudos de viabilidades, seleção de áreas (locais) de maior interesse e estudo em fases preliminares ou de inventário.

2º Escalas Grandes

As escalas grandes, maiores que 1:25 000, devem ser usadas para a elaboração de mapas de áreas problemáticas, selecionadas em trabalhos menores detalhados e para um fim específico.

As áreas que serão ocupadas e apresentarem indícios ou pontos de movimentos de materiais, devem ser estudadas neste nível de escala. Em obras, os mapas geomorfológicos podem ser elaborados e usados em todas as fases, ou seja de reconhecimento, de investigação e de construção.

c.6 Aplicação

Segundo Demek (1972), o uso dos mapas geomorfológicos é muito grande, em vários tipos de problemas:

1- Uso e ocupação dos terrenos

- Planejamento territorial
- Planejamento regional e urbano
- Conservação do meio ambiente

2- Agricultura

. Conservação do solo
. Controle da erosão
. Drenagem e irrigação

3- Engenharia
. Planejamento e ordenação urbana
. Estradas e outras vias de transporte
. Regiões costeiras

4- Prospecção e exploração de recursos naturais

. Prospecção geológica
. Recuperação de áreas afetadas pela ocupação

Dentre os trabalhos que retratam o uso dos mapas geomorfológicos, o de Brunsden et alii (1975) é o que mais se destaca, em função principalmente do detalhamento para a aplicação em estradas, além de apresentar as principais situações onde tais mapas são de grande auxílio:

- identificação das características principais do terreno que será atingido pelos corredores previamente selecionados, possibilitando prever soluções alternativas;

- definição das características do traçado selecionado, identificando sua influência fora dos seus limites;

- auxilía na análise da previsão de problemas que poderão ocorrer durante a construção, em termos de segurança;

- problemas relacionados aos movimentos de massas;

- descrição e localização das áreas com diferentes características de drenagem superficial;

- características dos taludes e encostas;

- possíveis problemas de subsidência, erosão etc

- definição das unidades geomorfológicas, em ordem decrescente em termos de adequabilidade a ocupação a fim de que as investigações geotécnicas sejam executadas mantendo as prioridades do projeto.

d-) Mapa Climático

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

Normalmente, trazem dados analisados para cada bacia em que existam postos climatológicos. Os dados geralmente são apresentados na forma de mapas, com anexos (gráficos e tabelas). Atualmente, pode ser encontrado nos relatórios regionais dos órgãos estaduais responsáveis pelos estudos das águas subsuperficiais e superficiais, assim como em trabalhos específicos existentes em alguns estados, porém elaborados na década de 60.

d-) Mapa da Ocupação Atual ou Prevista

O mapa que reflete a ocupação atual ou prevista do meio-físico é de grande importância na análise, previsão e determinação do comportamento da ocupação que ocorrerá na região. Ele deve apresentar as áreas que são de uso público já determinado, as que são de proteção das nascentes, as de recargas de aquíferos, as linhas de túneis responsáveis pelo conduto de líquidos, as áreas em que já há projetos para ocupação, etc... Estas informações normalmente não são encontradas num só documento, mas sim em diversos, elaborados pelos órgãos responsáveis pela ocupação do meio-físico de cada região, seja a nível federal, estadual ou municipal. Para o mapeamento geotécnico sugere-se a elaboração de uma única carta denominada de carta de restrições ambientais.

3.3 MAPAS AUXILIARES

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

Tem ele o objetivo básico de registrar todos os pontos (locais) onde foi possível obter alguma informação (qualitativa ou quantitativa), assim como o tipo e modo de obtenção da informação. São também registrados os locais onde é possível analisar o perfil, os afloramentos, os pontos de amostragem, as sondagens (de diversos tipos), as pedreiras, os portos de areia, as olarias, as jazidas de pedras ornamentais e de minérios em exploração, os poços profundos, etc.

Para a elaboração do mapa de documentação, foi proposta uma simbologia para cada informação em questão. Quando existe um banco de dados que complementa o mapeamento geotécnico, faz-se necessário um mapa onde estão registradas as chaves que permitem o acesso ao mesmo. O procedimento para acesso ao

banco de dados geralmente faz parte do mapa de documentação.

Os mapas auxiliares são documentos que podem ser substituí - dos por outros mecanismos.

3.4 CARTAS DERIVADAS OU INTERPRETATIVAS

São as cartas originadas das interpretações devidas, realizadas sobre as informações contidas nas outras classes de mapas.

Fazem parte desta classe, as cartas de zoneamento geotécnico específico (aptidão), de zoneamento geotécnico geral, de clinometria, de planejamento geral e de condições construtivas entre outras.

As cartas derivadas contêm informações sobre os terrenos para uma ou mais finalidades e são destinadas ao uso direto pelos usuários.

4. CLASSIFICAÇÃO DOS DOCUMENTOS

A classificação dos documentos que compõem o mapeamento geotécnico, sejam cartas ou mapas pode ser feita considerando a escala, a finalidade e a forma (maneira) de apresentação das informações.

4.1 ESCALA

Relativamente à escala, o mapeamento geotécnico pode ser realizado e classificado em 3 grupos:

Escalas Gerais	menores que 1:100 000
Escalas Regionais	1:100 000 a 1: 25 000
Escalas Semi-detalhadas	1: 25 000 a 1: 10 000

O mapeamento geotécnico para as condições técnicas existentes no Brasil não são aconselhados para escalas maiores que 1:10 000, pois o número de informações necessárias deverá ser tão elevado que suplantaria em muitos casos as informações usadas nas investigações locais e portanto poderia substituir a mesma, o que não é o objetivo do mapeamento geotécnico.

4.2 FINALIDADE

O mapeamento geotécnico, qualquer que seja a escala e a finalidade , tem como objetivo o fornecimento de informações que permitam aos usuários planejar melhor a ocupação do meio ambiente, através da seleção das melhores áreas, e nelas executar uma investigação mais adequada.

a-) Os mapeamentos geotécnicos em escalas gerais deve analisar os atributos do meio físico de maneira tal que os usuários possam entendê-los e determinar a utilização das áreas em função dos mesmos. Nesta faixa de escala é útil na orientação e desenvolvimento de grandes extensões territoriais, pois possibilita que outros mapeamentos geotécnicos, geológicos, pedológicos, etc... sejam realizados em escalas maiores, mas somente em áreas previamente selecionadas. As informações para este nível de trabalho devem ser qualitativas (semânticas ou pragmáticas) e devem

ser considerados todos os grupos de atributos do meio físico, apresentados de maneira geral, sem definir qualquer zoneamento para forma ou modo de ocupação. Os atributos que melhor ajudam na análise são:

. Condições geomorfológicas
- declividade
- áreas instáveis (erosão, deposição e outros movimentos de materiais)

. Materiais
- tipos rochosos predominantes com as devidas feições estruturais - tectônicas. (Ex: arenitos, xistos ou grupos litológicos)
- texturas dos materiais inconsolidados predominantes (Ex: arenosos devido terem se originado de arenitos)
- possíveis aquíferos
- áreas de potencial mineral (Ex: rochas graníticas)

. Ocupação atual
- vegetação natural
- ocupação antrópica

. Dados climáticos para bacias hidrográficas
- pluviosidade média anual e meses mais secos
- área de cada bacia
- outras

Associar ao levantamento anterior todas as informações qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas existentes na região, propiciando desta maneira uma análise mais real da mesma.

b-) Os mapeamentos geotécnicos em escalas regionais e detalhadas tem também como objetivo auxiliar na ocupação das diversas áreas, determinando qual a melhor maneira de executar a ocupação, devendo o trabalho enfatizar os atributos que controlaram os diversos usos possíveis. Dentre as esca

las regionais, a que melhor se presta é a 1:50 000. Para o trabalho de semi-detalhadas, a melhor escala será escolhida em função dos mapas topográficos existentes na área. Na nossa opinião as diferenças entre as escalas regionais e semi-detalhadas, são função do maior detalhamento, porém mantendo os mesmos atributos nos dois níveis.

Em escalas maiores que 1:50 000, é possível analisar os seguintes grupos de atributos:

- Materiais inconsolidados
  - natureza e características dos mesmos na vertical e horizontal, espessuras, etc...

- Geomorfologia
  - declividade, forma das encostas
  - movimentos de materiais

- Material rochoso
  - natureza e características dos materiais próximos à superfície
  - características tectônico - estruturais

- Águas superficiais e subterrâneas
  - profundidade do N.A.
  - áreas inundáveis (enchentes)
  - características físico-químicas
  - aquíferos e áreas de recargas

- Forma de ocupação
  - vegetação natural
  - ocupação agrícola
  - outras

- Fatores climáticos
  - pluviosidade média anual
  - áreas das bacias hidrográficas
  - evaporação
  - meses mais úmidos e secos
  - insolação
  - intensidade pluviométrica

- Ações antrópicas
  - diversas

Todos estes atributos devem ser levantados através dos meios citados no devido tópico (obtenção das informações), por meio de observações qualitativas e quantitativas com as observações mínimas contidas na tabela 55.

As informações a nível regional podem ser apresentadas de forma geral, onde as condições geotécnicas são gerais e não separadas em zonas com características comuns. Todavia, também podem ser apresentadas em termos de zoneamento geotécnico geral e específico. Na presente proposta enfatiza-se a apresentação por zoneamento específico, ou seja em mapas denominados de Cartas de Aptidão ou Mapas de Zoneamento Geotécnico Específico.

4.3 FORMA (MANEIRA) DE APRESENTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Da análise e de uma ampla gama de trabalhos de mapeamento geo - técnico, verificou-se que as informações podem ser apresentadas das seguintes maneiras:

- Mapas das Condições Geotécnicas
- Mapas de Zoneamento Geotécnico Geral
- Mapas de Zoneamento Geotécnico Específico ou Carta de Apti - dão

Cada forma tem sua utilização otimizada em relação ao nível da escala adotada e finalidade e que se propõe.

a-) **Mapas das Condições Geotécnicas**

Este tipo de documento representa todos os atributos, caracterizando o meio físico sem tentar separar áreas similares (zoneamento). Contudo informações representadas como um todo, sem denotar influência sobre os possíveis usos, são os mapas mais indicados para escalas gerais.

b-) **Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral**

São mapas que representam as condições do meio físico através do zoneamento da região, ou seja, separando áreas que apresentam condições geotécnicas semelhantes, porém sem considerar qualquer finalidade específica, tais como fundações, rejeitos sépticos e outras.

Representam o zoneamento para multifinalidade, cabendo ao usuário analisar as condições da "zona" considerada.

c-) **Mapa de Zoneamento Geotécnico Específico**

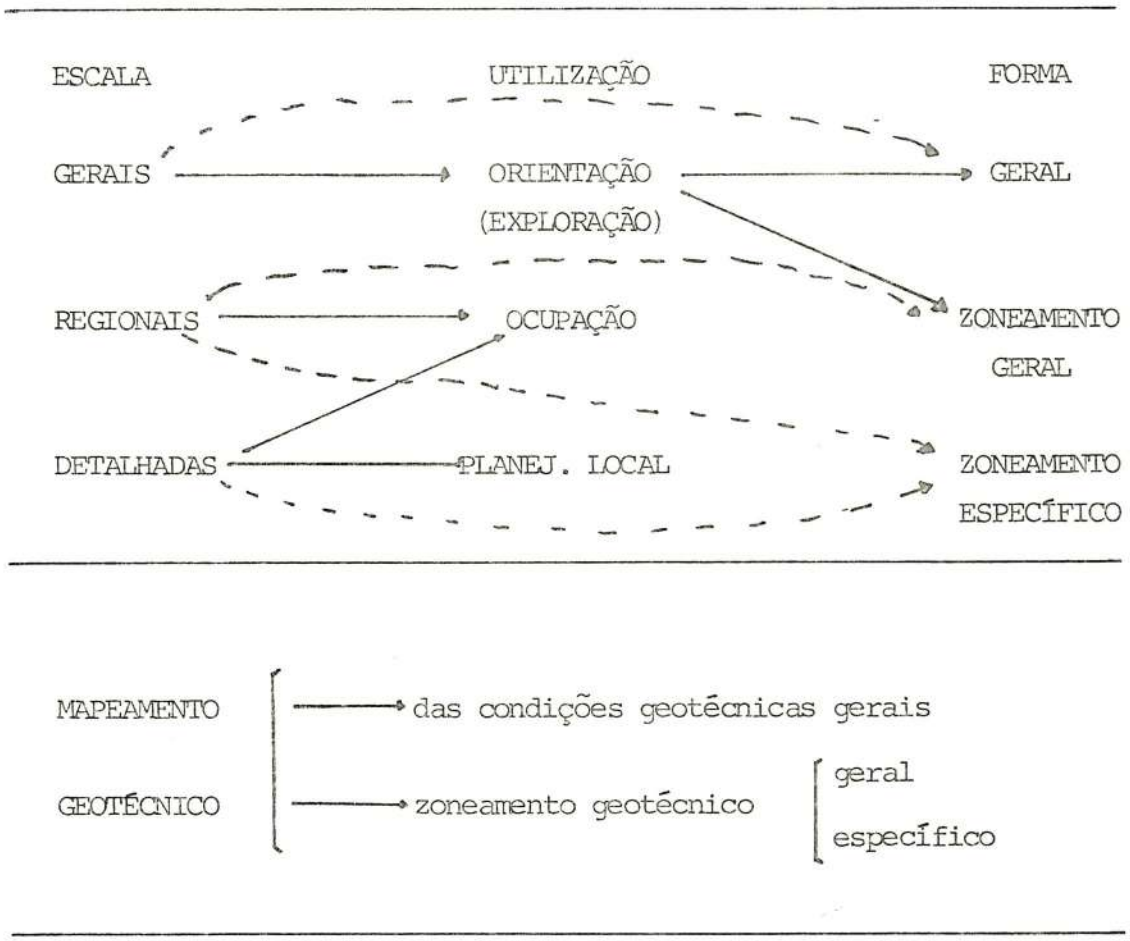
Constitui o tipo de representação que mais resultados produz segundo as bibliografias referentes às regiões onde a sistemática do mapeamento geotécnico foi largamente empregada.

Neste caso, a região é zoneada segundo as condições geotécnicas que afetam uma única finalidade (por exemplo, fundações, estradas, etc...).

Trata-se da representação mais indicada para escalas maiores que 1:50 000, pois facilita ao usuário o entendimento das variações do meio físico, permitindo-lhe adequar a utilização do mapa para suas necessidades.

Em muitos países, na França especialmente, este tipo de documento recebe a denominação de Carta de Aptidão, sendo utilizado pelos mais variados usuários, tanto para fins de ocupação como para controle público.

A seguir, pode-se observar a relação existente entre as formas de classificação dos mapas e as cartas resultantes do mapeamento geotécnico.



4.4 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM ESCALAS ENTRE 1:100 000 e 1:250 000

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo do mapeamento geotécnico neste nível de escala é servir ao planejamento de regiões extensas, mesmo a nível estadual. Os documentos obtidos devem refletir áreas que sejam homogêneas em termos das características do meio-físico; e a divisão global da região deve ser a maior possível, considerando os atributos de acordo com forma apresentada na tabela 29.

2- OBSERVAÇÕES

- O mapa topográfico utilizado pode estar em escala até 1:100 000 desde que equidistância das curvas de nível seja inferior ou igual a 20m; caso contrário, a declividade deve ser obtida por meio da fotogrametria.

- As imagens de satélite, em escala 1:250 000 e/ou 1:100 000, devem ser usadas junto das fotos aéreas 1:60 000, para auxiliar na elaboração dos mapas do substrato, de materiais inconsolidados e na análise geomorfológica.

- A homogeneidade dos materiais do substrato pode ser baseada, em um ou em vários dos seguintes atributos: tipo rochoso (ígneo, metamórfico ou sedimentar), litologia, mineralogia, na estrutura geológica, grau de intemperismo, etc

- A homogeneidade dos materiais inconsolidados deve ser obtida com base na textura, na gênese, e na mineralogia associadas a anomalias que possam ocorrer.

- Podem ser feitas combinações entre os atributos, conforme apresentado nas figuras 37 e 38.

- Sobre as unidades de 3a. combinação, estudos geotécnicos devem ser realizados em áreas chaves que representem os extremos de cada unidade.

- As unidades de 4a. combinação definem, em ordem decrescente, as áreas em termos de propriedades, assim como onde mapeamentos geotécnicos em detalhe (escalas maiores) devem ser executados.

- As informações que compõem a fase básica devem ser primordialmente obtidas por mecanismos simples, de forma que não onerem o processo, como também não exijam tempo muito longo.

- Os esquemas básicos para a elaboração dos trabalhos encontram-se na tabela 28 e nas figuras 37 e 38.

- Esta sistemática se aplica para áreas com extensões superiores a 1500 km^2.

TABELA 28: ÍNDICES BÁSICOS PARA A AVALIAÇÃO DO MEIO-FÍSICO

VEGETAÇÃO	NATURAL - 0 IMPOSTA - 1
FORMA DE OCUPAÇÃO	ORDENADA - 0 DESORDEN. - 2
DENSIDADE POPULACIONAL	< 3 hab./km^2 - 0 > 5 hab./km^2 - 1 CENTRO URBANO (vila) - 2
FONTE DE RENDA	- AGRICULTURA - 1 - PECUÁRIA - 1 - MINERAÇÃO - 2 - DESTILARIAS E INDUSTRIAS DE PORTE - 2 - OLARIAS - 2 - NÃO OCUPADA - 0
CUSTO DA TERRA (DEVIDO)	- INTENSIDADE DE OCUPAÇÃO - 2 - QUALIDADE DA TERRA - 2 - OUTROS - 1 - OBRAS DE ENGENHARIA (BARRAGENS, ESTRADAS, LINHAS DE ENERGIA) - 2

> 10 PONTOS - ÁREAS QUE MERECEM CUIDADOS ESPECIAIS
7 a 9 PONTOS - ÁREAS QUE PRECISAM SER ACOMPANHADAS CUIDADOSAMENTE
< 7 PONTOS - É POSSÍVEL PLANEJAR O FUTURO

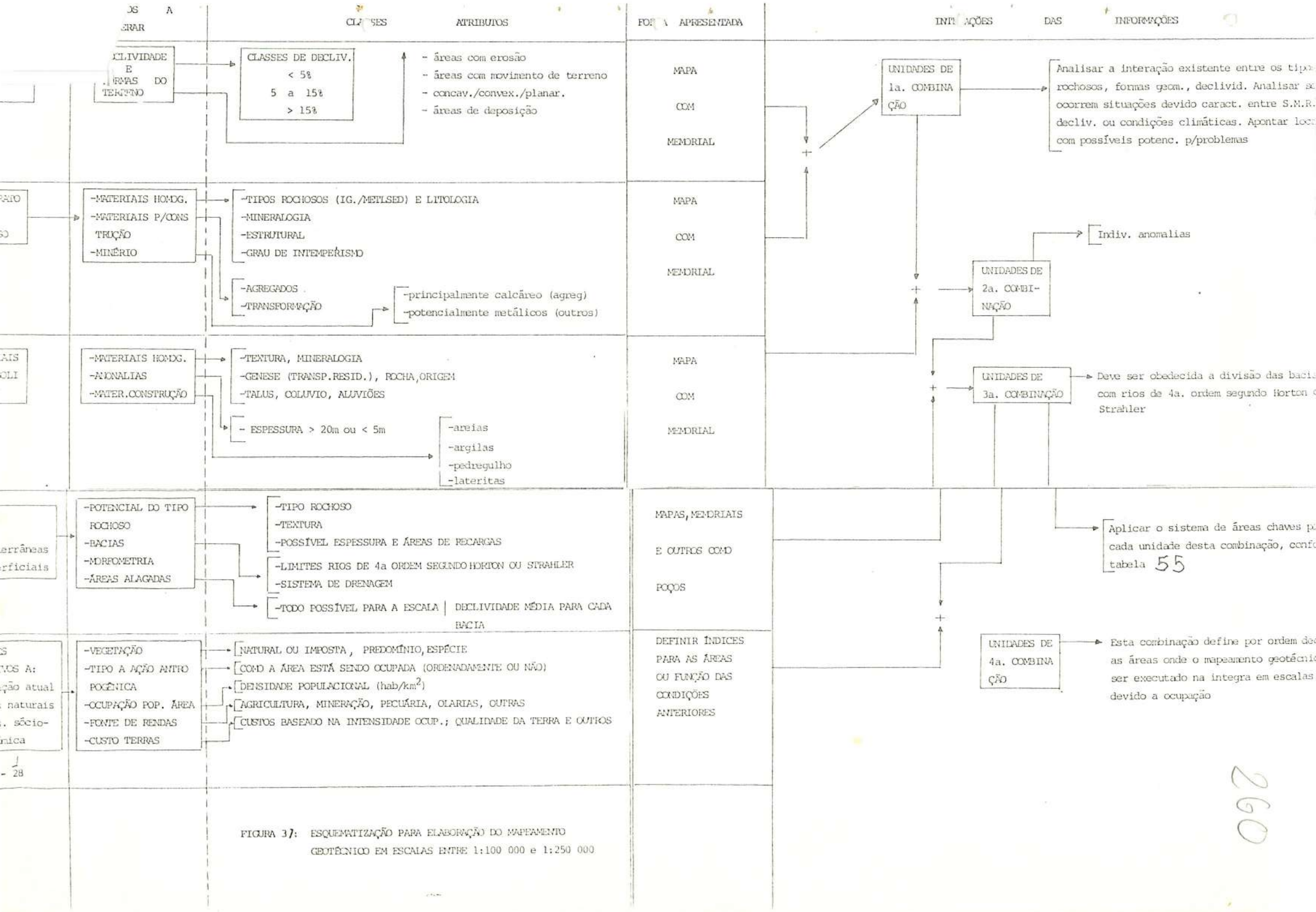


FIGURA 37: ESQUEMATIZAÇÃO PARA ELABORAÇÃO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM ESCALAS ENTRE 1:100 000 e 1:250 000

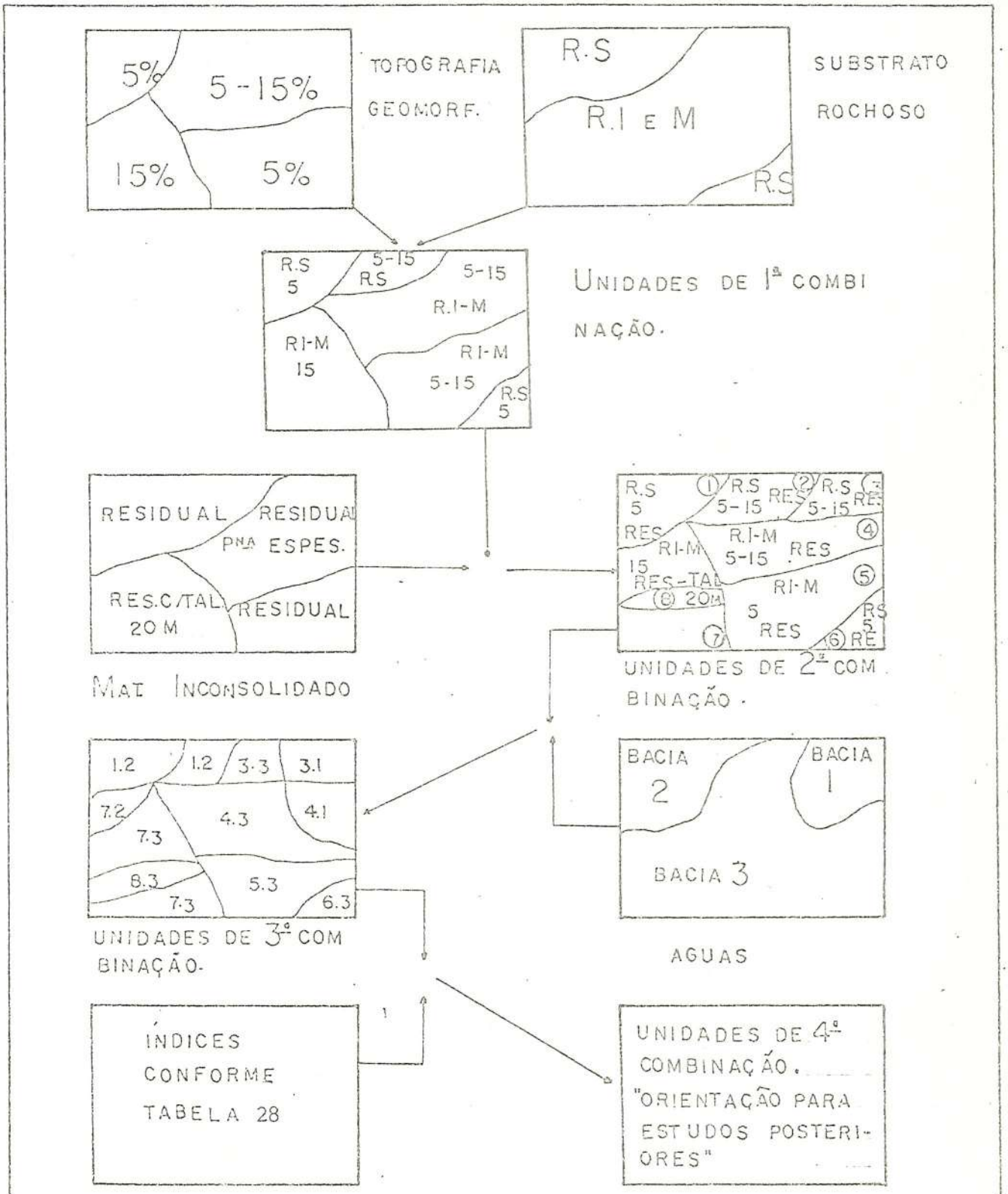


FIGURA 38- MODELO DE COMBINAÇÃO DOS ATRIBUTOS CONSIDERADOS NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM ESCALAS PEQUENAS.

5.1. ATRIBUTOS x USO x OBTENÇÃO

TABELA 29: RELAÇÕES ATRIBUTOS x APTIDÕES

ATRIBUTOS / USO	TIPO (WATER, ROCHA, SOLO)	NATUREZA DO MATERIAL NO PERFIL	ESPESSURA MATERIAL INCONSOLID.	PROF. N.A.	DECLIVIDADE (%)	PERMEABILIDADE	EXPANSIBILIDADE	COMPRESSIBILIDADE	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	CORROSIVIDADE	FENÔMENOS HIDROMORF.	MOVIMENTO DE MASSAS	FORÇA DA ENXURRADA	EVAPORAÇÃO	PLUV./	VEGETAÇÃO NATURAL OCUPAÇÃO	AÇÃO ANTRÓPICA	ÁREAS DE RECARGAS	SALINIZAÇÃO
FUNDAÇÕES Rasas Profundas	O	O	O	O			X	O	O	X									
ESCAVABILIDADE	O	X	O	O	O							X							
REPOSIÇÃO DE REJEITOS Sólido Líquido		O	O	O	O	O		X			O	O		X				O	
ESTRADAS	O	O	O	O	O	O	O	O			X	O							
OBRAS ENTERRADAS	O		O	O		O	O	O		O									
ESTABILIDADE DE TALUDES	O	X	O	O	O	O X X X	X	X	O			O	O		O		O		
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	O	O		O X			O												
EROSÃO (POTENCIAL)		O	O		O	X	X						O	X	O		O		
IRRIGAÇÃO		O	O	X	O	O	O						X						O

O- FUNDAMENTAL
X- SECUNDÁRIO

ATRIBUTOS	MÉTODO DE OBSERVAÇÃO
1- Tipo de material (Inconsolidado ou rochoso)	- Fotointerpretação Trabalho de campo - Ensaios de laboratório (gran-limites absorção azul de metileno-mineralogia, microptrografia, etc)
2- Natureza e perfil da unidade	- Trabalhos prévios - Trabalhos de campo (cortes-trados-sondagens alternativas-poços e outros) - Ensaios de campo
3- Espessura dos materiais	- Trabalho de campo - Sondagens alternativas
4- Prof. N.A.	- Idem 1,2 e 3
5- Declividade	- Mapa topográfico - Trabalho de campo - Fotogrametria
6- Permeabilidade drenabilidade drenagem	- Através das informações obtidas nos itens anteriores - Estimativas através de índices de vazios, granulométricos e outros - Observações de campo
7- Expansibilidade	- Mineralogia - Ensaios alternativos (absorção de azul de metileno - reação com soluções orgânicas)

8- Compressibilidade	- Através de correlações com índices básicos - Observações de campo
9- Resistência	- Por meio de correlações com as características básicas - Sondagens alternativas
10- Corrosividade	- Ensaios específicos
11- Áreas com hidromorfismo e enchentes	- Fotointerpretação - Trabalhos de campo
12- Movimentos de materiais	- Fotointerpretação - Trabalhos de campo - Trabalhos prévios
13- Formas dos Encostos	- Fotointerpretação - Trabalhos de campo - Mapas diversos
14- Dados climáticos (evapotransp. pluvios - temp.)	- Trabalhos prévios específicos
15- Vegetação Natural Imposta	- Fotointerpretação - Trabalhos prévios - Trabalhos de campo
16- Ação antrópica	- Fotointerpretação - Trabalhos de campo
17- Áreas de recargas	- Trabalhos de campo - Fotointerpretação - Mapas geológicos
18- Salinização	- Trabalhos específicos
19- C.T.C. (Capacidade de troca catiônica)	- Ensaio específico (Químico)
20- Bacias	- Mapas topográficos - Fotos aéreas

TABELA 30: ATRIBUTOS x MEIOS DE OBTENÇÕES

5.2 - CARTA PARA ERODIBILIDADE

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Entende-se que a erosão pode ocorrer, tendo como forma de agente e transporte o gelo, o vento e a, água; todavia, para ascondições do país, somente a água apresenta interesse para os propósitos desse estudo. A erosão por água fluvial é função da interação da chuva com o material, pois observando que uma mesma chuva pode causar níveis de erosão diferentes em materiais com diferentes características, havendo uma relação de dependência entre eles. A erosividade, capacidade de erosão da chuva, denota a potencialidade de ocorrência da erosão. As condições do solo são denominados de erodibilidade ou seja, sua vulnerabilidade à erosão, que é função das suas características físicas e do seu uso. Observa-se que só é possível analisar a erosividade se ocorrer a erodibilidade. As cartas que forem realizadas com o objetivo de retratar o potencial à erosão de uma região devem apresentar os resultados em classes que significam se os materiais que compõem as áreas, estão sujeitos a altas, médias ou baixa erodibilidade. Pode-se citar diversas bibliografias consultadas, tais como Kirkby e Morgan (1980), Hudson (1971), Stanley e alii (1982), Rodrigues (1982), Bertoni et alii (1982), Lombardi e Bertoni (1975) entre outros, que permitiram definir um grupo de atributos que interfere diretamente na erodibilidade, tratado mais enfaticamente por Rodrigues (1982): natureza dos materiais, relevo, cobertura vegetal, ação antrópica, fatores climáticos e ação da águas.

2- ATRIBUTOS CONSIDERADOS

1- Natureza dos Materiais

Deve-se considerar que quanto menor o grau de compactação e cimentação dos materiais que compõem os terrenos, maior será a facilidade com que ocorre a erosão.

Além do grau de compactação, da cimentação, da granulometria, da capacidade de reter água existem outras características que controlam a erosão tais como porosidade, permeabilidade, entre outras propriedades dos materiais.

Diversos são os índices usados para expressar o grau de erodibilidade dos materiais. Por exemplo, um deles foi proposto por Bayacas (Apud Hudson 1971), que define o índice de erodibilidade como a razão:

$$\frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}}$$

Ayres (1936) relacionou a velocidade máxima para que não ocorra erosão e os diferentes tipos de materiais, conforme pode ser observado na tabela 31.

TIPOS DE TERRENO		VELOCIDADES (m/seg)
1- Areia muito fina e limpa ("quick-sand")		0,2 - 0,3
2- Areia muito fina e solta	BOÇOROCA	0,3 - 0,5
3- Areia grossa ou solo fino e arenoso		0,5 - 0,6
4- Solos arenosos correntes		0,6 - 0,7
5- Limos arenosos		0,7 - 0,8
6- Limos, solos aluvionares, cinzas vulcânicas		0,8 - 0,9
7- Limos consistentes e limos argilosos		0,9 - 1,2
8- Argilas duras e saibros		1,2 - 1,5
9- Areões e godos		1,5 - 1,8
10- Conglomerados, xistos, cascões, etc		1,8 - 2,5

TABELA 31: VELOCIDADES DE SEGURANÇA CONTRA A EROSÃO (AYRES, 1936)

FONTE : RODRIGUES (1982)

Segundo Nascimento (apud Rodrigues, 1982), o problema de erosão ocorre devido a dois fatores: a transportabilidade e a destacabilidade dos grãos dos materiais, que são funções da granulometria e coesão respectivamente, Rodrigues (1982) correlacionou as velocidades propostas por Ayres (1936) com o tamanho das partículas, como pode-se observar na figura 39.

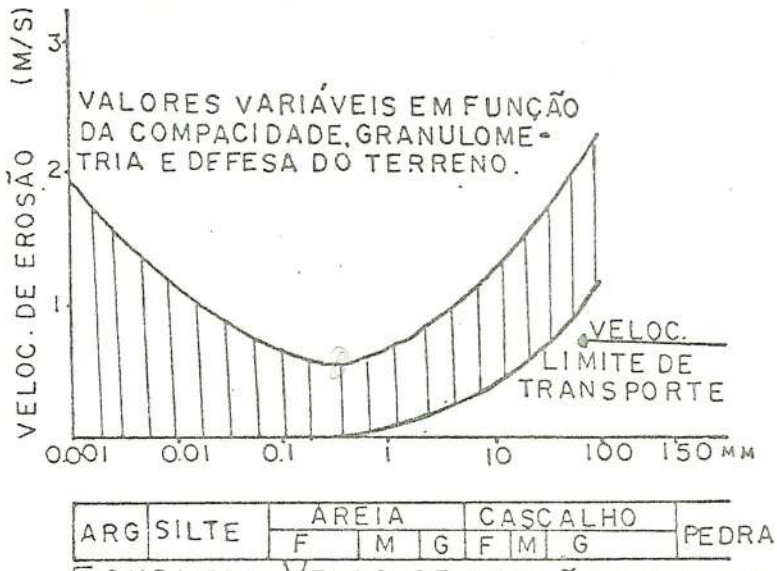


FIGURA 39 - VELOC. DE EROSÃO DOS TERRENOS EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA.
FONTE: (NASCIMENTO, 1952) APUD RODRIGUES, 1982.

Da análise dos dados da figura 39, Rodrigues (1982) conclui que:

1- A velocidade de erosão para as areias finas é baixíssima, porém aumenta consideravelmente no sentido dos materiais mais finos e no dos mais grossos.

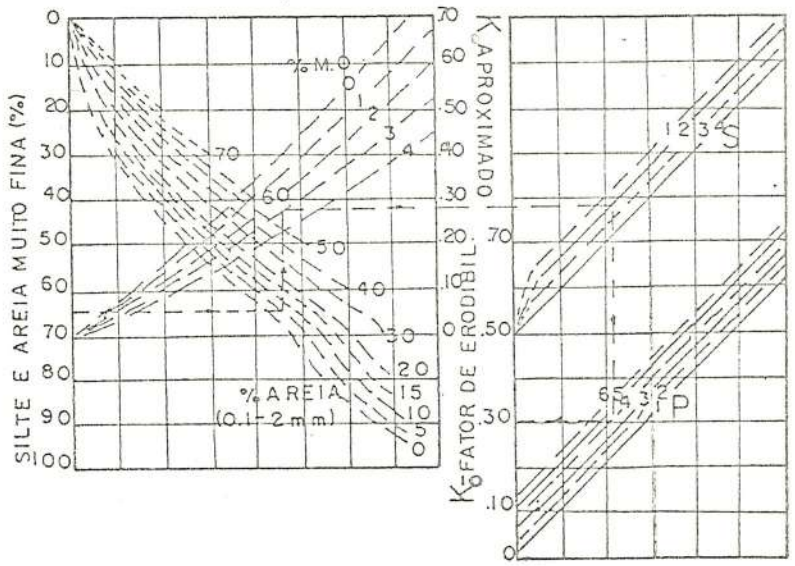
2- Os materiais com partículas maiores apresentam alta destacabilidade e baixa transportabilidade; para os materiais com partículas de maior diâmetro, o inverso é verdadeiro.

Foi desenvolvido por Wischmeier et alii (1971), um nomográfo que permite obter um fator de erodibilidade do material, através da correlação de cinco caracte -

rísticas do material, ou seja:

- porcentagem de silte + porcentagem de areia fina;
- porcentagem de areia;
- porcentagem de matéria orgânica;
- estrutura e
- permeabilidade dos materiais

O fator de erodibilidade (K_o) fornece o resultado em uma unidade que é compatível com a da equação geral da erosão. O nomógrafo da figura 40 foi obtido através de uma extensa pesquisa sobre as características dos solos, para uma encosta previamente escolhida. Pode - se observar que para uso do nomógrafo são necessários o conhecimento de poucas características, obtidos facilmente por observações comuns de laboratório, ensaios e avaliações de campo.



S-ESTRUTURA DO SOLO
1-GRAN. MUITO FINA
2- " FINA
3- " MÉDIO OU GRÓS.
4- BLOCO-LAMELA-MACIÇO

P- PERMEABILIDADE
1-MUITO LENTA
2-LENTA
3- " A MÉDIA(MODER.)
4- MODERADA
5- MODER. A RAPIDA
6- RAPIDA

FIGURA 40 NOMÓGRAFO- ERODIBILIDADE
FONTE: WISHMEIER E SMITH (1978)

Vários são os meios que permitem a análise do terreno frenta à erodibilidade, considerando diversas condições dos materiais, para que a previsão não incorra em erros grosseiros.

Inicialmente, deve-se analisar se o material é lateríitico, pois este pode apresentar condições de cimentação e porosidade que afetam positiva ou negativamente a erodibilidade. Os materiais com características expansivas apresentam maior facilidade para o destacamento de partículas, devido o seu inchamento quando em contato com a água. A análise da erosão em solos

argilosos torna-se mais complexa em função do grau de saturação, da umidade e da estrutura; fica ainda mais complicada no caso dos materiais compactados no ramo seco da curva do Proctor.

2- Relevo (Topografia)

Dentre os diversos fatores do relevo, a declividade é o que mais influencia diretamente na erosão.

Além do valor da declividade, a extensão e a forma da encosta são informações que afetam a intensidade erosiva.

2.1 Grau de declividade

O grau de declividade considerado limite para o uso de equipamentos de manutenção agrícola, que na maioria das situações é de 12% deve também ser entendido como o limite de declividade para que se possa considerar os terrenos como muito sujeitos a erosão. Os valores de declividade podem ser obtidos no campo por clinômetros ou através de mapas topográficos em escala adequada.

2.2 Forma da encosta

Segundo Troech (1965 apud Rodrigues 1982) as formas de encostas são definidas pelas curvaturas apresentadas no perfil longitudinal e pelas curvas de nível, conforme se observa na Figura (41). Esses autores afirmam que a quase totalidade das boçorocas ocorre em encostas convexas coletoras, e secundariamente nas dirpersoras. As melhores condições para o desenvolvimento de erosões são encontradas nas encostas convexas coletoras, devido a concentração do fluxo de água.

Nas encostas côncavas, as chances de se desenvolverem erosões são menores devido a perda de velocidade do escoamento.

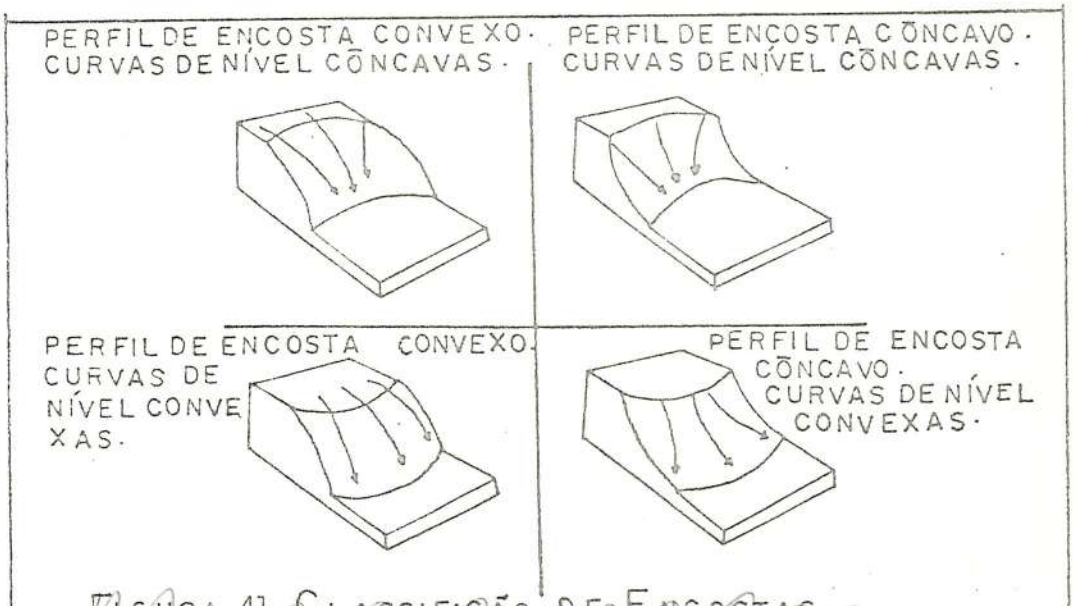


FIGURA 41 CLASSIFICAÇÃO DE ENCOSTAS.
FONTE: TROECH (1965) APUD RODRIGUES (1982)

2.3 Extensão das encostas

Quanto mais longa a encosta, maior a possibilidade de ocorrer concentração dos escoamentos.

Estudos da área agronômica, como os de Lombardi et alii (1982), consideram encostas com mais de 500m como longas e com menos de 100m como curtas; porém, outros limites podem ser considerados e adotados.

3- Cobertura Vegetal

Diversos são os autores que estudaram a influência da vegetação na estabilidade dos materiais nas encostas e diversas afirmações sobre o assunto podem ser encontradas nos trabalhos de Bailey (apud Rodrigues, 1982); Iwasa e Prandini (1980) e Vargas (1974), entre outros.

A vegetação tem influência direta nas características mecânicas dos materiais, tanto através do seu tipo como do seu sistema radicular. No aspecto relativo à ação das águas sobre os materiais, a vegetação pode atuar como interceptadora das gotas da chuva, para que não atinjam a superfície diretamente, também evitam um escoamento superficial violento e auxiliam na evapotranspiração e na infiltração, devido o horizonte húmico, diminuindo o potencial de erosividade.

As coberturas vegetais, na forma de culturas anuais não apresentam os mesmos efeitos de uma cobertura vegetal natural ou mesmo temporária, como o reflorestamento.

4- Fatores Climáticos

Todos os agentes erosivos estão intimamente ligados ao clima. Desta maneira, pode-se considerar que as precipitações estão condicionadas às variações climáticas e que o volume, a duração e a intensidade das precipitações estão relacionadas à variação da temperatura, ao movimento de ar e a outros fenômenos. Através da análise destes fatores, pode-se elaborar o balanço hídrico de uma região.

Deve-se considerar o volume de precipitação que ocorre durante o ano, os meses, dias e até durante horas, pois a relação entre intensidade e frequência pode possibilitar a ocorrência de um grande volume de água em um curto intervalo de tempo, com ou sem repetição, que terão efeitos diretos na ação erosiva.

Os grandes volumes, em pequenos períodos de tempo, provocam um escoamento superficial muito grande, propiciando ações erosivas significativas em terrenos desprotegidos, principalmente nos ocupados por agricultura anual

A variação brusca e acentuada da temperatura pode provocar fenômenos que auxiliarão a ação erosiva, principalmente quando acompanhada de chuvas. Os que mais ocorrem são: ressecamento, desagregação e diminuição da resistência.

5- Ação Antrópica

O homem é o responsável pela destruição de toda as condições naturais existentes, através da ocupação desordenada que faz do meio físico.

Assim a ocupação sob a forma de exploração agropecuária e/ou mineral provoca a destruição da estrutura superficial dos materiais, composta por cobertura vegetal, camada húmica e arcabouço formado por raízes, água e animais. Esta destruição facilita a ação das águas sobre os terrenos, ocorrendo como resultado o arrastamento dos materiais que o compõem, tendo como resultado os canais erosivos. Tratando-se de aproveitamento agrícola um dos maiores problemas está ligado ao preparo dos terrenos, tanto para o cultivo anual, como para a substituição de culturas semi- permanentes, principalmente quando a aração é feita no sentido da maior declividade; muitas vezes a aração é profunda e sem quaisquer formas de proteção, como curvas de nível, diques de contenção, etc.

A exploração mineral, principalmente os garimpos, remexem os materiais nos leitos de águas e suas margens, fazendo com que ocorram erosões e assoreamentos.

A ocupação urbana inadequada vem provocando grandes problemas erosivos, devido o aproveitamento de áreas com alta declividade, o desmatamento indiscriminado e a realização de canais preferenciais como trilhos e vias sem o devido sistema de captação das águas.

Qualquer ação do homem que destrua a cobertura vegetal e a camada de interação entre esta e os materiais subjacentes, aumenta a vulnerabilidade dos terrenos à ação erosiva. Portanto, a ocupação deve não somente ser acompanhada de ações de proteção aos terrenos, como também ocorrer de maneira a ferir o menos possível as condições naturais.

6- Ação da Água

A água é a responsável direta pela atividade erosiva, através da ação da gota de chuva; do escoamento superficial e/ou do lençol subterrâneo.

Como o escoamento superficial é o agente erosivo mais atuante, faz-se necessário evitá-lo o quanto possível, seja mantendo as condições naturais de equilíbrios dos terrenos ou realizando formas de proteção.

Faz-se, a seguir, algumas considerações a respeito do grau de erodibilidade dos terrenos relativamente aos atributos que nele interferem.

7- Observações

É importante considerar a ação do vento como agente erosivo, principalmente em regiões praianas e na Amazônia onde grandes áreas para fins agropecuários são desmatadas.

CLASSES	NATUREZA DOS TERRENOS	RELEVO	COBERTURA VEGETAL	AÇÃO ANTRÓPICA	FATORES CLIMÁTICOS
Alta Erodibilidade (INADEQUADA)	Materiais arenosos, solos com K_o altos	Declividade maior 12%; encostas convexas; encostas com + 500m de extensão;	Culturas anuais; terras descobertas e com ocupação desordenada	áreas com ocupação desordenada e destruição das condições naturais, sem formas de proteção	grandes volumes de águas em períodos curtos, provocando grande escoamento
Média (RAZOÁVEL)	Materiais com predomínios de finos (silte + argila)	declividade de 6% a 12%; encostas côncavas de média extensão, entre 100 e 400m convexas com menos de 500m	Culturas semi-permanentes;		
Baixa (ADEQUADA)	Materiais argilosos com K_o baixos	declividade menor que 6%; encostas côncavas com extensão variações, convexas menos de 100m;	cobertura vegetal natural ou com reflorestamento de grande porte;	Ocupações respeitando as condições naturais e existência de formas de proteção, ou sem ocupação	Grandes volumes; porém distribuídos uniformemente durante o ano.

5.3- CARTA PARA FUNDAÇÕES

Deve-se considerar os seguintes tipos de fundação:

1- Em superfície
- Sapatas, blocos, sapatas associadas
- Radier e vigas de fundação

2- Profundas
- Tubulões (estacas escavadas) (secção circular) — estacas de grande diâmetro
- Caixões (secção retangulares) — estacas de grande diâmetro
- Estacas e brocas

Existe uma grande polêmica quanto a realização de cartas de aptidão para fundações, devido à necessidade de vários tipos de informações, sejam qualitativas ou quantitativas. Deve-se considerar algumas opiniões para em seguida raciocinar em função das condições propostas na metodologia.

Thomas (1970), Roubault (1970), Gigan (1973) e Coelho (1980) expõem que:

- Na análise de uma fundação, a sua capacidade de carga e seu recalque são determinados em função da forma e dimensões (arbitrariamente escolhidas) e que estes valores não poderão ser aplicados a outros casos, sem que haja uma condição adequada e similar.

- A capacidade de carga de um terreno varia com a profundidade da fundação.

- A escolha do tipo de fundação está relacionada ao tipo de estrutura e às características de projeto.

- A apresentação de dados de capacidade de carga e recalque dá aos projetistas uma noção de valores, o que leva-os às vezes a cometerem erros.

- Como os dados são apresentados por áreas, tem que ser analizados para casos pontuais.

- Mesmo que o número de dados dos materiais seja numeroso , é perigoso adotá-los, pois podem conduzir os usuários a não realização da investigação local.

- Quando, o mapeamento for realizado por uma equipe multidisciplinar, o nível de informações utilizado será maior, e certamente as necessidades dos usuários já devem ser consideradas por profissionais da equipe.

- Os dados quantitativos devem ser justificados em termos de fonte.

- Na medida do possível, os resultados devem dar noções quanto aos custos.

Observa-se na bibliografia, que existe uma preocupação entre alguns autores em substituir a pesquisa local pela cartografia geotécnica, o que não é o princípio básico do mapeamento geotécnico e nem desta proposta.

O mapeamento geotécnico tem por finalidade orientar a investigação local, diminuindo os custos, o tempo e o número de situações a estudar. Pode-se em alguns casos, eliminar passos na investigação local devido a impossibilidade de adotar um ou outro tipo de fundação.

Após estas considerações, verifica-se que os atributos a seguir controlam a escolha do tipo de fundação, assim como fornecem idéias de possíveis problemas com a fundação e com a investigação local para uma obra específica, devendo ser considerados na carta para fundações. As informações fornecidas ao mapeamento, se-

jam quantitativas ou qualitativas, deverão ser de natureza orientativa e não definitivas muito menos usadas em projeto.

Fookes (1967) sugere três estágios de investigação para a instalação de obras, ou seja:

- Estágio I - exploração local
- Estágio II - investigação local
- Estágio III - investigação durante a obra

Entende-se por exploração local o trabalho preliminar que visa a determinação das possibilidades de construção num local ou uma fase de seleção de locais para uma investigação mais detalhada posterior e assim definir a área do projeto. Todavia, em obras pequenas, tais como edifícios baixos, casas, etc... os estágios ficam reduzidos a dois: exploração e investigação locais.

Em qualquer das duas situações, o mapeamento geotécnico fornece dados para a exploração local, podendo adiantar algumas informações referentes à investigação local. Quanto a pequenas obras, além de fornecer dados para o primeiro estágio, pode afetivamente orientar a execução da investigação local.

Propõe-se o mapeamento entre as escalas 1:50 000 e 1:10 000,pois em escalas maiores necessita-se de um nível de dados semelhante ao de uma investigação local o que não é próprio do mapeamento geotécnico. Quando em escalas inferiores, cartas para fundações só servirão como um trabalho de exploração, porém existe ressalvas em função da elaboração, do local e das necessidades.

1- Materiais inconsolidados e suas variações no perfil (natureza, espessura, etc)

2- Profundidade do substrato rochoso ou indeformável, propondo se a adoção de faixas que representem limites máximos e mínimos.

3- Características do substrato rochoso

4- Profundidade do N.A., também apresentado por faixas.

5- Camada possivelmente compressiva ou materiais potencialmente colapsíveis.

6- Camada de material mais adequado para suporte de fundação,às vezes já bem conhecida na região.

7- Dados de S.P.T. ou outros tipos de sondagens, normalmente responsável pela obtenção dos atributos anteriores. Porém, no caso da não existência sugere-se a execução de sondagens alternativas menos onerosas.

8- Outras informações (expansibilidade, declividade, etc)

As cartas geotécnicas para fundações fornecem condições iniciais que podem em princípio selecionar o tipo de fundação que deverá corresponder melhor as condições de uma dada área. Os atributos acima além de permitirem a seleção do tipo de fundação, possibilitam a análise de cada situação. Normalmente, as cartas para fundações são realizadas para diferentes níveis de profundidade,tais como: 2m, 5m, 10m e 15m. Em cada um desses níveis realiza-se análise das possibilidades quanto aos tipos de fundação. O primeiro nível refere-se a fundações rasas e os outros para os tipos profundos, mas deve-se considerar que o mapeamento geotécnico pode retratar locais que inviabilizem um dos grupos de fundações.

Deve-se considerar, na realização da carta que:

1- não serão fornecidos dados para uso diretamente nos cálculos (capacidade de carga e recalque);
2- os atributos serão apresentados quando possível, em função da escala usada;
3- observações quantitativas e qualitativas,serão necessariamente maiores quanto maior a escala;

4- as informações devem ser dadas de maneira que ajude a solucionar os problemas de ocupação de uma dada região do ponto de vista de edificação;
5- a ocupação, otimizada pelo tipo de fundação, sempre refletirá uma economia de custos;
6- a carta para fundação deverá permitir uma avaliação das condições de uma determinada área, assim como uma previsão comparativa em termos técnicos e econômicos das diversas áreas possíveis, para cada grupo de fundação (Coelho, 1980);
7- nas cartas deverá ser possível fazer uma previsão quanto ao tipo mais adequado de prospecção e em quais locais, de maneira a obter dados mais adequados ao dimensionamento das fundações.

A seleção do tipo de fundação pode estar embasada nas premissas definidas por Vargas (1982), assim como nas recomendações, da NORMA NBR 6122 (Tabela 33) da A.B.N.T. (1986):

1- Se existir na região um tipo de fundação que é mais usado e que produz resultados mais favoráveis e esta apoiado sobre um determinado material, ele deve ser considerado e em princípio adotado para o caso;

2- camadas argilosas compressíveis ou de materiais colapsíveis eliminam em geral a colocação, em cotas que lhe são superiores, de qualquer tipo de fundação que exercerá pressões superiores à de pré adensamento material, a não ser que sobre eles melhoramentos sejam executados;

3- complementando a premissa anterior, quando a camada superficial for compacta pode-se adotar uma fundação rasa desde que abaixo não haja material compressível ou de manor resistência;

4- quando existir uma camada superficial resistente e incompressível sobre uma camada compressível é adequado o uso de fundações profundas (estacas ou tubulões) que atravessem o material compressível e que lance a carga em um nível composto de material adequado;

5- quando existirem camadas "moles" em superfície, seguidas de camadas firmes de 7 a 25 metros, o melhor preliminarmente é adotar fundações por estacas ou tubulões; (Vargas, 1982)

6- na análise da potencialidade de cada material para fundação, a previsão das cargas admissíveis pode ser estimada no caso de mapeamento geotécnico, de duas maneiras: através de tabelas, como as da A.B.N.T. (1986), tabela 33, a de Folque (1979), tabela 32 e outras; as tabelas 34 e 35 se aplicam para mapeamentos em escala menor que 1:25 000; para os casos de escalas maiores, nas proximidades dos centros urbanos, onde já existem muitos dados de sondagens, as estimativas devem ser feitas por meio de sondagem do tipo S.P.T. ou similares, adotando formulações empíricas que são usadas para a região ou para grupos de materiais, como as do I.P.T. ou as propostas por Rocha et alii (1983) e as de Meyerhof.

Deve-se evitar que estes cálculos sejam usados pelo usuário em projetos, pois servem apenas para fundamentar estudos apropriados a serem realizados no local específico da obra. Como já afirmado, a cartografia geotécnica só será útil quando for usada no estágio de inventário (preliminar do trabalho específico).

TABELA 32: CLASSIFICAÇÃO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO
(adaptado de POLQUE, 1979)

GRUPO	SIMB.	TIPO DE TERRENO	TENSÃO ADMISSÍVEL (kN/m^2)
ROCHAS	R	Rochas não fragmentadas de resistência baixa a elevada	>1000
SOLOS INCOERENTES	I1	Cascalhos e areias compactas	> 600
	I2	Cascalhos e areias de compacidade média	200 - 600
	I3	Cascalhos e areias soltas	200
	I4	Areias compactas	> 300
	I5	Areias de compacidade média	100 - 300
	I6	Areia solta	< 100
SOLOS COERENTES	C1	Argilas rijas e muito duras	300 - 600
	C2	Argilas duras	150 - 300
	C3	Argilas médias	75 - 150
	C4	Argilas moles	< 75
DEPÓSITOS DE VERTENTE	V	Variável	-
ATERROS	At	Variável	-

NOTA: Nos valores indicados para solos contou-se com sapatas de largura não inferior a 1m. O nível freático supôs-se a uma profundidade superior à largura da sapata. Coelho (1980).

PRESSÕES ADMISSÍVEIS

CLASSE	SOLO	VALORES BÁSICOS (MPa)
1	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição.....	5
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas.....	3,5
3	Solos concrecionados.....	1,5
4	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, compactos.....	0,8
5	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, fofos.....	0,5
6	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, compactas.....	0,8
7	Areias grossas e areias pedregulhosas, mal graduadas, fofas.....	0,4
8	Areias finas e médias:	
	Muito compactas.....	0,6
	Compactas.....	0,4
	Mediamente compactas.....	0,2
9	Argilas e solos argilosos:	
	Consistência dura.....	0,4
	Consistência rija.....	0,2
	Consistência média.....	0,1
10	Siltes e solos siltosos:	
	Muito compactos.....	0,4
	Compactos.....	0,2
	Mediamente compactos.....	0,1

TABELA 33: PRESSÕES ADMISSÍVEIS.

FONTE: A.B.N.T. NORMA NBR 6122

GRUPO	CLASSE	MATERIAIS	POSSÍVEL CARGA ADMISSÍVEL (MPA)	OBS
Materiais Rochosos	1	Rocha Ígnea ou metamórfica (GNAISSICA) em condição são	10	As fundações são apoiadas no material rochoso
	2	Calcáreos arenitos sãos	4	
	3	Xistos e ardósias	3	
	4	Folhelhos, argilitos duros e arenitos fofos	2	
	5	Folhelhos e argilitos fofos	0,6 - 1	
	6	Giz são e duro, calcáreo fofos	0,6	
	7	Calcáreos, arenitos e folhelhos com acamamento finos	deve ser avaliado após investig.	
	8	Rochas intemperizadas		
Materiais não coesivos	9	Seixos compactos, areias compactas e seixos	< 0,6	largura da fundação (B) maior que 1m N.A. a distância B abaixo da base da fundação
	10	Seixos com compacidade média e areias de média compacidade e seixos	0,2 - 0,6	
	11	Seixos fofos, areias fofas e seixos	< 0,2	
	12	Areias compactas	> 0,3	
	13	Areias mediamente compactas	0,1 - 0,3	
	14	Areias fofas	< 0,1	
Materiais coesivos	15	Argilas e siltes muito rijas a duros	0,3 - 0,6	materiais susceptiveis a recalques
	16	Argilas e siltes rijas	0,15 - 0,3	
	17	Argila e siltes firmes	0,075 - 0,15	
	18	Siltes e argila moles	< 0,075	
	19	Siltes e argila muito moles	ñ aconselhável	

ADEQUADA

RAZOAVEL

N.

IN.

RAZOAV.

INAD.

TABELA 34: POSSÍVEIS VALORES DE CARGA ADMISSÍVEL SOB CARREGAMENTO ESTÁTICO VERTICAL.

FONTE: ANON (1972)

PRESSÕES ADMISSÍVEIS NO SOLO SOB FUNDAÇÕES DIRETAS EM CASOS FORA DE DÚVIDAS	KPa x 10^2
A- Terreno de aterro que não sofreu compactação artificial. Conforme a constituição e espessura da camada de fundação, sua densidade e regularidade de estratificação.....	0 - 1
B- Solo natural (visivelmente intacto)	
1) Lodo, turfa, solos pantanosos em geral.....	0
2) Solos compactos, não coesivos	
a) Areia fina e média, até 1mm de tamanho de grão.....	2
b) Areia grossa, tamanho de grão 1 a 3mm.....	3
c) Areia pedregulhosa com no mínimo um terço de pedregulho/volume, pedregulho de tamanho de grão até 70mm.....	4
3) Solos coesivos (limo, argila e marga)	
a) Muito mole, consistência de mingau.....	0
b) Mole (facilmente amolgável).....	0,4
c) Rijo (dificilmente amolgável).....	0,8
d) Semi-duro.....	1,5
4) Rocha com poucas falhas em estado são, não alterada e com estratificação favorável. Quando houver muitas falhas ou estratificação desfavorável os valores indicados tem que ser reduzidos a mais da metade:	
a) Em camadas de sucessão compacta (arenito, clacário, mármore, marga, dolomita, xisto cristalino, xisto argiloso)	
- de fraca resistência.....	10
- deconstituição dura, compacta (resistência e compressão superior a 50 kg/cm^2.....	15
b) Em disposição maciça ou colunas (granito, diorito, porfírio, diabásico, basalto, ardósio, gneiss).....	30

TABELA 35: PRESSÕES ADMISSÍVEIS NO SOLO (DIN 1054).

2- ELABORAÇÃO DA CARTA

A carta para fundações deve ser elaborada seguindo-se as etapas:

- Análise da profundidade do substrato rochoso, nas diferentes partes da região, considerando as seguintes classes de espessura: 0 a 2m, 2 a 5m, 5 a 10m, 10 a 20m e superiores a 20m;

- verificação das obras que estão sendo realizadas na região e quais os tipos de fundações e níveis de apoio mais usados, com sucesso!;

- realização de observações de campo em poços, cortes, etc,que possam orientar a definição das características do perfil básico das diversas unidades de terreno delimitadas no mapa de materiais inconsolidados;

- associação das informações obtidas até então com possíveis sondagens já existentes; em caso de não existirem, programar um grupo de sondagens alternativas;

- fornecimento dos níveis resistentes do terreno pelas sondagens alternativas, sempre em termos relativos (comparativos), e em número que deve estar sempre próximo ao mínimo de observações consideradas na tabela 51.

5.4- CARTA PARA ESCAVABILIDADE

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Entende-se que esta carta deve apresentar as condições dos terrenos para que sejam escavados, seja para que obras enterradas, *1 possam ser realizadas ou para outras finalidades (canais)

Deve-se considerar os materiais em classes, levando em conta a facilidade em serem escavados, as condições para escavação e os equipamentos exigidos.

Para a análise e classificação dos materiais deve-se analisar os seguintes atributos:

1- Tipo de Material

Predominantemente, existem dois grupos básicos de materiais:

- inconsolidados que podem ser escavados por equipamentos simples, sem necessidade de explosivos ou equipamentos mecânicos pesados:

- rochosos, devendo-se considerar qual a litologia, o seu estado intempérico e de fraturamento; rochas sãs ou pouco alteradas, tais como os gnaisses, granitos, basaltos, granulitos, migmatitos, sienitos e similares, são de alta dificuldade, necessitando explosivos e equipamentos necânicos adequados; rochas intemperizadas e/ou altamente fraturadas, em muitos casos se comportam como os materiais inconsolidados frente à escavação.

*1 (Tubulações para esgoto, águas pluviais e potáveis, etc)

Ressalta-se que litologias como as ardosias, xistos, filitos, alguns quartzitos, arenitos e algumas outras podem,em alguns casos ser escavadas sem a necessidade de explosivos e equipamentos especiais.

2- PROFUNDIDADE DO SUBSTRATO

Quanto maior a profundidade do substrato rochoso, melhor será, porque o material a se escavar será do tipo inconsolidado. Quando a profundidade for pequena, poderá até inviabilizar a realização de alguma obra, principalmente quando próximo à centros populacionais, devido a necessidade de uso de explosivos.

Os dados da bibliografias consultadas, indicam que dificilmente a profundidade de qualquer obra ultrapassará 5 metros de profundidade.

3- PROFUNDIDADE DO N.A.

Este atributo condiciona o uso de equipamentos especiais,as vezes exigindo bombeamento, principalmente se a escavação for no período de chuvas.

4- DECLIVIDADE

A realização de escavações em áreas íngremes traz diversos problemas quanto ao uso de equipamentos.

5- OUTROS ATRIBUTOS SECUNDÁRIOS

Que possam alterar ou influenciar a escavabilidade, tais como: qualidade das vias de acesso a área a ser escavada,dimensões da área, lentes de matéria orgânicas, etc.

Deve-se classificar os terrenos de maneira que apresentem as facilidades ou dificuldades para a execução da escavação conforme as condições citadas a seguir (Tabela 36)

CLASSES	MATERIAL	PROF.SUBS TRATO	PROF. N.A.	DECLIVIDADE	EQUIPAMEN.
Bom para escavamento	inconsolidados	> 5m	> 5m	< 10%	sem uso de explosivos eq. comum
Razoável	rochas alteradas. Ardósias e outras	2 - 5m	1 - 2m	10 - 15%	
Mau	rochas sãs e . materiais inconsolidados com matações, seixos e camadas laterizadas	< 2m	< 1m (aflorante)	> 15%	explosivos e equipams. mecânicos pesados

TABELA 36: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COM FINS A ESCAVABILIDADE

5.5 CARTA PARA DEPOSIÇÃO DE REJEITOS SÉPTICOS

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo da realização da carta de rejeitos sépticos é orientar os possíveis usuários, das variações do meio-físico e a sua interferência na deposição de rejeitos, de forma direta ou indireta.

A carta resultante da análise dos terrenos é limitada para o caso dos rejeitos perigosos e radiativos, sendo que para estas classes de rejeitos estudos específicos devem ser realizados e então uma carta especial deve ser elaborada.

Na tabela 37 pode-se observar as principais fontes, formas e meio de deposição mais comuns. Os meios de deposição mais comuns e utizados no Brasil são: o aterro sanitário, as lagoas, os tanques sépticos e as fossas. Na tabela 38, observa-se as relações existentes entre o tipo de rejeito, a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e as características dos aquíferos.

Atualmente, nas regiões de canaviais, a irrigação de terrenos com vinhoto oriundo das usinas e destilarias, também representa uma forma de deposição de rejeito e deve ser estudada, considerando-se as grandes extensões atingidas.

A contaminação das águas ocorre basicamente pelas águas contaminadas oriundas dos pontos onde há deposição de rejeitos. Salientando-se que as fossas, os tanques sépticos e as lagoas fornecem água diretamente e portanto a contaminação pode se dar mais rápidamente.

No caso dos aterros sanitários, como resultado da infiltração das águas pluviais, forma-se o chorume, sendo que o volume dos tanques, lagoas e fossas é maior que o do chorume produzido pelos aterros sanitários, mas o potencial poluente do chorume é maior, incluindo as vezes poluentes perigosos como alguns metais, em função dos materiais que compõem o aterro.

TABELA 37: PRINCIPAIS FONTES E CAUSAS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

FONTE: (TODD ET ALII, APUD TODD 1980)

FONTE OU CAUSA	GEOMETRIA DA POLUIÇÃO			MÉTODO DE DISPOSIÇÃO						
	PONTUAL	LINEAR	DIFUSA	TANQUE DE PERCOLAÇÃO	ESPALHAM. SUPERFIC. E IRRIG.	FLUXO EM POÇOS E TRINCHEIRAS	CAMADAS DE FLUXO SECO	ATERROS SANITÁRIOS	DISPOSIÇÃO EM POÇO (LAGOAS)	POÇO DE REJEIÇÃO
1- MUNICIPAL										
saída de cano de esg.	0	0								
rejeitos líquidos	0	0	0	0	0	0	0		0	
rejeitos sólidos	0				0				0	
2- INDUSTRIAL										
rejeitos líquidos	0			0		0			0	0
vazament.de tanque/tub.	0	0								
atividades minerais	0	0	0	0		0	0	0	0	0
campos de óleo	0	0	0	0	0	0	0			0
3- AGRICULTURA										
irrigação			0		0					
rejeitos animais	0		0	0	0	0		0		
fertilizantes e outros			0		0					
pesticidas			0		0					
4- DIVERSOS										
descarga superf. des.	0									
montes de riscos	0									
tanques sép. e fossas	0		0		0	0		0		
água salgada	0		0							

TABELA 38: RELAÇÕES ENTRE POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO E A FACILIDADE QUE OS AQUÍFEROS APRESENTAM PARA SEREM POLUÍDAS.

MODERADAMENTE ALTO D	ALTO G	ESTREMAMENTE ALTO I
MODERADAMENTE BAIXO B	MODERADAMENTE ALTO E	ALTO H
RELATIVAMENTE BAIXO A	MODERADAMENTE BAIXO C	MODERADAMENTE ALTO F

Condições para concentração e contaminação podem ser boas, mas algumas superfícies de fluxo podem ocorrer.

SENSÍVEL	MODERADAMENTE SENSÍVEL	INSENSÍVEL
AUMENTO DA SENSIBILIDADE DO AQUÍFERO		
ALTAMENTE FRATURADA		BAIXAMENTE FRATURADA
		ROCHAS CRISTALINAS
CALCÁREOS FRATURADOS E CAVERNOSO		
ÁREIAS GROSSAS À MÉDIA, ESPESSAS		AREIAS MÉDIAS AS FINAS (POUCO ESPESSA)
VALES ALUVIONARES GRANDE POTENCIAL AQUÍFERO	ALUVIÕES GRANDE POTENCIAL AQUÍFERO	ARGILAS ARENOSAS E ARGILAS ESPESSAS
BAIXO	MODERADO	ALTO
AUMENTO DO PODER DE CONTAMINAÇÃO		
		MANUF. QUÍMICO, ORGÂNICO E INORGÂNICO
TANQUE SÉPTICO E FOSSA		
		ATERROS (MUNICIP.) (MUITO POUCOS)
MANUF. DE VIDRO E CIMENTO		INDUST. GÁS E ÓLEO (EXTRAÇÃO) (REFINO)
PEDREIRAS E EXPLORAÇÕES MINERAIS	METAL E MINAS DE CARVÃO	
MANUFATURADOS ALIMENTARES AGRÍCOLAS		REFINO TEXTIL
RESTOS ANIMAIS	MANUFATURA DE BORRACHA E PLÁSTICO	RESTOS RADIOTIVOS
SÓLIDOS DE TEXTEIS PAPÉIS E MADEIRAS	SABÕES E DETERGENTES	ÍONS DE METAIS PESADOS
	ÓLEOS E GASOLINAS	PESTICIDAS
	REJEITOS MUNICIPAIS	

Os líquidos oriundos dos tanques sépticos são ricos em NH_4, Po_4 e o B.O.D. varia entre 20 e 450 mg/l (Sikora et alii,1976) e normalmente contaminam o lençol subterrâneo com nitratos, clorados e bactérias. O líquido (chorume) resultante dos aterros sanitários, só começa a infiltrar nos terrenos após anos do fechamento da célula, em alguns lugares chegando até 4 anos. A composição do chorume pode variar muito em função das características dos materiais lançados no aterro sanitário.Griffin et alii (1976) fizeram algumas considerações, a seguir apresentadas, sobre íons que podem fazer parte dos chorume:

- Cromo, mercúrio e chumbo, pouco móveis, sob algumas condições;
- Arsênio e Cr^{+6}, móveis sob certas características químicas dos terrenos;
- amônia, ferro e sódio, muito comuns, são considerados relativamente móveis;
- íons "cloretos" não sofrem qualquer atenuação pelos materiais terrosos.

Para que o entendimento seja adequado, é necessário conhecer os seguintes fatores que controlam a contaminação:

a- "A possibilidade de contaminação decresce com a distância entre a fonte poluidora e o ponto em que a água será analisada , devido os seguintes aspectos:

- A diluição tende a crescer com a distância;
- a absorção tende a ser mais efetiva com o aumento da distância;
- o tempo de percolação tende a crescer com a distância, consequentemente os processos de purificação e de degradação tornam-se mais completos;
- o gradiente do N.A. e a velocidade do fluxo decrescem com o aumento da distância entre o ponto em questão e a fonte poluidora.

b- "Quanto maior o gradiente do N.A. mais estreita e longa será a frente poluidora (leque), proviniente da fonte de poluição, principalmente dos aterros sanitários"

c- "As áreas de baixa declividade e de baixo gradiente do N.A., provocam um alargamento da frente poluidora, de maneira que podem surgir várias frentes, em diversos sentidos".

A variação da concentração de poluente pode ser melhor entendida através da seguinte equação:

$$DL \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + DT \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \frac{Vx \partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t}$$

onde

DL - coeficiente de dispersão longitudinal
DT - coeficiente de dispersão transversal
t - tempo
x - distância na direção do fluxo
y - distância na direção transversal ao fluxo
Vx - velocidade do fluxo

A equação pode ser observada em Scheidegger (1961), porém, para o fluxo no sentido longitudinal pode ser reduzida à seguinte expressão:

$$DL \frac{\partial^2 c}{\partial t^2} - \bar{V}x \frac{\partial c}{\partial x} = Kc$$

onde

K = constante de decaimento
c = concentração.

Apesar da dificuldade em obter uma resolução, é possível entender que a dispersão longitudinal é função da velocidade de percolação e da configuração dos vazios e a dispersão transversal como função das características do solo e velocidade da água subterrânea,

concluindo que o alargamento do leque é função do DT e da velocidade das águas.

A equação reduzida para uma direção, foi resolvida por Harlemann et alii (1963), concluiu que o DT aumenta exponencialmente com Vx e com a granulometria média dos materiais. Segundo os mesmos autores, o DT varia entre 0,0002 e 0,015 cm^2/s, para areias com diâmetro entre 0,45 e 1,4mm, enquanto Vx varia entre 0,008 e 0,12cm/s.

Após estas considerações iniciais, é necessário conhecer os atributos que interferem na disposição dos rejeitos, assim como na percolação e decaimento do poder poluente das águas originadas das fontes poluidoras.

2- ATRIBUTOS

a- Declividade

O local para a instalação de rejeitos deve estar entre limites conhecidos de declividade. Assim terrenos com declividade entre 2% e 5% são os mais indicados; porém, podem ser utilizados terrenos que tenham até 10% de declividade. Os terrenos com declividade menores que 2% devem ser evitados, porque normalmente provocam o acúmulo das águas, assim como não facilitam a percolação dos líquidos poluentes, produzindo uma "mancha" ao redor da fonte, ao invés de uma frente que evolui para os pontos mais baixos. Os terrenos com declividade superior a 10% estão mais suceptíveis à erosão, movimento de massas, aumento da dificuldade para a execução de obras e sujeitos a provocar vazamentos de águas contaminadas nas encostas do ponto de deposição dos rejeitos.

b- Material Inconsolidado

Deve-se considerar que o perfil seja homogêneo, que tenha uma porcentagem de finos (silte e argilas) em torno de 25%, caracterizando o material como de textura média (areias siltosas e/ou argilosas, ou materiais dos tipos GM, SM e ML (classificação unificada).

As características que os materiais inconsolidados devem apresentar são:

1º C.T.C. - Capacidade de troca catiônica

É um fator primordial na retenção dos poluentes orgânicos e outros íons menos móveis, assim como das bactérias, dos virus e microorganismos comuns aos rejeitos. O C.T.C. reflete as características da parte fina e da matéria orgânica que compõe o material;quanto maior a porcentagem destes, maior será o valor do C.T.C.

Deve-se considerar os seguintes limites para as classes de C.T.C.:

- baixo < 5 meq/100g
- altos > 15 meq/100g

Segundo Berg et alii (1984), uma camada com mais de 4m de espessura e com C.T.C. de 10 meq/100g de solo, pode atenuar quase a totalidade dos poluentes oriundos das formas de poluição mais comuns, citadas anteriormente.

2º pH - A variação do pH é responsável pela precipitação de componentes insolúveis, assim como por muitas reações que provocam a retenção e deposição de diversos poluentes.

O conhecimento do comportamento do pH, permite ao executor análises, para que certas diretrizes sejam adimitidas, tais como:

- A adsorção de virus no solo cresce como o decréscimo do pH, e com o aumento do conteúdo de sal na água do solo e com o aumento da concentração de cátions bivalentes em relação aos mo

novalentes na água (Bouwer e Chaney, 1974 e Sproul, 1975 (apud Bouwer, 1978);

- solos arenosos com baixo pH, possuem baixa capacidade para a remoção de fosfatos dos líquidos provenientes dos rejeitos (Bouwer, 1978);

- o alumínio é particularmente efetivo na retenção de Po_4, nos solos ácidos;

- a imobilização de alguns metais é favorecida por pH altos (>7) e condições aeróbicas (Bouwer, 1978);

- a precipitação de Po_4 no solo, como compostos de Ca, Fe e Al, é função do pH; para valores superiores a 6 ou 7, precipita-se como compostos de Ca e para valores inferiores a 6 ou 7, são precipitados os compostos de Fe e Al (Lindsay e Moreno, 1960).

3º PERMEABILIDADE - Tenta refletir a velocidade com que os líquidos fluem através dos terrenos, sendo influenciada pela granulometria, mineralogia e história da formação do material inconsolidado. Os materiais com valores de coeficiente de permeabilidade altos ($>10^{-2}$ cm/s) devem ser evitados, pois permitem que os líquidos poluídos atinjam o lençol freático em curto prazo de tempo. Estes valores caracterizam os solos (materiais) grosseiros puros, além de possuirem um baixo valor de C.T.C.

Kiefer (1967) propõe que os materiais que melhor atendem a esta finalidade são aqueles que apresentam coeficiente de permeabilidade entre 4.10^{-3} cm/s e 7.10^{-4} cm/s.

As areias argilosas correspondem aos valores acima, assim como as exigências da C.T.C.

Cartwright (1982) considera que os matereiais devem possuir coeficientes de permeabilidade entre 10^{-2} e 10^{-6} cm/s, sendo que os valores mais próximos a 10^{-6}, ou seja 10^{-4} e 10^{-5}, reunem boas condições de permeabilidade e C.T.C. para a disposição de rejeitos.

4º COMENTÁRIOS GERAIS

- Os solos finos podem filtrar complexos organo-metálicos de alto peso molecular (Bouwer e Chaney, 1974);

- os virus são adsorvidos pelas argilas, matéria orgânica e outros materiais com cargas negativas;

- os solos podem reter bactérias e outros microorganismos pelo efeito "filtro", como também pelo antagonismo da população bacterial nativa;

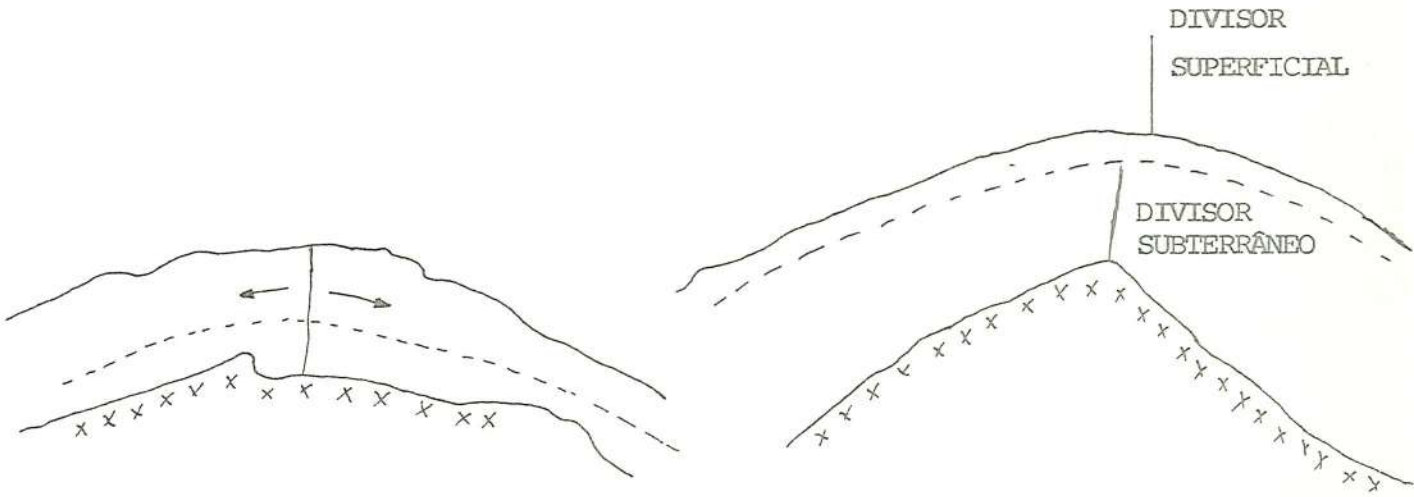
- os íons de Boro são adsorvidos por óxidos de alumínio e ferro, assim como por minerais argilosos.

c- Profundidade do Nível de Água

A profundidade do N.A. deve ser conhecida para o período de maior intensidade pluviométrica durante o ano, sendo a zona acima do N.A. chamada de aeróbica. O conhecimento da profundidade e do comportamento do N.A. é um atributo fundamental na seleção dos locais para a disposição dos rejeitos sépticos. Além da profundidade do N.A., é necessário conhecer o gradiente do N.A., a velocidade das águas e a direção do fluxo. É necessário tecer alguns comentários sobre a direção do fluxo

subterrâneo:

- É função da espessura do material inconsolidado, da forma do substrato geológico e da topografia, conforme esquemas:



Portanto, quanto mais próximo da superfície estiver o N.A. , mais próximo ao divisor superficial estará o nível subterrâneo.

- É importante conhecer a direção do fluxo e o gradiente em cada situação.

Para os casos de fossas e tanques sépticos é aconselhável que a base esteja no mínimo a 4 metros do N.A. e a 30 metros de uma fonte de água utilizável, se a mesma estiver no sentido contrário do fluxo e 60 metros se estiver no mesmo sentido. (Valores recomendados por diversos órgãos dos U.S.A. e da Europa).

Para as lagoas e aterros sanitários, é aconselhável usar pelo menos 15 metros entre a base e o N.A. (Bouwer, 1978; Berg et alii, 1984; Brunner e Keller, 1972). Os aterros e lagoas devem estar a 300 metros de pontos de águas como poços, cisternas e

cabeceiras de rios; pois a contaminação poderá atingir distâncias superiores a 1000 metros, em função das características dos materiais.

No caso de poços, cisternas e similares, onde existe a extração de água, é necessário conhecer o raio de ação no momento da máxima extração.

Qualquer que seja a fonte de poluição, a mesma terá que estar localizada a pelo menos 10 metros do raio máximo de ação. No caso de cisternas, 5 metros podem ser suficientes. Sugere-se que o raio de ação seja estimado pelas formas propostas por Bogomolov:-

$$R = \sqrt{\frac{6H\ KT}{\mu}}$$

H = altura do nível de água (m)
K = coeficiente de permeabilidade (M/s)
T = tempo de bombeamento (s)
μ = a capacidade de livre escoamento

ou

$$R = 47 \sqrt{\frac{6.H.K.T}{\mu}}$$

T = tempo de bombeamento em (hs)

d- Profundidade e Características do Substrato Rochoso

Conhecer a profundidade e as características das rochas é de grande importância para que possíveis direções preferenciais de fluxo sejam determinadas, assim como o contato entre o material inconsolidado e o substrato e algumas descontinuidades do maciço rochoso.

Para o caso de fossas e tanques, é aconselhável que a base esteja a pelo menos 6 metros do substrato; no caso das lagoas e dos aterros sanitários, a bibliografia consultada aconselha uma distância entre a base e o substrato de no mínimo 20 ou 25 metros.

Considera-se ainda que as rochas não sejam calcáreas ou dolomitos e que rochas com alta permeabilidade, com fraturas consideráveis e/ou com descontinuidades, permitirão alta percolação, facilitando desta forma a contaminação e portanto não são adequadas. A contaminação de aquíferos importantes, em meio rochoso, é praticamente irreversível e pode, com o tempo, torná-lo irrecuperável. Além dos dados anteriores, é importante conhecer as estruturas como acamamento, xistosidade e outras descontinuidades que possam favorecer o fluxo dos líquidos numa direção preferencial.

e- Evaporação - Escoamento Superficial - Pluviosidade

As lagoas e os aterros sanitários estão sob a influência de condições climáticas, sendo que o volume de chorume produzido pelo aterro é função do volume de água que infiltra (Leaching index, figura 42), podendo ter o volume aumentado em função da pluviosidade e da evaporação. O fator evapo transpiração é responsável por auxiliar na concentração dos poluentes na faixa aeróbica, evitando que a contaminação atinja o nível aquoso.

A produção de chorume, pelos aterros, é função do "Leaching index", que pode ser obtido para a área através do balanço hídrico do tipo THORNTHWAITE e MATHER (1955, utilizando os dados como sugere Todd (1970).

O "Leaching index", além de ser importante para o caso do chorume, tem importância direta na contaminação por elementos oriundos de adubos, herbicidas, inseticidas e similares.

Na figura 42, pode-se verificar que é possível estimar o volume de chorume produzido por um aterro, com o conhecimento do "Leaching index" e de algumas características do aterro (Welby, 1981). A figura 43 permite uma avaliação de quanto tempo é necessário para que a primeira frente de chorume apareça na base do aterro e inicie a percolação através do material.

Os aterros sanitários devem ser localizados em situações que o "L.I" seja o menor possível, assim como as lagoas e fossas devem estar fora dos locais onde há acumulo de águas.

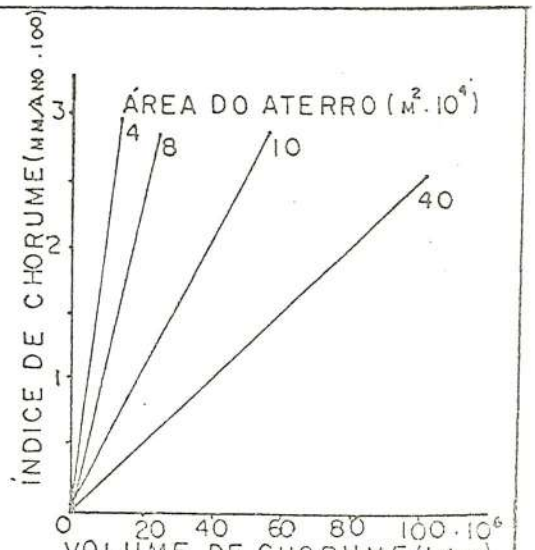


FIGURA 42 QUANT. ANUAL DE CHORUME APÓS 1º SAIDA.
FONTE: WELBY (1981)

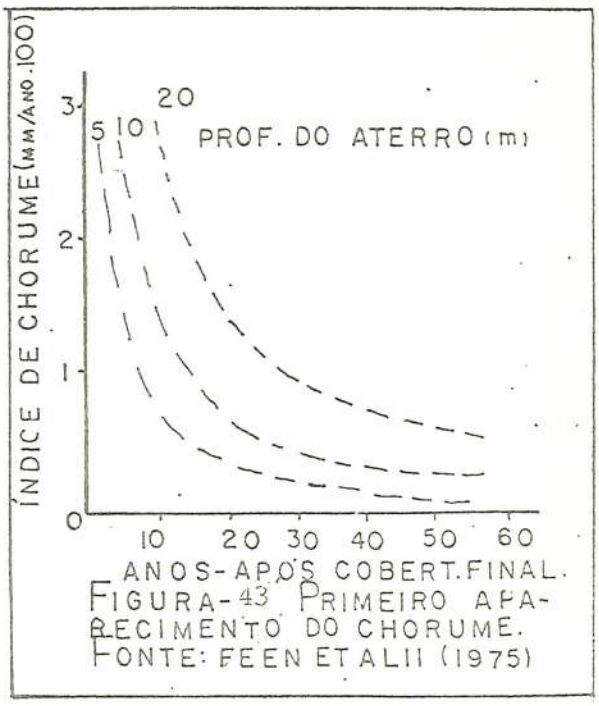


FIGURA-43 PRIMEIRO APARECIMENTO DO CHORUME.
FONTE: FEEN ET ALII (1975)

f- Camadas Compressivas

Este atributo deve ser verificado para o caso de instalação de aterros sanitários, e todos os cuidados devem ser tomados, pois se houver um rompimento do conjunto, aterro e terreno, surgirá uma situação de alta percolação, favorecendo a contaminação do nível aquoso, além do escape de gases provocando odores desagradáveis para a população vizinha.

3- CONCENTRAÇÃO DE PONTOS DE REJEITO

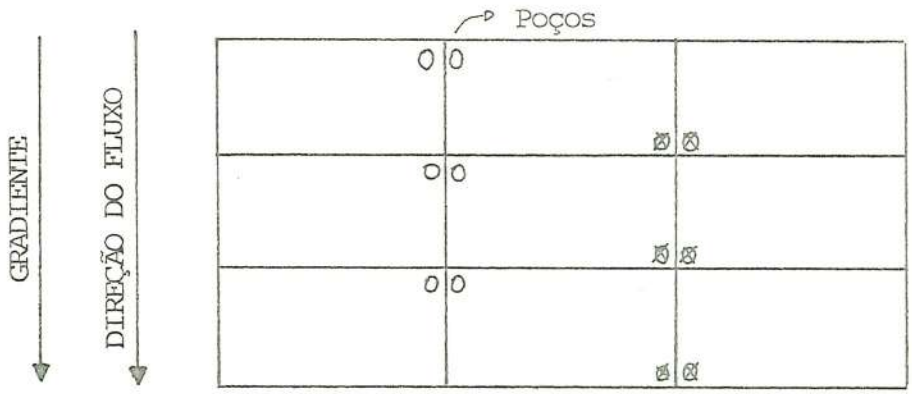
Deve-se analisar esta situação, visto que quase a totalidade dos loteamentos de baixa renda possuem como sistema de recebimento de rejeito as fossas e tanques sépticos.

Para este caso, além do problema de poluição do aquífero geral, as residências normalmente obtém a água de uso diário através de cisternas aumentando a dificuldade para manter as condições adequadas discutidas anteriormente.

Para evitar problemas críticos, é necessário pelo menos seguir algumas regras e tomar alguns cuidados, como no esquema seguinte:

- Conhecer a direção do fluxo das águas para a área considerada e vizinhas;

- alinhamento dos poços e fossas no sentido do fluxo e de maneira tal que as fossas estejam na mesma divisa e os poços na outra, tentando evitar que o leque de poluição se restrinja e não alcance o raio de ação dos poços; além disso, a posição em diagonal aumenta a distância, ressalvando-se que esta situação só é minimizadora;

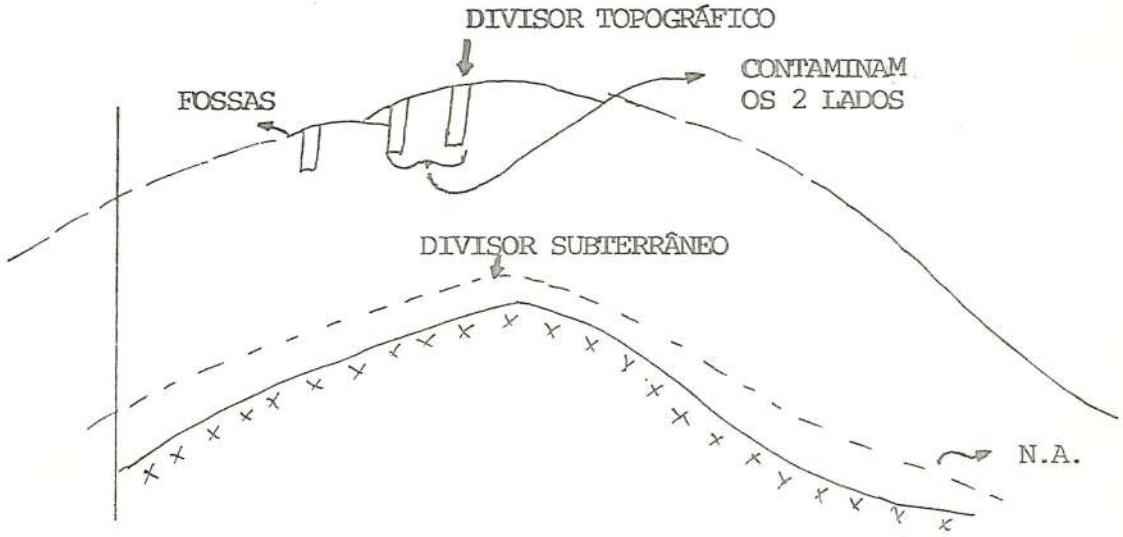


- outro cuidado, é evitar que águas pluviais sejam lançadas nas fossas, evitando aumentar o volume de líquido contaminado;

- evitar loteamento em áreas possíveis de alagamento e em terrenos tipicamente arenosos (alta permeabilidade);

- fossas devem ser locadas mantendo a distância mínima entre a base da fossa - N.A. - Substrato rochoso;

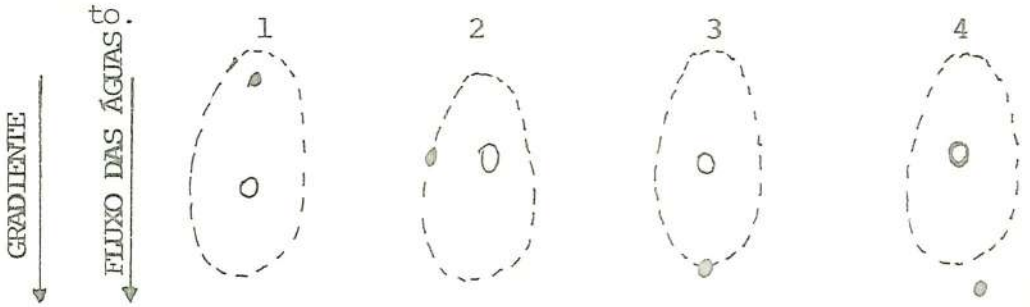
- cuidado na implantação de fossas nos divisores ou próximos dos divisores topográficos, pois o divisor subterrâneo pode não coincidir e assim contaminar a outra encosta, bem como o vale, conforme observa-se no esquema:



- as áreas com declividades próximas a 0% apresentam problemas maiores de estagnação e várias frentes de poluição;

- deve-se considerar a hipótese de colocar um sistema de filtro com solo adequado, na base e lateral das fossas e tanques sépticos;

- deve-se analisar algumas posições de fossas em relação a um poço (cisternas) e seu raio de influência durante o bombeamento.



FONTE: (Le Grand, 1964)

No esquema anterior observa-se que:

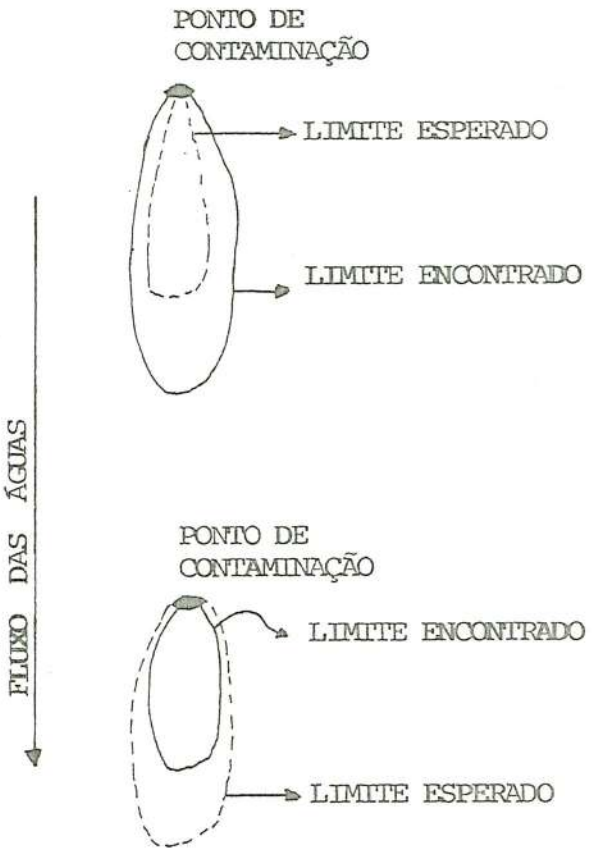
1- É situação de contaminação direta, estando a fossa dentro do raio de ação do poço e a montante a favor do fluxo das águas.

2- Contaminação possível, estando o ponto no limite do raio de influência, numa posição ortogonal ao poço, contaminação possível em função da velocidade do fluxo e do gradiente.

3- Contaminação possível, estando o ponto contaminador à jusante do poço, porém dentro do seu raio de ação.

4- O ponto está a jusante do poço e fora do raio de influência, onde a contaminação é praticamente impossível.

Os pontos de disposição de rejeitos sempre poluem uma área elíptica com o maior diâmetro no sentido do movimento das águas, sendo mais longas ou curtas em função de algumas características do meio-físico (Le Grand, 1965):



CAUSAS DO AUMENTO

1- Crescimento na disposição dos rejeitos

2- Efeitos devido a variação do nível das águas

3- Atividade de absorção diminuída por uso.

CAUSAS DA DIMINUIÇÃO

1- Redução da deposição dos rejeitos

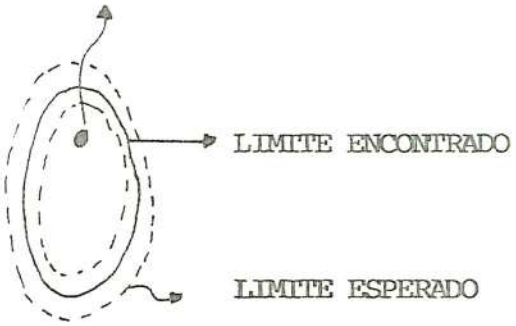
2- Efeitos da variação do N.A.

3- Absorção mais efetiva

EESC-USP

4- Diluição mais efetiva

5- Percolação mais lenta e mais tempo para o depuramento



CAUSAS PARA A ESTABILIZAÇÃO

1- Manutenção da mesma quantidade de rejeitos

2- Capacidade de absorção, de diluição estáveis

4- NÃO EXISTE FLUTUAÇÕES NO N.A.

A análise de uma região visa verificar as condições dos diversos terrenos (materiais inconsolidados e rochoso) para serem receptores de rejeitos sépticos. A maior dificuldade é como avaliar as diversas condições dos terrenos, de maneira à escolher aqueles que melhores condições apresentam, no sentido de evitar as contaminações.

A seguir, apresenta-se uma proposta de Le GRAND (1964), que considera alguns limites para cada atributo, dando a eles pesos em função de serem mais ou menos favoráveis à instalação dos pontos de recepção de rejeitos.

SOMA DOS PONTOS	POSSIBILIDADE DE CONTAMINAÇÃO
0 - 4	Eminente
4 - 8	Provável
8 - 12	Possível, mas não certa
12 - 25	Muito improvável
25 - 35	Improvável

1a. Situação: (Figura 44)

Correlações e pesos para materiais granulares

N.A. = nível das águas
S = potencial de absorção
P = permeabilidade
G = gradiente do N.A.
D = distância entre o ponto contaminante e a fonte de água

2a. Situação: (Figura 45)

Correlações e pesos para terrenos com dois tipos de materiais

N.A. = nível das águas
S = potencial de absorção
P = permeabilidade
G = gradiente do N.A.
D = distância horizontal entre a fonte poluidora e a fonte de água
T = espessura do material granular abaixo do ponto poluidor

5- RECOBRIMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

Na figura 47, pode-se observar as características dos principais tipos de materiais que servem para o recobrimento de diversos tipos de aterros.

A área que deve ser projetada para a construção de um aterro sanitário pode ser estimada por meio do diagrama proposto por (Tchobanoglous et al (1977) (figura 46).

Em áreas onde há materiais como as areias e finos (siltes e argilas) separados, sugere-se que o recobrimento dos aterros sanitários seja feito por 2 camadas, sendo a primeira de materiais fi-

303

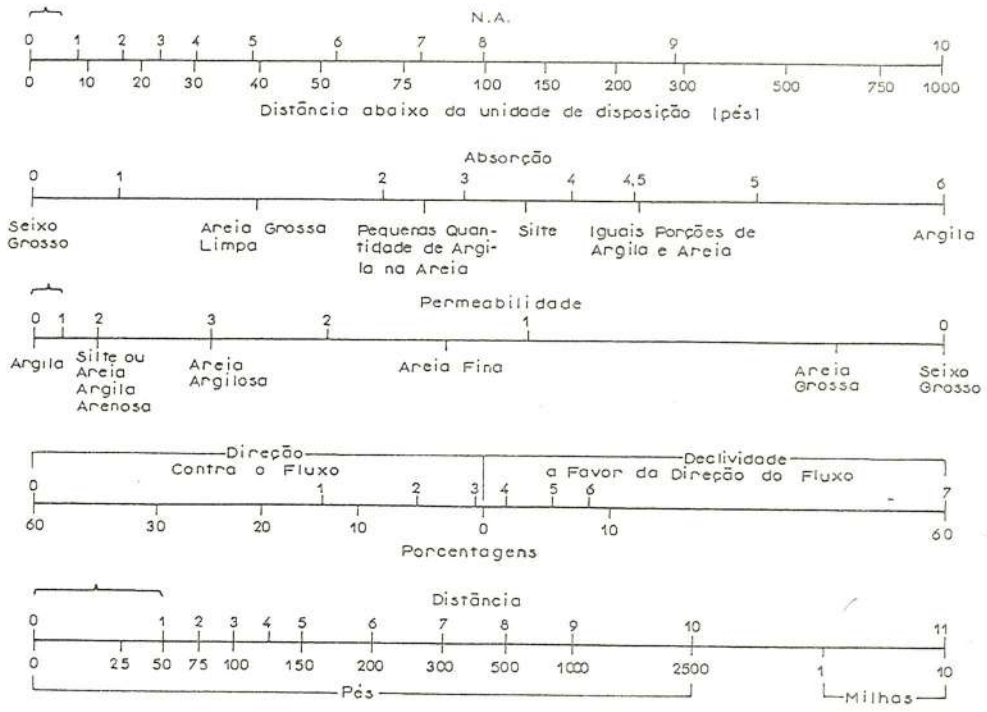


FIGURA 44-Carta para Avaliar os locais com Materiais Granulares Soltos

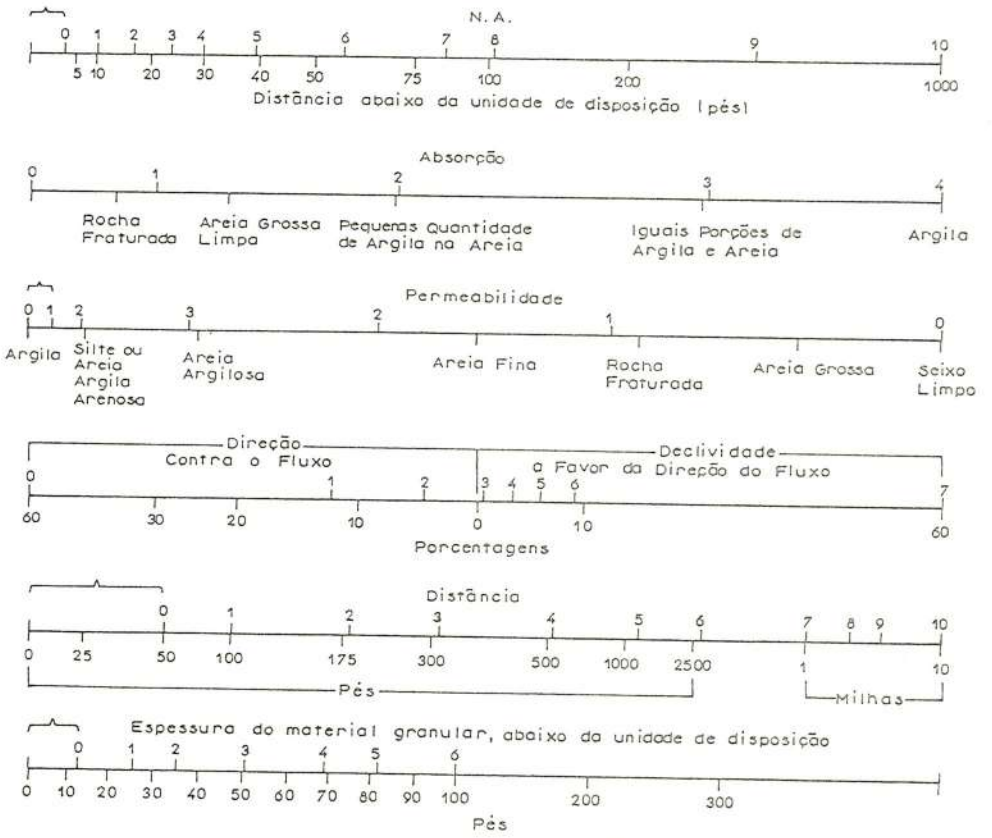


FIGURA 45- Carta para Avaliar os locais com 2 Tipos de Materiais

nos ou misturas e a segunda (externa) de areias com no máximo 20% de finos. Desta maneira são atendida satisfatóriamente todas as condições.

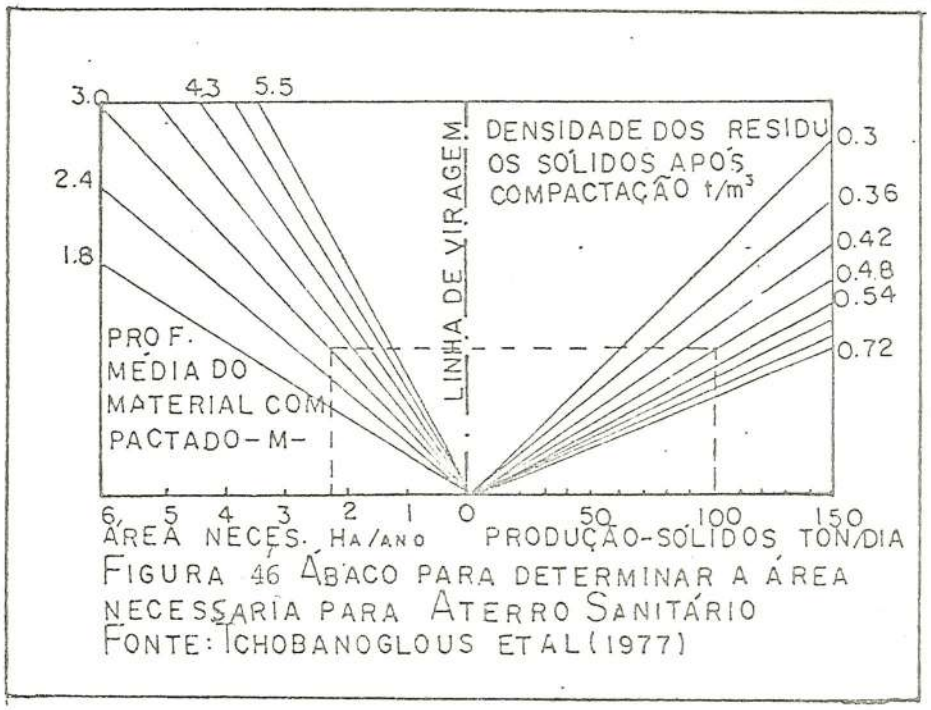


FIGURA 46 ÁBACO PARA DETERMINAR A ÁREA NECESSÁRIA PARA ATERRO SANITÁRIO
FONTE: TCHOBANOGLOUS ET AL (1977)

FONTE: MANTELL (1915) IN TOCHA SANTOS E BRIZ (1985)

FIGURA 47: ADEQUABILIDADE DE DIFERENTES TIPOS DE SOLOS PARA RECOBRIMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

FUNÇÃO	SEIXO LIMPO	SEIXO SILTO - ARGILOSO	AREIA LIMPA	AREIA SILTO - ARGILOSA	SILTE	ARGILA
Evitar a ação de animais roedores de esburacar o aterro e a sua proliferação	Boa	Razoável a Boa	Boa	Medíocre	Medíocre	Medíocre
Evitar os insetos	Medíocre	Razoável	Medíocre	Boa	Boa	Excelente (a)
Minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro	Medíocre	Razoável a Boa	Medíocre	Boa	Boa	Excelente (a)
Minimizar a saída de gás incontrolado do aterro	Medíocre	Razoável a Boa	Medíocre	Boa a Excelente	Boa a Excelente	Excelente (a)
Dar aspecto agradável ao aterro e evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Crescimento de vegetação	Medíocre	Boa	Medíocre a Razoável	Excelente	Boa a Excelente	Razoável a Boa

NOTA: a) EXCEPTO SE EXISTIREM FISSURAS IMPORTANTES.

5.6 CARTA DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

As cartas de materiais de construção tem como finalidade básica dotar os usuários de um conhecimento preliminar, bem como das possibilidades de uso dos materiais inconsolidados e rochosos da região.

As cartas devem conter informações de interesse às duas condições básicas de uso:

- Materiais para transformação;
- materiais para agregados.

As características dos materiais variam em função de sua mineralogia e relações, das estruturas, das descontinuidades e do grau de alteração dos minerais. Os materiais devem ser analisados e classificados em função das características que limitam os possíveis usos.

Os atributos (informações) podem ser agrupados em função dos meios e das condições exigidas para as suas obtenções. Discute-se, a seguir, uma classificação preliminar que auxilia no trabalho de mapeamento geotécnico:

Classe 1 - Compreende os atributos (informações) que podem ser obtidos em:

- Revisões de trabalhos já realizados;
- trabalhos de campo;
- análises petrográficas.

Classe 2 - Compreende as informações que podem ser obtidas por meio de mecanismos simples (equivalente areia, densidade aparente, porosidade, absorção e outras) e por equipamentos simples como o ensaio de Windsor, o esclerômetro de Schmidt e outros.

Classe 3 - Compreende as informações que são obtidas através de ensaios específicos como Los Angeles, Treton, sanidade ao sulfato, etc.

2- FATORES A CONSIDERAR

2.1- Materiais para Transformação

Devem ser delimitados e caracterizados os materiais arenosos que reunem qualidades para serem usados pelas fábricas de vidros e similares.

Os materiais finos, como as argilas, caolim, feldspatos alterados e outros, que são utilizados no fabrico de cerâmicas comuns e refratárias, olarias e outras como os agregados leves.

Os materiais rochosos que poderão ser utilizados como ornamentais, devem ser delimitados e a análise deve ser inicialmente qualitativa, considerando a mineralogia e, o fraturamento que pode ser intenso e inviabilizar o uso, mesmo que as outras características sejam favoráveis, os planos de fraqueza que possam favorecer a partição em direções não desejáveis, o volume do material com condições de uso e outras características que podem limitar o uso como a mistura de materiais (xenólitos), o intemperismo, etc. O estudo petrográfico deve ser mais detalhado do que o exigido para os agregados, e as limitações mais acentuadas.

Além do estudo preliminar, a carta deve conter as áreas em que os materiais estão sendo explorados para os fins propostos ou aqueles que estão desativados temporariamente.

2.2 Materiais para Agregados

Os agregados são utilizados como parte dos diversos tipos de concreto, nos pavimentos de rodovias, como lastros de ferro

vias, no fabrico de gabiões e também em enrocamentos e "rip-raps".

Os agregados podem ser classificados como miúdos (areias naturais e areias artificiais obtidas do desmonte de rochas quartzosas intemperizadas) e graúdos (seixos e cascalhos naturais ou britas obtidas de materiais rochosos adequados).

2.2.1- Agregados miúdos

Apresentam diâmetro máximo de 4,8mm e o acumulado nesta peneira deve ser menor que 15%, fazem parte deste grupo as areias desde finas até grossas, as areias obtidas dos desmontes e materiais originados da britagem de materiais rochosos.

A classificação dos agregados muídos deve obedecer as premissas e normas contidas na normas da ABNT, I.P.R.(1975), CESP (1983) e outras publicações sobre o assunto.

As areias grossas são consideradas ótimas em termos granulométricos, quando o acumulado na peneira 0,6mm estiver 68 e 83% e o módulo de finura entre 3,25 a 3,84, porém podem ser utilizáveis quando o acumulado estiver entre 42 e 68% e o módulo de finura entre 2,39 e 3,39.

As areias que apresentam diâmetro máximo de 2,4mm em muitos casos são consideradas inadequadas, porém vem sendo utilizadas em reboco com bons resultados.

O ensaio de equivalente areia (E.A.) é muito usado na análise dos materiais arenosos e quando o E.A. for:

E.A > 70% - serve aos concretos comuns
E.A > 80% - serve aos concretos especiais

Os agregados miúdos devem ser constituídos de minerais estáveis, como o quartzo, zircão, magnetita, ilmenita, rutilo e outros. Os minerais deletéricos (sulfetos, sulfatos, silíca amorfa, etc) devem estar ausentes ou quando as exigências não são acentuadas, em porcentagens mínimas.

Os agregados miúdos devem estar isentos de materiais carbonosos (<10%); de torrões de argila (<1,5%); de materiais finos (<5% em massa), (porém em alguns países já são aceitos materiais com até 15% em massa); de impurezas orgânicas, de partículas frágeis que podem ser maléficas em termos de resistência dos concretos e de restos de rochas que contenham minerais argilosos ou de fácil intemperismo (olivinas, piroxenios e anfibólios).

2.2.2- Agregados graúdos

Apresentam diâmetro superior a 4,8mm e o retido nesta peneira deve ser até 85% (em peso), e são representados predominantemente pelas britas, seguido dos cascalhos e seixos naturais. Atualmente as lateritas vem sendo utilizadas com bons resultados.

Os agregados graúdos são representados por cascalhos (cascalheiras), britas e lateritas.

Os cascalhos são originados de rochas normalmente poliminerálicas, portanto sendo necessário conhecer suas características minerais. também existem cascalhos monominerálicos, normalmente quartzosos.

Os agregados graúdos, originários da britagem dos materiais rochosos, também são na maioria dos casos poliminerálicos, e neste caso tem suas características controladas pela sua mineralogia, textura petrográfica, grau de alteração e possíveis condições de alterabilidade.

A durabilidade de um agregado esta intimamente ligada à dureza e à clivagem dos minerais, assim como ao tipo mineral, forma e proporção dos grãos, ao arranjo e orientação dos minerais e às inclusões.

Segundo Deere e Miller (1966), a resistência diminui com o aumento da porosidade, quando for em rochas sedimentares, laminadas e quebradiças, e ígneas e metamórficas foliadas.

Hartley (1974) observou que a resistência das rochas ígneas diminui com o aumento da porosidade,do tamanho dos grãos, dos minerais moles e da foliação devido as estruturas de fluxos. Os arenitos tem sua resistência variando em função dos tipos mineralógicos e da ligação entre os grãos.

As rochas metamórficas tem sua resistência afetada pelo tamanho dos grãos, aumento da porosidade, proporção de minerais moles e principalmente pelo desenvolvimento de xistosidades, foliações e pela extensão da ligação intergranular.

Segundo a HMSO (1962) as rochas básicas produzem agregados que possuem maior adesão aos ligantes (binders) do que as ácidas, portanto apresentando maior resistência ao desgarramento ("STRIPPING").

As características petrográficas que mais afetam a resistência à abrasão, são: a dureza e a proporção de minerais duros, a orientação e distribuição dos minerais clivados (cleaved), o tamanho dos grãos, a natureza da ligação intergranular e a facilidade com que os minerais se alteram. As rochas ígneas com quartzo livre apresentam maior resistência à abrasão do que as básicas com alta porcentagem de ferro magnesiano. As alterações químicas tem muita importância, principalmente quando caracterizam a "alteração periférica" que enfraquece a ligação intergranular e permitem que os minerais e núcleos sadios soltem-se. As rochas sedimentares tem sua resistência à abrasão controlada pela mineralogia e ligação entre os grãos. Os quartzitos e Hornfels podem apresentar alta resistência à abrasão devido os tipos mineralógicos e a devida ligação intergranular.

Para facilitar a análise dos tipos rochosos, foram formados grupos que reúnem os tipos rochosos que apresentam qualidades similares, conforme a tabela 39.

GRUPO	LITOLOGIAS
I - BASALTO	Andesitos, basaltos, diabásicos, lamprófiros, traquitos e ofitos
II- SILEX	Hornfels, Chert e silex
III- GABRO	Diorito, gabro, gnaisse básico, peridotito, sienito
IV - GRANITO	Aplito, quartzodiorito, gnaisse, granito, granodiorito, pegmatito
V - ARENITO	Arcósio, arenito (carbonático, ferruginoso, pelitico), grauvacas, tufos vulcânicos, conglomerados

VI- CALCÁREO	Calcáreo, dolomito, marga
VII-PORFIRO	Dacito, quartzo porfiro, riolito
VIII- QUARTZITO	Arenito quartzítico, quartzito, quartzo
IX - XISTO	Xisto, filito, ardósia

TABELA 39: GRUPOS ROCHOSOS DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Salinas et alii (1978),elaboram a tabela 40 que apresenta valores médios de referência para cada grupo rochoso. Estes valores podem ser modificados de forma positiva ou negativa, conforme as características contidas na tabela 41.

GRUPOS DE AGREGADOS / VALORES		BASALTO	CHERT	GABRO	GRANITO	ARENITOS	CALCÁREO	PORFIRO	QUARTZITO	XISTO
PESO ESPEC.NATUR.	g/cm^3	2,830	2,300	2,950	2,685	2,690	2,700	2,740	2,665	2,780
ABSORÇÃO	%	1,000	9,000	0,450	0,600	1,600	0,800	0,800	0,700	0,800
SANIDADE AO SULFATO	%	2,0	15,0	6,0	3,5	8,0	4,5	10,0	2,0	10,0
ABRASÃO LOS ANGELES	%	17,0	17,0	18,0	32,0	30,0	28,0	15,5	26,0	20,0
ESMAGAMENTO	%	13,0	16,0	15,0	22,5	25,5	25,0	13,5	19,0	19,0
POLIMENTO	%	0,49	0,38	0,48	0,50	0,62	0,35	0,49	0,51	0,54

FONTE: SALINAS ET ALII (1978)

TABELA 40: CORRELAÇÕES PETROGRÁFICAS PARA VALORES DE REFERÊNCIA

TABELA 41: RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E PROPRIEDADES DE AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO.

FONTE: SALINAS ET ALII (1978)

PROPRIEDADES / AGREGADOS	CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS					CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS			
	BASALTO	FLINT	GABRO	GRANITO	ARENITO "GRIT STONE"	CALCÁREO	PÓRFIRO	QUARTZITO	XISTO
DENSIDADE	Minerais: -leucocráticos (-) -argilas (-) -serpentinas (-) Textura: -porosidade (-) -fissuras transg (+)	Minerais -opala (-) Textura -porosidade (-) -fissuras abertas (-)	Minerais -leucocráticos (-) -argilas (-) -serpentinas (-) Textura -fissuras transgr. abertas (-)	Minerais -melanocrat. (+) -argilas (-) Textura -fissura transgr. abertas (-)	Minerais -quartzo (-) -argilas (-) Textura -porosidade (-) -fis.abertas (-)	Minerais -quartzo (-) -argilas (-) -dolomita (+) -máficos (+) Textura -porosidade (-) -fissuras abertas (-)	Minerais -melanocr. (+) -argilas (-) Textura -fissuras transgr. abertas (-)	Minerais -máficos (-) Textura -porosidade (-) -fissuras abertas (-)	Minerais -quartzo (-) -feldspatos (-) -máficos (+) Textura -fissuras abertas (-)
ABSORÇÃO DE ÁGUA	Textura -porosidade (+) -fissura transgr. abertas (+)	Textura -porosidade (+) -fissuras abertas (+)	Textura -fissuras transgr. aberta (+)	Textura -fissuras transgr. abertas (+)	Textura -porosidade (+)	Textura -porosidade (-) -fissuras abertas (+)	Textura - fissuras transgr. abertas (+)	Textura -porosidade (+) -fissuras abertas (+)	Textura -descontin. abertas (+)
DESINTEGRAÇÃO POR SULFATO	Minerais -secund. instav. (+) Textura -porosidade (+) -fissuras transgr. abertas (+)	Textura - compacidade (-)	Textura -fissuras transgr abertas (+) Minerais -sem alter. (-)	Textura -fissuras transgr. abertas (+)	Textura -porosidade (+)	Textura -porosidade (+) -fissuras abertas (+)	Minerais -sem altern. (-) Textura -porosidade (+) -fissuras transgr. abertas (+)	Textura -porosidade (+) -fissuras abertas (-)	Minerais -recristalização (-) Textura -isotropia (-)
ABRASÃO LOS ANGELES	Minerais -lábile (+) Textura -grãos fenocr. (+) -fissuras transgr. (+)	Minerais -lábiles (+) Textura -porosidade (+) -fissuras abert (+)	Minerais -lábiles (+) Textura -grãos pnos (-) -anisotropia (+) -fissuras transgr. abertas (+)	Minerais -lábile (+) Textura -grãos pnos (-) -fissuras transgr. abertas (+) -anisotropia (+)	Textura -matriz recimentada (-) -porosidade (-)	Minerais -arenosos (-) -argilosos (-) -dolomita (+) Textura -descontin. (-)	Minerais -lábile (+) Textura -fenocr.gdes. (+) -porosidade (+) -fissuras transgr. abertas (+)	Minerais - não quartzos (+) Textura -grãos pnos (-) -porosidade (+) -fissuras abertas (+)	Minerais -moles (+) Textura -anisotropia (+) -cristais grandes (+) -fissuras abertas (+)
ESMAGAMENTO	Minerais -moles (+) Textura -gdes fenocr. (-) -porosidade (+)	Minerais -moles (+) Textura -descontin. (+)	Minerais -moles (+) Textura -grãos pnos. (-)	Minerais -moles (+) Textura -grãos pnos. (-)	Textura - matriz recimentada (-) -porosidade (+)	Minerais -quartzo (+) -dolomita (-) -argila (-) Textura -descontin. (-)	Minerais -moles (+) Textura -fenocr. grandes (+) -porosidade (+)	Minerais não quartzo (+) Textura -porosidade (-)	Minerais -moles (+) Textura -anisotropia (+) -cristais gdes. (+) -descontin. (+)
POLIMENTO	Minerais -moles e duros (+) Textura -descontin. (+)	Minerais -não silicosos (+)	Minerais -moles e duros (+) Textura -descontin. (-)	Minerais -moles (+) Textura -descontin. (+)	Minerais -homog.cimento/erosão (-) Textura -compacidade (-) -tam. dif. (+)	Minerais -quartzo e não carbonatos (+) -dolomita (+) Textura -porosidade (+) -fissuras abertas (+)	Minerais -moles (+) Textura -descontin. (+)	Minerais -não quartzos (+) Textura -compacidade (-) -tam. deferentes (+)	Minerais -homogen. (-) Textura -descontin. (-) -isotropia (-)

Os materiais rochosos, sejam como fonte de britas, de peças ornamentais ou sob a forma de blocos, podem apresentar fatores limitantes. A seguir, encontram-se os mais comuns:

1- Os materiais rochosos não podem ter como componentes minerais do grupo das zeólitas, assim como a opala (<0,25%), acalcedônia (<3%), a cristobalita, a tridimita, o vidro vulcânico intermediário e o silicoso, o "chert", o jasper e o quartzo tensionado (muito comum em rochas metamórficas), por serem deletéricos, podendo reagir com os álcalis (k_{2o} e Na_{2o}) do cimento ou do ligante e alterar a qualidade do concreto, do pavimento, etc.

2- A resistência mecânica do material rochoso deve ser maior do que será exigido do concreto, pois a britagem tende a diminuir a resistência.

3- A porcentagem de materiais finos (<0,075mm) produzidos pela britagem deve-se ater aos limites:

- concreto com desgaste superficial - < 3%
- outros concretos < 5%

4- Não conter minerais do grupo dos filossilicatos (MICÁCEOS), em porcentagens além do limite dos acessórios.

5- Os mica-xistos, as rochas ígneas vítreas, os argilitos, os siltitos e outras rochas que não pertencem aos grupos anteriores devem ser consideradas inadequadas.

6- As litologias do grupo dos xistos, do silex, dos calcáreos e dos arenitos devem ser analisados com cuidados especiais.

7- Os calcáreos dolomíticos e os dolomitos calcáreos, quando apresentarem minerais argilosos (MARGAS), devem ser evitados por estarem susceptíveis às reações álcalis-carbonato.

8- Os materiais rochosos com porcentagens consideráveis de Na_2O e K_2O, principalmente quando a relação K_2O/Na_2O for alta (>1), devem ser analisados com cuidados especiais, por facilitarem a reatividade.

9- Os materiais rochosos faneríticos, como os do grupo do granito, podem ter sua sanidade avaliada pela medida do pH de abrasão dos feldspatos

10- Os materiais que tem sulfetos (piritas, márcasitas, pirrotitas, calco pirita, sulfatos e cloretos), tolerando-se menos que 1%, não tem seu uso aconselhado como agregado ou como peças ornamentais (tabela 42).

11- Os diabásios , basaltos, gabros e similares, que apresentarem como mineral primário as cloritas, não devem ter seu uso indicado.

A Associação Portuguesa de Betões propõe os seguintes limites de sulfetos nos concretos:

NATUREZA	CIMENTO PORTLAND COMUNS	C. P. POZOLANA	C. P. ALTO FORNO
SIMPLES	0,20 %	0,5 %	0,0 %
ARMADO	0,2 %	0,2 %	0,0 %
PROTENDIDO	0,0 %	0,0 %	0,0 %

TABELA 42:

12- Sauer (apud Henningsen, 1980) observou que os gabros apresentam maiores valores de resistência quanto ao impacto, quando diminui a porcentagem de quartzo e clorita, e aumenta a de feldspatos, piroxênios e anfibólios.

13- As rochas com granulação fina e homogêneas apresentam melhores valores de resistência à deformação e à abrasão do que as grosseiras, mesmo que essas também sejam homogêneas.

14- Segundo Sauer (1976) e Muller (1978), a densidade é uma das melhores propriedades índices para avaliar o comportamento dos materiais rochosos como fonte de agregados.
Cuidados devem ser tomados quando houver minerais de alta densidade, como os óxidos de ferro (olivina, anfibólios e piroxênios) que, mesmo em pequenas quantidades, podem aumentar consideravelmente a densidade média.

15- Além das limitações anteriores, os materiais naturais devem estar dentro dos padrões considerados na tabela 43 (IPT, 1980).

3- ENSAIOS ESTIMATIVOS

São ensaios propostos que possibilitam a estimativa de algumas propriedades dos materiais rochosos.

3.1- O Ensaio de absorção de uma solução a 0,45% de azul de metileno, como proposto por Jones (1964), Sameshima et al (1978) e utilizado por Shayan et alii (1984), pode servir para prever se os materiais apresentarão problemas de contração, quando usados em concretos. Os materiais que absorverem mais do que 1,5 ml/g não devem ser usados como agregados.

3.2- O ensaio de Windsor, (ítem III-6.3), como proposto por Hartley (1974) e Ladeira (1985), auxilia na estimativa da resistência do material rochoso.

3.3- Os resultados obtidos através do ensaio com o esclerômetro de Schmidt podem ser utilizados na previsão da resistência, da alterabilidade e da durabilidade do material rochoso.

3.4- Segundo Hudec (1984), o número petrográfico (PN) é um bom índice para a previsão da durabilidade dos agregados.

FONTE:- IPT (1980)

TABELA 43: CONDIÇÕES LIMITES PARA UTILIZAÇÃO

USO / PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICAS QUE AS ROCHAS DEVEM APRESENTAR PARA QUE SEJAM UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL					
	CONCRETO CIMENTO PORTLAND	PAVIMENTO (MACADAME E CAPA DE ROLAMENTO)	LASTRO FERROVIÁRIO	ENROCAMENTO/RIPRAP		FILTRO
GRANULOMETRIA	0,15mm a 50mm	de pedrisco a 2,5"	de 1" a 2,5"	de 2" a matações		Disfiltro <5 D85 base D85 >2 curvado filtro paralela a da base (maior frag 3")
IMPUREZAS	Reativos <3% Orgânicos <1% Pulvurulentos <5%	Pó de pedra < 2% Argila < 1% Matéria Orgânica< 1%	Pulvurulento <1% Torrões de arg.<0,5% Fragmentos friáveis <5%	<10%	<5%	<5% material 0,074mm argila <0,5% friáveis <5%
MASSA ESPECÍFICA APARENTE	>2,5 g/cm^3	>2,5 g/cm^3	>2,5 g/cm^3	>2,0g/cm^3	>2,5g/cm^3	>2,5 g/cm^3
POROSIDADE APARENTE	<2%	<2%	<2%	<4%	<2%	<1%
ABSORÇÃO DE ÁGUA	<1%	<1%	<1%	<2%	<1%	<0,5%
FORMA MÉDIA DE FRAGMENTO	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica		Cúbica
SANIDADE	<12% com Na_2So_4 <18% com M_gSo_4	<12% com Na_2So_4 <18% com M_gSo_4	<10% com Na_2So_4	<20% com Na_2So_4	<10% com Na_2So_4	<10%
RESISTÊNCIA A ABRASÃO LOS ANGELES	<50% sem superfície de desgaste <40% com superfície de desgaste	<50% base <40% superfície	<40%	<50%	<40%	<40%
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES AXIAL	1000 KPa x 10^2	1400 KPa x10^2	1000 KPa 10^2 (saturado)	ALT. DA BARRAG / RESIS. <20m 280-350/500 20 a 60 350/500-450/600 >60 450/600-600/800		1000 KPa.10^2 (saturado)
RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO	<45% s/superfície de desgaste <30% c/superfície de desgaste	<30%	<20%	<30%	<20%	<20%
RESISTÊNCIA AO IMPACTO TRETON	<45% s/superfície de desgaste <30% c/superfície de desgaste	<30%	<20%	<30%	<20%	<20%

3.5- Tourenq e Fourmaintraux (1974) desenvolveram um "índice de qualidade" (IQ) para a previsão das características dos materiais rochosos. O IQ é obtido através das velocidades de propagação das ondas de choque no material no estágio atual (VLm) e a inicial baseada na composição mineralógica (VLc) e obtida pela expressão seguinte:

$\frac{1}{VLc} = \varepsilon i \frac{Ai}{VLi}$, onde Ai é o teor do constituinte i, caracterizado pela velocidade VLi.

O índice de qualidade é obtido pela relação $IQ = \frac{VLm}{VLc} \times 100$ e pode ser correlacionado com a permeabilidade, conforme dados práticos apresentados pelos autores.

$IQ = 100 - 2Np - 25Nf$, onde

$N = np + nf$, e Nf é a porosidade devido as fissuras e np a porosidade do material.

A seguir, algumas VLc típicas:

ROCHAS	VLc (m/s)
Granitos, riolitos, quartzitos gnaisses, leptinitos	6000
Gabro, basaltos, doleritos, anfibolitos	6500
Calcáreos	6600
Dolomitos	7500

Quanto maior o IQ, melhor a qualidade do material rochoso.

3.6- Schroeder e Vanden Eynde (1978) consideram que as características dos materiais rochosos podem ser estimadas por meio de alguns parâmetros petrográficos.

3.6.1- Parâmetros

1- **Dureza média da rocha** (dmp)

É obtida através da média ponderada das durezas de Vickers dos respectivos minerais (Fourmaintraux, 1970) e é considerado um dos parâmetros mais importantes dos materiais.

2- **Contraste de dureza** (Cd)

Definido por Fourmaintraux (1970) e obtido através da relação $Cd = \sum i\ Ci\ (dvi - dvb)/100$, onde: dvi - dureza de Vickers do mineral i

Ci - porcentagem volumétrica do mineral i

dvb - dureza do mineral mais frequente

3- **Microfissuração** (MF)

O estudo petrográfico não define quantitativamente o índice, mas pode ser obtido através da relação entre os módulos de deformação (Cd) e de elasticidade (Ee), que dependem fortemente das microfissuras.

O índice de qualidade (IQ), definido por Fourmaintraux e Tourenq (1970), pode ser correlacionado pela relação $\frac{Ee - Ed}{Ee} \times 100$ (Scheneider, 1967), sendo que Ee pode ser obtido através da mineralogia pela expressão $\sum i\ Ci\ Ei$, onde:

Ci - porcentagem do mineral i

Ei - módulo de elasticidade do mineral i medidos por Alexandrov'et al (1966).

Schroeder e Vanden Eynde (1978) conclui que quanto maior IQ menor a relação Ee - Ed/Ee.

4- **Dimensão dos grãos** (Dm)

Na avaliação deste parâmetro, duas dificuldades podem surgir:

a-) A heterogeneidade quanto ao tamanho dos grãos.

b-) Os cimentos que ligam os grãos das rochas sedimentares.

Devido a estes problemas, a solução foi a adoção do diâmetro médio.

5- **Elementos petrográficos particulares**
São considerados aqueles que devido as suas características podem alterar as qualidades dos materiais, tais como o cimento ligante dos grãos, orientações preferenciais das micas, descontinuidades, minerais argilosos, etc.

3.6.2 Correlações Entre os Parâmetros

O coeficiente de polimento acelerado (C.P.A.), segundo Fourmaintraux (1970) pode ser associado ao contraste de dureza (Cd) e a dureza média (dmp), conforme a expressão:

$CPA = a + b\ dmp + c\ Cd$, onde os parâmetros a, b e c podem ser observados na tabela seguinte.

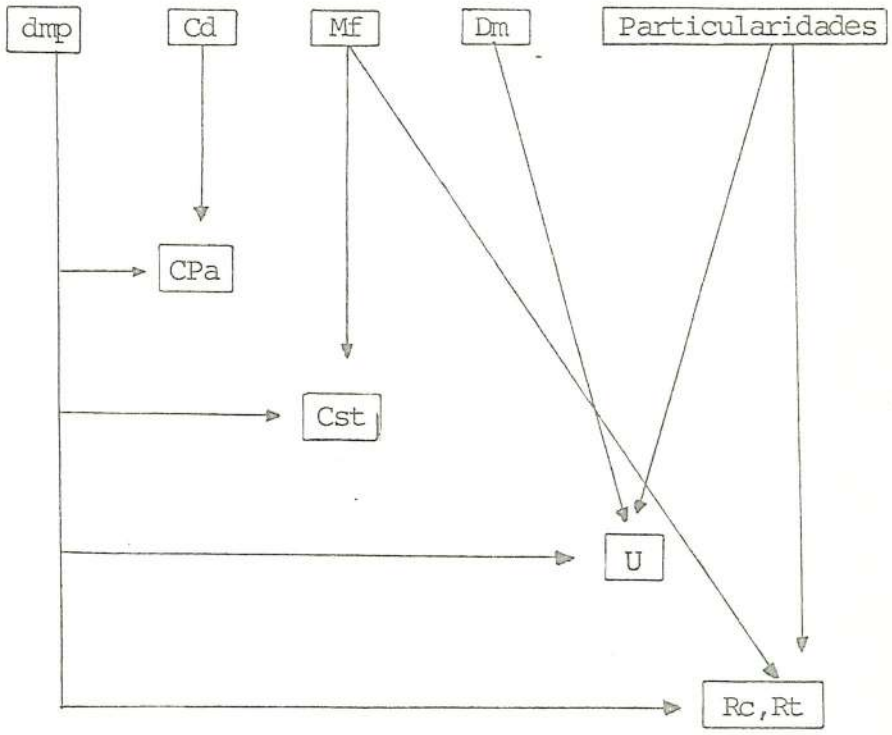
PROPOSTA	a	b	c
Todas as rochas ** (Fourmaintraux, 1976)	30	0,015	0,07
Calcáreos (Toureuq e Archinbaud, 1974)	33,4	0,009	0,062
Pedras belgas * (Schroeder, 1978)	30	0,02	0,03

TABELA 44: PARÂMETROS a,b,e c PARA O CÁLCULO DO C.P.A.

* Para as rochas sedimentares, a proposta belga é a melhor.

** Para as rochas ígneas e metamróficas.

O seguinte esquema representa as relações existentes entre os parâmetros petrográficos e as propriedades.



CPa = coeficiente de polimento acelerado.
U = resistência ao desgaste
Cst = resistência a compressão estática
Rc = resistência a compressão simples
Rt = resistência a tração

↑U	↑dmp		↓Partic	↑Cd
↑CPa	↑dmp		↓Partic	↓Cd
↑Rc,Rt	↑dmp	↓Mf	↓Partic	

4- LATERITAS

As lateritas vem substituindo razoavelmente bem os outros tipos de agregados no caso de concretos e pavimentos que não necessitam apresentar alta qualidade, apesar de ocorrer problemas de reações com os ligantes e a resistência ser inferior aos demais.

Para que o uso seja mais adequado, é necessário conhecer melhor as características genéticas, físicas e geotécnicas das lateritas, ferricretes, silcretes (Grant, 1974), plintitas, calcretes e bauxitas.

Todos estes materiais são formados por processos físico-químicos similares, como a mobilização do ferro, do alumínio, da silica e de outros elementos (substâncias) em solução, com o transporte e precipitação ocorrendo em condições adequadas.

A forma final do produto é função da natureza do material fonte e das condições físicas e climáticas sob as quais foram formadas as soluções.

O termo laterita, para diversos autores, significa todo material endurecido encontrado na superfície e em profundidades que podem chegar a 50m. Todavia, deve-se adotar o conceito dado por Tognon (1985) "materiais secundários", duros, formados pelo intemperismo laterítico, em regiões quentes e úmidas tropicais e subtropicais (lixiviação, precipitação e consolidação), ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Para um melhor entendimento, citaremos os conceitos dados por Lamplugh (1902) para os outros tipos de concreções:

Ferricrete: Conglomerado composto de areias e seixos cimentados por uma massa dura de óxido de ferro e podendo conter óxido de alumínio.

Calcrete : conglomerado de areias e seixos cimentados por uma massa dura de carbonato de cálcio, precipitada por soluções, redepositado através de águas infiltradas ou por escape de dióxido de carbono das águas "vadosas"

Silcrete : conglomerado semelhante ao anterior, cimentado por uma massa dura de sílica.

Plintita : material normalmente constituído de argila e quartzo, rico em sesquióxidos, podendo aparecer sob diferentes formas (muitos a consideram sinonimo de laterita).

Alcrete : segundo Goudie (Apud - Malomo, 1982), são os materiais cimentados por óxidos de alumínio.

Dury (1969) propos uma classificação dos "materiais duros" em termos de composição química e de peso específico natural, como segue:

NOME	COMPOSIÇÃO QUÍMICA ESSENCIAL (FÓRMULA QUÍMICA DOS MINERAIS)
Silítica	SiO_2
Sialítica	SiO_2, Al_2O_3
Ferrosilítica	Fe_2O_3, SiO_2
Ferrosialítica	Fe_2O_3, FeOOH, SiO_2, Al_2O_3, NH_2O, AlOOH
Ferralítica	Fe_2O_3, FeOOH, Al_2O_3, NH_2O, AlOOH
Ferrítica	Fe_2O_3, FeOOH
Ferromanganítica	Fe_2O_3, MnO_2
Tialítica	TiO_2, Al_2O_3, NH_2O
Alítica	Al_2O_3, NH_2O AlOOH

Devido as grandes ocorrências de lateritas no Brasil, serão observadas as principais formas de ocorrência, seguindo-se as definições de Barata (1981):

1- Lateritas brandas (Concreções superficiais)

Endurecidas quando em contato com o ar e de resistência baixa.

2- Couraças lateríticas

São faixas de material onde a concentração de sesquióxidos (Fe e Al) é alta, normalmente devido a eluviação e apresentam altas

resistências; podem ser classificadas como:

- Matação de couraças, com dimensões entre 25 a 100 cm;
- bloco de couraças, com dimensões superiores a 100 cm;
- lajão, camada contínua e extensa, podendo atingir áreas superiores a dezenas de metros e espessuras superiores a 100 cm.

3- **Formas detríticas**

As formas anteriores podem sofrer processos de degradação, originando as seguintes:

- Detritos lateríticos residuais;
- detritos lateríticos coluviais;
- detritos lateríticos sedimentares

4- **Encouraçamento**

Nas regiões onde os processos iluviais são intensos e os materiais primários são ricos em ferro, podem surgir:

- arenitos ferruginosos;
- conglomerados ferruginosos muito resistentes e pesados, com aspecto de "pé de moléque";
- brechas ferruginosas.

Segundo Mahalik e Das (1982), as lateritas podem ser melhores aquíferos do que os materiais arenosos, sendo prejudicadas em função da topografia (nas encostas, os níveis de água sofrem flutuações consideráveis nos meses de seca).

Gidigasu (1970), considerou que taludes com até 4,5 m em lateritas são estáveis com ângulos entre 60 e 80º, mesmo se o material for fracamente endurecido. Para taludes entre 4,5 m e 7,5 m, é aconselhável o uso de ângulos entre 50 e 60º; nos cortes em siltes e argilas lateríticos os ângulos variam entre 50 e 60º, para cortes com alturas maiores.

Bhatia e Hammond (1970) e De Graft Johnson (1972) consideram os seguintes valores limites para a utilização de lateritas como agregados: (Tabela 45).

DENSIDADE (g/cm^3)	ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24hs DE ESTAR SATURADO %	VALOR DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO (AGREGADO) %	VALOR DA RESISTÊNCIA LOS ANGELES %	CLASSE
> 2,85	< 4	< 30	< 40	excelente
2,85 a 2,75	4 - 6	30 - 40	40 - 50	boa
2,75 a 2,58	6 - 8	40 - 50	50 - 60	fraca
< 2,58	> 8	> 50	> 60	pobre

TABELA 45: LIMITES BÁSICOS PARA A UTILIZAÇÃO DAS LATERITAS

5- ELABORAÇÃO DA CARTA DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO

A carta de materiais para construção é a parte final de um processo, que nas etapas anteriores preocupa-se com o levantamento das informações sobre as características dos materiais da região.

Cada etapa é caracterizada pela obtenção de um grupo de informações, que devem ser realizadas concomitantemente com as outras fases do mapeamento geotécnico.

1a. Etapa:

No decorrer do levantamento das informações já existentes, deve-se buscar dados que denotem características, apropriadas para tal fim ou que confirmem o uso atual dos materiais, como a existência de pedreiras, de olarias, de portos de areia, etc.

2a. Etapa

Durante os trabalhos de campo, observações devem ser realizadas sobre os materiais, de tal modo que as características favoráveis ou desfavoráveis sejam registradas.

Os principais trabalhos que devem ser realizados são:

- Levantamentos dos locais onde os materiais estão sendo explorados e observação das principais características mineralógicas, estruturas e descontinuidades.

- Observação nos afloramentos em geral, com o auxílio de lupas ou macroscópicamente, das características citadas nos tópicos III - 5. 6 - 2, (petrográficas, descontinuidades e outras), que podem ser limitantes ou não. No caso de ocorrerem características limitantes, deve-se verificar a extensão dos materiais que as contém e a sua intensidade.

- Execução de ensaios simples que permitem estimar, a possibilidade de uso dos materiais, tal como: o uso do martelo de Schmidt, o ensaio de Windsor, o índice de qualidade (IQ) proposto por Tourenq e Fourmaintraux (1970) e outros.

- Amostragem dos materiais rochosos e inconsolidados que, nas análises anteriores, apresentaram características favoráveis a sua utilização.

3a. Etapa

- Execução de ensaios índices sobre as amostras obtidas anteriormente, tais como: mineralogia, determinação de impurezas, equivalente de areia, granulometria (para os inconsolidados), porosidade, densidade aparente, absorção de azul de metileno, petrográfico detalhado, pH de abrasão (feldspatos) e outros para os rochosos. Após a execução destes ensaios, através de correlações, estimar o comportamento futuro dos materiais.

4a. Etapa

- Execução de ensaios específicos, como o Los Angeles, Treton, absorção de sulfatos e outros que caracterizam, com segurança, os materiais rochosos, porque os inconsolidados já são bem caracterizados nas fases anteriores. Esta etapa deve ser realizada quando o mapeamento geotécnico visar principalmente os materiais de construção ou quando houver condições técnico-econômicas favoráveis.

5a. Etapa

- Deve-se elaborar uma carta que delimite as ocorrências dos materiais que apresentaram boas possibilidades de uso e os locais que são mais favoráveis a exploração.

5.7 CARTA PARA ESTABILIDADE DE TALUDES

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta carta deve retratar principalmente as condições de estabilidade de taludes naturais. Porém, sua premissa básica é fornecer informações sobre o potencial de estabilidade na área, baseando-se nos diversos atributos que a afetam. A análise é feita de maneira a prever problema quanto a escoamentos (rastejos e corridas), escorregamentos (rotacionais, translacionais), quedas de blocos e detritos.

2- ATRIBUTOS

Os atributos que devem ser analisados para prever a potencialidade de cada área foram tratados por diversos autores, tais como: Guidicini e Niéble (1976), Klengel e Schmidt (1974), Fenti et alii (1979), Deuveghele e Polatera (1979), etc.

2.1- Condições Morfológicas

A característica morfológica mais marcante é a declividade que indiretamente influencia a erosão e a umidade do solo, principalmente porque em função dela pode haver variações nas quantidades relativas de água infiltrada e de escoamento, assim como na incidência de radiação solar.
As condições morfológicas dependem de outros fatores, tais como solo, condições hidrológicas, clima e vegetação, qualquer que seja a declividade, pois mesmo próximo a 0° podem ocorrer movimentos de massa.

2.2- Tipo de Material

Normalmente, tem-se que analisar o conjunto rocha e solo, porque podem apresentar diferentes níveis de umidade, densidade e resistência ao cisalhamento. Sendo importante observar, principalmente, a natureza do mesmo e a previsão de sua resistência ao cisalhamento.

Estas características são dependentes das condições estruturais, condições hidrológicas, clima, possível carregamento e atividades antropogênicas.

2.3 Condições Estruturais

Neste ítem, deve-se abordar os seguintes pontos:

1. Alternância dos materiais, sejam solos ou rochas;
2. inclinações das camadas;
3. fraturas, falhas, juntas e acamamentos;
4. intercalações de materiais compressíveis e expansivos ;
5. descontinuidades dos materiais que podem facilitar o movimento e
6. outros dados tectônicos, litológicos e geomorfológicos que poderão interferir diretamente no processo de movimentos de massa.

Estas condições são dependentes dos tipos de materiais, condições hidrológicas, clima e situação tectônica.
A associação deste ítem com o anterior implicará em diversas unidades do material, na formação de superfície de rupturas, no agrupamento de áreas com as mesmas condições, assim como nas condições de movimentos de parcelas do meio físico. Em muitos casos, as condições estruturais e/ou tipo de material são o suficiente para controlar os movimentos de materiais.

2.4 Condições Hidrológicas

Deve-se analisar, dentro deste tópico, os problemas de infiltração de água, movimento da água subterrânea e possíveis fontes de águas evidenciando situações de fraquezas. É o fator que mais atua no problema de instabilidade portanto,qualquer variação no comportamento da água seja em termos de percolação, de capilaridade ou outros, influenciará nas propriedades dos materiais.

Os fatores que influenciam as condições hidrológicas são: tipo de material, condições estruturais, clima, condições morfológicas, cobertura vegetal e atividade antropogênica, atuando de maneira favorável ou desfavorável na relação hidrologia/estabilidade. As condições hidrológicas afetam, principalmente, as condições de resistência do maciço.

2.5 Efeitos Climáticos

Os fenômenos climáticos que afetam o comportamento dos materiais são: a precipitação, a variação de temperatura e os movimentos de ar. Estes fenômenos, em função de suas intensidades, poderão fazer variar as condições de erosão e de umidade, o intemperismo e consequentemente a resistência.

A atuação destes fenômenos climáticos será função do tipo de material, da geometria do local e da cobertura vegetal; porém as variações acentuadas da precipitação afetam primordialmente o comportamento dos materiais.

2.6 Geometria

Considera-se, como parte deste ítem, a forma e a inclinação da encosta. Em termos de forma de encosta, pode-se levar em conta as seguintes classes: côncava, convexa e plana, que associados aos fenômenos estruturais podem ser mais ou menos propícias à instabilidade. As variações na geometria podem afetar diretamente a extensão e inclinação do talude e a facilidade de erosão das encostas, bem como modificar o equilíbrio de tensões existentes.

A geometria é função do tipo de material, das condições estruturais, das condições hidrológicas, do clima, da ação antrópica, da carga e da técnica de escavação.

2.7 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal tem duas funções básicas na estabilidade de taludes, que correspondem à estabilização da superfície e à proteção da mesma.

A variação do tipo de cobertura vegetal pode facilitar ou dificultar a ação erosiva, assim como a umidade dos materiais, alterando as condições de estabilidade dos terrenos.

A existência ou não de vegetação poderá ser um fator decisivo no caso de estabilidade, observa-se que a vegetação depende do tipo de material, das condições estruturais e hidrológica, dos efeitos climáticos e das atividades antrópicas.

2.8 Atividades Antropogênicas

Refere-se à ocupação de determinadas áreas feita pelo homem que, com a sua ação, muitas vezes inadequada, modifica as condições de estabilidade existentes. Na sua ocupação, o homem pode alterar estas condições através da retirada da vegetação original, da remoção da parte superficial dos materiais para fins diversos, assim como pela modificação da geometria da encosta, principalmente quando usa explosivos.

Estas mudanças facilitarão a erosão dos materiais, a diminuição da resistência e alteração de outras propriedades dos materiais, provocando recalques em alguns pontos e outros efeitos que afetarão a estabilidade das áreas.

Estas mudanças poderão ocorrer, mas serão funções do tipo de material, das condições estruturais e hidrológicas e da cobertura vegetal.

2.9 Técnicas Construtivas

Seja no caso de cortes como no de aterro, modo e a velocidade de escavação, a compactação, o sistema de drenagem e a forma de lançamento do material, afetarão as condições de estabilidade.

Os fatores citados afetarão diretamente a pressão neutra, a umidade, o fluxo das águas, os valores de recalques, enfim a resistência e o equilíbrio geral da situação em questão. Todos estes fenômenos poderão ocorrer, mas dependerão do tipo de material, das condições hidrológicas, morfológicas e estruturais, do clima e da geometria.

2.10 Carregamentos

Em função do tipo, a carga (estática ou dinâmica) influenciará estabilidade, podendo alterar as condições de pressão neutra, do fluxo aquoso e dos recalques.

A interferência destas cargas na estabilidade, depende do tipo de material, das condições hidrológicas e das técnicas construtivas.

2.11 Condições Anteriores

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

3- CONCLUSÃO

Destes onze ítens citados, parte ou até um só deles poderá ser o suficiente para alterar a estabilidade, desde que a modificação sofrida pelo mesmo seja acentuada e outras condições não forem grandemente favoráveis à estabilidade.

Quando se observa cuidadosamente, a maioria das informações necessárias à avaliação da estabilidade dos terrenos pode ser obtida através de mecanismos simples, tais como: interpretação de fotos aéreas de diferentes épocas, mapas topográficos existentes, trabalhos de campo com observações superficiais e outras formas de investigação.

As condições hidrológicas, principalmente em termos de movimento em sub-superfície, poderão exigir uso de instrumentação adequada em casos extremos, assim como nas escavações e nos aterros. Em termos de cargas, se forem estáticas ou dinâmicas, afetarão com seriedade as condições de estabilidade dos aterros assim como o grau de compactação. Nos cortes, as condições de drenagem podem influenciar diretamente.

Para o uso em mapeamento geotécnico, deve-se adotar classes básicas que nos darão idéia das condições de cada área do terreno, como a seguir se expõe:

Classe I - **Áreas estáveis** - são assim consideradas aquelas que, numa análise a nível da escala adotada, não apresentam condições naturais inadequadas; todavia, poderão apresentar problemas se algumas ações antropogênicas ferirem grandemente as condições naturais. Deve-se considerar que se houver manutenção das características da área, nenhum prblema ocorrerá em espaço de tempo, necessário a elaboração de novos estudos, quando houver equipe formadas com a finalidade de elaborar mapeamentos geotécnicos para o fim específico.

Classe II - **Áreas preliminarmente estáveis** - são aquelas que em algum ponto ou no seu total, apresentam um dos atributos desfavorável à estabilidade. No processo de ocupação, dever-se-á evitar a sua modificação; além disso, esta condição não deve ser totalmente seletiva ao uso.

Classe III - Áreas potencialmente instáveis - são áreas em que diversos dos atributos naturais são inadequados à estabilidade; e qualquer uso afetará seriamente a estabilidade existente. Esta classe poderá incluir áreas onde somente um atributo é desfavorável a estabilidade, mas ele também afetará o uso da área para qualquer fim, ou seja, qualquer ocupação tornará a área potencialmente instável.

A realização desta carta é aconselhável entre as escalas 1:50 000 e 1:10 000, porém, pode ser realizadas entre 1:100 000 e 1:10 000 sem maiores problemas para áreas extensas é onde os documentos (mapas, fotos aéreas) estão em escala compatível.

Nas áreas que forem mapeadas na classe I, mas que poderão ser ocupação rapidamente, e nas classes II e III, é aconselhável a execução de mapeamento geotécnico adotando uma metodologia similar a ZERMOS (FRANÇA). Nelas devem ser tracadas as diretrizes fundamentais, a fim de que a ocupação não interfira na estabilidade das encostas.

5.8 CARTA PARA OBRAS ENTERRADAS

1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Pode se considerar como obra enterrada toda aquela que parcial ou totalmente esteja em contato com os materiais do meio-físico (rochas, solos e águas), como as tubulações, cortinas de vedação, fundações, canais, muros, etc.

A carta elaborada deve refletir a existência de fatores que podem alterar os custos e a qualidade dos materiais usados nas obras,como o concreto, os metais (ferro, aço, etc...), as mantas texteis, etc.

2- FATORES À CONSIDERAR

Os fatores considerados a seguir, devem ser analisados de maneira qualitativa e/ou semi-quantitativa, através de trabalhos de campo, de equipamentos e ensaios laboratoriais simples.

2.1 Profundidade e Características do Substrato

A profundidade do substrato rochoso afeta diretamente o custo de execução das obras, quando as escavações forem necessárias.

Segundo Turner e Colfman (1973), a colocação de tubulações, dificilmente ocorre à profundidades maiores que 5m.

Além da profundidade, é necessário conhecer as características litológicas e estruturais para melhor escolher os equipamentos adequados à escavação.

As características litológicas e estruturais podem afetar a as obras através de diversas situações, tais como:

- As obras podem sofrer deslocamentos devido às zonas de fraqueza do material rochoso;
- podem ocorrer reações químicas entre os materiais que compõem as rochas e os das obras;
- as águas que percolam os materiais rochosos podem ser contaminadas com materiais químicos que irão reagir com as substâncias que compõem os materiais das obras, modificando as características de durabilidade e de resistência dos mesmos.

2.2 Materiais Inconsolidados

A obra pode estar localizada integralmente no meio destes materiais e em contato direto.

O tipo de material inconsolidado pode trazer problemas durante as escavações, como por exemplo se matações e blocos fizerem parte do mesmo.

Materiais texturalmente diferentes provocam mudanças no nível de água e na zona de aeração, provocando alterações nos concretos e metais, devido as diferentes condições reinantes.

Camadas compressíveis ou expansivas abaixo do nível inferior (base) da obra podem provocar recalques não assimilados, desvios nas tubulações e pressões excessivas nas paredes das obras, ou mesmo em outras posições em relação a obra.

Os materiais inconsolidados ricos em sulfatos de magnésio e de sódio, principalmente os pantanosos, podem produzir gás carbônico e ácidos minerais e orgânicos que atacam os concretos e os metais. Tais materiais, quando argilosos, podem conter sulfetos de ferro, que normalmente reagem com os concretos e metais.

Segundo Bauer (1979), os materiais inconsolidados com pH < 7 e contendo sais dissolvidos, facilitam consideravelmente os processos de corrosão; quando ricos em ácidos minerais e bases fortes, facilitam a lixiviação dos concretos. Os seguintes valores-limites de agressividade dos solos sobre os concretos, devem ser respeitados, segundo Bauer (1979).

ENSAIOS	INTENSIDADE DA AGRESSIVIDADE	
	FRACA	FORTE
Grande acidez, segundo Bauman - Gully	> 20	
Sulfatos* ($So_4^{=}$) em mg/kg de solo seco no ar	2000 a 5000	> 5000

* quando o teor de sulfato for superior a 3000 mg $So_4^{=}$/kg de solo seco ao ar, deve ser usado cimento de alta resistência ao sulfato.

2.3 Águas

Os materiais que compõem as obras, podem sofrer modificações em função das variações do nível de água e da sua composição química. A profundidade e variações do nível de água traz dois problemas para as obras enterradas:

- Durante a escavação, pode haver necessidade de bombeamento;
- poderá expor a obra em contato com a zona de aeração por períodos intermitentes, o que facilitará a oxidação e corrosão dos metais e mesmo facilitar a alteração dos concretos.

As águas com pH < 7 e concentração de sais maiores que 1000 mg/l, favorecem a corrosão. Segundo a Associação alemã das fábricas de cimento (apud Bauer, 1979), as águas podem agir sobre os materiais com intensidades diferentes em função das concentrações, como se observa a seguir:

GRAUS CONDIÇÕES	INTENSIDADE FRACA	FORTE	MUITO FORTE
P.H	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
Amônio (NH_4^+) Mg/l	15 - 30	30 - 60	> 60
Magnésio (Mg^{+2}) Mg/l	100 - 300	300 - 1500	> 1500
Sulfatos ($So_4^=$) Mg/l	200 - 600	600 - 2500	> 2500
Ácido Carbônico dissolvido em cal Co_2 (Mg/l)	15 - 30	30 - 60	> 60

A produção de materiais que provocam expansão em concretos é favorecida quando as obras estiverem em contatos com meios ricos em sulfatos de Ca, Mg e alcalino, ou em sulfato de ferro, porém em condições de baixa acidez.

A corrosividade pode ser diferencial quando as obras estiverem em contato com materiais que possuem características diferentes e sob excesso de umidade.

A baixa resistividade elétrica auxilia no processo de corrosão e, segundo Hunter et alii (1966), as seguintes condições devem ser consideradas, no caso de proteção contra corrosão:

- Uso de anodo de ZN em obra com vida útil prevista de até 30 anos e para solos com resistividade de menor que 1500 ohms/cc;
- para solos com resistividade maior que 1500 ohms/cc, os anodos de Mg são recomendados.

Segundo Bouwer (1978), a corrosão pode ser causada quando existem diferentes potenciais elétricos em contato com a obra, sendo que duas situações predominam:

- águas subterrâneas com concentrações químicas variando com a profundidade, agindo em termos de grandes extensões, e
- quando houver pequenos poros ou quebras nos metais que permitem a entrada de água com taxa de oxigênio diferente do fluxo geral, haverá condições para a existência de potencial elétrico.
  Estes poros ou pequenas quebras nos metais são pontos de início dos processos corrosivos.

As mantas geotexteis (bidim) são confeccionadas pelas seguintes fibras, poliamida, polipropileno e poliéster, na tabela 47 seguinte é possível observar algumas características destes materiais.

Nos Estados Unidos, os seguintes limites em termos de concentração de sulfatos nas águas e nos solos, são considerados:

GRAU DE ATAQUE	TEOR EM SULFATO NA ÁGUA (mg $So_4^{=}$/LITRO)	TEOR DE SULFATO SOLÚVEL NA ÁGUA PRESENTE E NO SOLO (% $So_4^{=}$)
Agressividade nula	0 - 150	0 - 0,1
Agressividade fraca	150 - 1000	0,1 - 0,2
Agressividade forte	1000 - 2000	0,2 - 0,5
Agressividade muito forte	> 2000	> 0,5

TABELA 46: CONCENTRAÇÃO DE SULFATO

As águas podem ser analisadas em termos de agressividade, tendo como base a tabela 48 proposta por Bauer (1979), que é adotada pela CETESB-SP.

TIPOS MAIS COMUNS DE FIBRAS	RESISTÊNCIA ESPECÍFICA (N/tex)	EXTENSÃO NA RUPTURA (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE ESP. (N/tex)	MICRO ORGANISMOS	ÁCIDOS	BASES	ULTRA VIOLETA	OBSERVAÇÕES
POLIAMIDA	0,75	25	6	XX	X	XX	X	- alta resistência à abrasão - boa resistência química - sensibilidade à agua - baixa combustibilidade
POLIPROPILENO	0,55	50	2	XX	XX	XX	X	- ótima resistência química - bastante susceptível à fluência - facilmente inflamável
POLIÉSTER	0,75	15	14	XX	XX	X	XX	- boa resistência aos solvente e ácidos - sensível às bases de pH > 11 - módulo de elasticidade elevado - pequena susceptibilidade à fluência - pequena variação do comportamento mecânico com a temperatura (T < 200ºC) - baixa combustibilidade

1tex - massa (g) de 1km da fibra; X - resistência média; XX - resistência boa.

FONTE: Rocha, (1985)

TABELA 44 : CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS PRINCIPAIS FIBRAS QUE SÃO USADAS EM GEOTÊXTEIS.

FONTE: BAUER (1979)

TABELA 45: AGRESSIVIDADE DA ÁGUA DEVIDA A SUBSTÂNCIAS DISSOLVIDAS (TGL 11357)

AGRESSIVIDADE DA ÁGUA		A AÇÃO PRINCIPAL: Hidrólise dos compostos cálcios do concreto e lixiviação				B AÇÃO PRINCIPAL: reações químicas e fissuras AÇÃO SECUNDÁRIA: deslavado c/formação de			C						
		RESÍDUO DE EVAPORAÇÃO				ETRICITA E GESSO	GESSO ETRINCITA	GESSO $MG(OH)_2$ SAIS AMÔNICOS	AÇÃO ÁCIDA TROCA IONICA			TROCA IÔNICA AÇÃO ÁCIDA			
		RESÍDUO DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA FILTRADA mg/l	PRESENÇA SIMULTÂNEA DE CARBÔNICO AGRESSIVO E pH		TEOR DE CaO mg/l	(mg/l SULFATOS SO^{2-} ACOMPANHADOS DE			pH	AGRESSÃO DO CARBÔNICO À CAL CO_2 AGRESSIVO		Mg^{++} mg/l Magnésio	AMÔNIO NH_4^+ mg/l		SULFATOS SULFOROSOS $S^=$ mg/l
						Mg^{++} < 100 mg/l NH_4^+ < 100 mg/l		Mg^{2+} > 100mg/l NH_4^+ 100mg/l		CO_2 AGRESSIVO mg/l	DUREZA DE CARBONATOS GRAUS ALEMÃES		PARA NO_3^- < 150 mg/l	PARA NO_3^+ > 150 mg/l	
			CO_2 Mg/l	pH		Cl^- < 1000mg/l	Cl^- > 1000mg/l								
I	NULA	> 150	-	-	> 100	< 200	< 250	< 100	> 6	< 10	> 2,0	< 100	< 100	< 50	< 1
II	DEBILMENTE AGRESSIVA	150 a 50	0 a 5	> 6	100 a 50	200 a 350	250 a 400	100 a 200	6,0 a 5,5	< 10 10 a 40	0,2 a 2,0 > 2,0	100 a 150	100 a 150	50 a 100	1 a 10
III	AGRESSIVAMENTE MÉDIA	150 a 50	> 6	< 6	< 50	350 a 600	400 a 700	200 a 350	5,5 a 5,0	< 10 10 a 40 40 a 90	< 0,2 0,2 a 2,0 > 2,0	150 a 250	150 a 250	100 a 150	> 10
IV	FORTE AGRESSIVAMENTE	< 50	0 a 5	> 5,5	-	600 a 1200	700 a 1500	350 a 600	5,0 a 4,0	10 a 40 40 a 90 > 90	< 0,2 > 2,0 SEJA QUALQUER DUREZA	250 a 500	250 a 500	150 a 250	-
V	FORTEMENTE AGRESSIVA	< 50	> 5	< 5,5	-	> 1200	> 1500	> 600	4,0 a 3,0	-	-	> 500	> 500	> 250	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

5.9- CARTA PARA IRRIGAÇÃO

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

A proposta para elaboração de uma carta de irrigação, visa atingir três objetivos básicos:

- Delimitar áreas com condições morfométricas adequadas;
- verificar se os materiais do meio-físico são adequados, assim como se existe água em volume suficiente e com qualidade dentro dos padrões de utilização e
- fornecer ao usuário conhecimentos preliminares sobre as áreas potencialmente irrigáveis.

A carta deve ser elaborada considerando os atributos que limitam as formas de irrigação, os pertinentes aos materiais inconsolidados e que podem limitar a irrigação e os relacionados às águas.

As principais formas de irrigação são:

- subsuperficial
- superficial
- aspersão e por gotejo

1- Irrigação Subsuperficial

Esta forma pode ser executada através de condições naturais ou artificiais.

1.1.- Condições naturais

Ocorre através da elevação do lençol freático e para sua implantação é necessário que:

- A camada de material impermeável esteja entre 1,8 e 2,5m da superfície;

- o material inconsolidado deve possuir boa permeabilidade horizontal para garantir o movimento lateral das águas;

- a superfície do terreno deve ser a mais plana possível.

1.2.- Condições artificiais

É realizada por meio de tubos perfurados, que são colocados a profundidade que interessa ao projeto. As condições (1.1.), devem ser mantidas.

As irrigações subsuperficiais podem trazer problemas de salinidade, portanto devem ser evitados os solos que apresentam tendências a salinização.

2- IRRIGAÇÃO SUPERFICIAL

2.1.- Por sulcos

A irrigação ocorre por meio da infiltração a partir do sulco e deve se ter cuidados com os solos potencialmente erodíveis.

2.1.1.- Sulcos ordinários

Para terrenos planos, com declividade de menor que 1%, sendo considerada ótima quando entre 0,1% e 0,3%.

2.1.2.- Sulcos em contôrno

Quando tendem a acompanhar níveis, sendo exigidas as seguintes condições:

- A declividade do terreno deve estar entre 2 e 25%, é preferível quando menor que 8%;

- os sulcos devem ser traçados com declividade entre 0,5 e 1,5%

OBS:

- Qualquer que seja a forma de sulco, deve-se evitar áreas com declividade variada, para que não ocorra encharcamentos em alguns locais e deficiências em outros.

- O comprimento do sulco deve ser tal que não haja perda de água e que não ocorra erosão. Diversos autores propõem os seguintes comprimentos:

- solos pouco arenosos	100 a 150m
- solos arenosos	60 a 80 m
- solos muito arenosos	40 a 45 m

Quackenbush et alii (Apud Daker, 1973), propõem diferentes valores médios de capacidade de infiltração, para os diferentes materiais inconsolidados; são dados que devem ser utilizados apenas de forma preliminar

MATERIAL INCONSOLIDADO	CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO (l/s.m)
TEXTURA FINA	
argila densa	0,000 a 0,002
argila limosa à argila	0,001 a 0,004
barro argiloso a barro limoso	0,002 a 0,004
TEXTURA MÉDIA	
barro limoso a barro	0,002 a 0,006
TEXTURA MODERADAMENTE GROSSA	
barro arenoso fino a barro arenoso	0,003 a 0,020
TEXTURA GROSSA	
areia limosa fina a areia limosa	0,010 a 0,030

TABELA 49 : CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO

2.1.3.- Corrugação

É executada por meio de sulcos rasos e próximos, exigindo terrenos planos, preferivelmente com declividade entre 0,4 e 8%, sendo porém exequível até 12%, quando os sulcos forem perpendiculares à declividade. Apresenta bons resultados em terrenos irregulares e exige menor vazão do que os outros tipos de irrigação por sulcos.

2.2- Inundação

A irrigação por inundação aplica-se a terrenos com as seguintes características:

- Declividade menores que 2,5%, preferencialmente inferiores que 0,5%;

- materiais impermeáveis a pequenas profundidades; < 2m.

2.2.1- Transbordamento

É executada em terrenos que apresentam declividade de no máximo 12%, e solos rasos, que não podem ser nivelados (aplainados).

2.2.2- Escoamento superficial

Os terrenos devem apresentar declividades máximas de 1,5%, sendo adequadas entre 0,2 e 0,4%.

2.2.3- Bacias de submersão

Os terrenos devem ter, no máximo, declividade de 1% e os diques devem ser nivelados; normalmente provocam a lixiviação dos sais.

3- ASPERSÃO E GOTEJO

São formas de irrigação de alto custo, que não apresentam problemas com a declividade.

As limitações são decorrentes das características das águas, dos solos e do fator econômico.

4- FATORES A SEREM CONSIDERADOS

4.1. Declividade

Os terrenos devem ser analisados considerando as limitações dos tipos de irrigação e as classes definidas na carta de declividade.

4.2. Suscetibilidade à erosão

A análise deve ser feita com base nas condições exigidas pela carta que retrata o potencial de erodibilidade dos terrenos.

4.3. Evapotranspiração

Este atributo não é limitante em termos de classificação dos terrenos, mas muito considerado pelos agrônomos nos cálculos de vazões, de infiltração e do consumo exigido pela cultura em desenvolvimento. Os valores podem ser medidos através de diversos sistemas, ou obtidos através dos métodos propostos por Thorh Waite (1948), Olivier (1961), Blaney Criddle (1947) e Idso et al (1975).

4.4. Qualidade e quantidade das águas

O volume pode ser fundamental para o projeto, portanto precisa ser avaliado com muita segurança. As águas devem estar qualificadas conforme os dados e volumes limites estipulados nas tabelas 65,66,67 e 70

5- CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS (SOLOS)

A avaliação dos solos será baseada nas condições citadas e utilizadas com modificações no Brasil por Lemos et alii (1970) e IPT (1981).

Para cada atributo, os limites para as classes nula, ligeira, moderada, forte e muito forte, devem ser previamente conhecidos.

Os atributos são divididos em dois grupos:- os de diagnósticos e os ambientais.

5.1. Diagnósticos

a- TEXTURA

Influencia na retenção da umidade, na permeabilidade, na troca iônica e nas condições de arabilidade.

Nula

Solos com textura média e quando friáveis.

Ligeira

Solos com textura argilo-arenosa e argilosa, quando friáveis e com minerais argilosos do tipo 1:1 com sesquióxidos.

Moderada

Solos arenosos muito friáveis ou argilosos pouco friáveis com minerais de argila do tipo 2:1.

Forte

Areias siltosas ou argilosas, muito firmes e com minerais de argila do tipo 2:1.

A textura deve ser observada tanto em superfície quanto em subsuperfícies.

b- PROFUNDIDADE EFETIVA

É a profundidade que as raízes podem atingir e onde há armazenamento de água, sendo necessário que elas não sofram interferências.

Nula

Quando o problema estiver a mais de 120 cm da superfície.

Moderada

Quando o problema estiver entre 80 e 120 cm de profundidade.

Forte

Quando o problema estiver entre 40 e 80 cm.

Muito Forte

Quando o problema esta a menos de 40 cm.

c- ALCALINIDADE

Representada pela porcentagem de sódio trocável no solo, caracteriza um estado de toxidez e a intensidade pode ser obtida pelo pH e porcentagem do Na trocável.

Nula

Sem problemas de alcalinidade , o sódio trocável é menor que 5% do complexo.

Ligeira

O pH é menor que 8,5 (caso não seja calcáreo) e o sódio trocável é menor que 10% do complexo.

Moderada

O pH é menor que 9,0 e o sódio trocável está entre 10 e 15% do complexo. São condições que afetam o crescimento das plantas.

Forte

O pH é maior que 9,0 e o sódio trocável é maior que 15% do complexo.

d- TRANSIÇÃO

Retrata as formas de ocorrências de mudanças no perfil, entre a parte superficial e subsuperficial, principalmente em termos de textura, estrutura, porosidade e consistência. Tais condições afetam a permeabilidade e a drenagem, assim como o crescimento das plantas.

Nula

A transição é gradual ou difusa em todo o perfil.

Moderada

As transições podem ser claras ou abruptas e não limitam o crescimento das raízes. Se as transi - ções forem abruptas e limitantes ao desenvolvi - mento das raízes e estão a profundidades maiores que 40 cm.

Forte

As transições são claras ou abruptas e o horizon te subsuperficial, limita o desenvolvimento das raízes e está a menos de 40 cm de profundidade.

e- ÁGUA

A infiltração das águas deve ser estimada por meio de comparações, tanto no sentido vertical quanto no horizontal.

Nula

Taxa de infiltração entre 2 a 6,4 cm/h.

Moderada

Taxa de infiltração entre 0,5 e 2 cm/h ou 6,4 a 12,7 cm/h.

Forte

A taxa de infiltração entre 0,1 e 0,5 cm/h ou 12,7 e 25,4 cm/h.

Muito Forte

Para os solos impermeáveis ou muito permeáveis (k>25,4 cm/h.

f- DRENAGEM

A deficiência da drenagem interna ou externa é altamente prejudicial para as raízes.

Nula

Solos bem drenados aexcessivamente drenados e sem excesso de águas.

Ligeira

Solos moderadamente drenados e que podem ser drenados sem grandes investimentos.

Forte

Solos mal drenados com dificuldades para serem drenados em função das áreas adjacentes e sempre exigindo grandes custos.

Muito Forte

Solos mal drenados e que não permitem drenagem por diversas razões.

g- FERTILIDADE

A fertilidade do solo é função da capacidade de troca catiônica e a saturação em bases. Para áreas extensas, a avaliação da fertilidade torna se onerosa e deve ser estimada através de outras propriedades índices.

Nula

Boas reservas de nutrientes e sem substâncias tóxicas.

Cálcio	5 meq/100g de solo
Potássio	60 ppm
Alumínio	< 2 meq/100g de solo
Fósforo	12 ppm para solos argilosos
	30 ppm para solos arenosos
Bases permutáveis	8 meq/100g de solo
Saturação de bases	> 70%
Matéria orgânica	5% ou mais

Ligeira

Pode apresentar limitações, devido algum elemento ou toxidez.

Cálcio	2-5 meq/100g de solo
Potássio	40-60 ppm
Fósforo	8-12 ppm para solos argilosos
	20-30 ppm para solos arenosos
Bases permutáveis	4 a 8 meq/100g de solo
Saturação de bases	50 a 70 %
Matéria orgânica	2,5 a 5%
Alumínio trocável	2 meq/100g de solo

Moderada

Alguns nutrientes podem estar em quantidades não satisfatórias e elementos tóxicos podem estar presentes em quantidades razoáveis.

Cálcio	2 meq/100g de solo
Potássio	40 ppm
Fósforo	4-8 ppm para solos argilosos
	10-20 ppm para solos arenosos

Bases permutáveis	2-4 meq/100g de solo
Saturação de bases	30 - 50%
Matéria orgânica	1 - 2,5%
Alumínio trocável	2-4 meq/100g de solo

Forte

Os nutrientes encontram-se em quantidades pequenas e os elementos tóxicos estão em quantidades consideráveis.

Cálcio	2 meq/100g de solo
Potássio	40 ppm
Fósforo	4 ppm para solos argilosos
	10 ppm para solos arenosos
Bases permutáveis	2 meq/100g de solo
Saturação de bases	30%
Alumínio trocável	4 meq/100g de solo

5.2. Ambientes

a- TAMANHO

Refere-se à extensão mínima que poderá ser irrigada por um sistema.

Nula

A dimensão mínima é de 120 m e a área mínima é de 3,6 ha.

Ligeira

A dimensão mínima é de 90 m e a área mínima é de 2,4 ha.

Moderada

A dimensão mínima é de 50 m e a área mínima é de 1 ha.

Forte

Situações com condições inferiores as anteriores.

b- PEDREGOSIDADE

É um atributo que retrata a quantidade de seixos e de restos de rochas que ocorrem no perfil do solo, próximo a superfície e que prejudica o uso de equipamentos agrícolas.

Nula

Quando não apresentam problemas de pedregosidade e a rochosidade chega até no máximo de 2% em área.

Ligeira

Não há presença de materiais rochosos, que dificultam o uso de máquinas.
A rochosidade varia entre 2 e 10% e distanciadas entre 35 e 100m se pequena ocorrência a porcentagem pode ser menor do que 2%.

Moderada

A quantidade de materiais rochosos atrapalham ligeiramente o uso de máquinas agrícolas e a rochosidade varia entre 10 e 25% e distanciadas entre 10 e 15 metros ou em menor porcentagem se for muito disseminada.

Forte

A quantidade de material rochoso impede o uso da maioria das máquinas agrícolas, a rochosidade varia entre 25 e 50% e distanciadas entre 3,5 e 10 m, a porcentagem pode ser menor se a pedregosidade for disseminada.

Muito Forte

A quantidade de pedras impede o uso de qualquer máquina agrícola e se a rochosidade for maior que 50%

c- RISCO DE INUNDAÇÕES

Reflete a frequência e a duração em que a área considerada está sujeita ao fenômeno.

FREQUÊNCIAS	OCASIONAL	intervalos maiores que 5 anos
	FREQUENTES	intervalos entre 1 e 5 nos
	ANUAIS	1 ou mais vezes por ano
DURAÇÕES	CURTAS	menos do que 2 dias
	MÉDIAS	2 dias a 1 mês
	LONGAS	mais de 1 mês

Nula

Não há problemas de inundação.

Ligeira

Inundações ocasionais e curtas

Moderada

Inundações frequentes, curtas ou médias.

Forte

Inundações anuais, médias ou longas.

Muito Forte

Os terrenos permanecem inundados por muito tempo.

d- COMPLEXIDADE DAS ASSOCIAÇÕES DE SOLOS

Representa a mistura de classes de solos com características diferentes.

Nula

Não apresenta inclusões de solos com condições inadequadas a irrigação.

Ligeira

Há inclusão de 10% da área com solos inadequados

Moderada

Quando há inclusão ou associação entre 10 e 30% da área com solos inadequados a irrigação

Forte

A associação pode chegar até 10% da área com solos inadequados a irrigação ou inclusão de 10 a 20% com solos da classe 6.

e- UNIFORMIDADE

Considera as variações que ocorrem nos atributos que condicionam o tipo de irrigação.

Nula

Terrenos totalmente uniformes e que não apresentam variações nos atributos que influenciam nos tipos de irrigação.

Moderada

Apresenta variações nos atributos com exceção da declividade.

Muito Forte

Existe na associação solos da classe 6 e não é possível a irrigação.

f- SALINIDADE

Refere-se às concentrações de sais que interferem no uso das terras.
O grau de salinidade pode ser avaliado através da condutividade elétrica do extrato de saturação (millmhos por cm). Os sais solúveis mais comuns são os cloretos e sulfatos de sódio, cálcio e magnésio. Normalmente, os sais concentram-se nas camadas mais superficiais e ocorrem em climas áridos e semi-áridos, assim como pela ação do fluxo capilar ascendente quando superior ao descendente.

A concentração de sais é muito comum nas baixadas, por receberem águas de outras regiões. Os solos são considerados salinos quando apresentam condutividade elétrica acima de 4mmhos/cm a 25ºC

e normalmente o solo salino apresenta saturação elevada de sódio (>15% de Na^+).

Nula

Solos com condutividade elétrica menor que 2mmhos/cm, não afeta o desenvolvimento das plantas.

Ligeira

A condutividade elétrica do solo está entre 2 e 4 mmhos/cm e só prejudica plantas muito sensíveis.

Moderada

A condutividade elétrica do solo varia entre 4 e 8 mmhos/cm e mesmo as plantas mais tolerantes sofrem com estas concentrações .

Forte

A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo varia de 8 a 15 mmhos/cm e prejudica consideravelmente qualquer tipo de planta.

Muito Forte

A condutividade elétrica é superior a 15 mmhos/cm e poucas plantas conseguem se desenvolver nestas condições.

Nas tabelas 50 pode-se observar valores limites em termos de classificação dos solos.

TABELA 50. OS VALORES LIMITES FORAM PROPOSTOS PELA U.S. SALINITY LAB. STAFF (1954).

DENOMINAÇÃO	NOME VULGAR	C.E. MMHOS/CM	P.S.I.	pH	RECUPERAÇÃO
Salino	álcalino branco	> 4	< 15	⩽ 8,5	lixiviação dos sais
Salino alcalino ou salino sódico		> 4	>15	próximo a 8,5	aplicação de corretivos e lixiviação
Alcalino ou sódico	alcalino negro	< 4	>15	em geral de 8,5 q 10	aplicação de corretivos e lixiviação
Normais ou não salinos		< 4	<15	.4 a 8,5	

C.E. - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

P.S.I. - PORCENTAGEM DE SÓDIO INTERCAMBIÁVEL

5.3. Outros atributos limitantes

a- TEXTURA ARENOSA

Predominante em toda a extensão a ser irrigada, seja na vertical ou horizontal.

b- CARÁTER VÉRTICO

Os solos com predomínio de argilo-minerais expansivos apresentam problemas por serem duros e fendidos quando secos e expansivos e pegajosidade quando úmidos, dificultando o trabalho.

VOLUME II

III - PROPOSTA METODOLÓGICA

Condições Básicas que Orientam a Elaboração da Proposta Metodológica 22

1- Introdução..... 22

- Porque os Mapas Geotécnicos..... 22
- Viabilidade da Metodologia..... 22
- Uso do Mapeamento Geotécnico..... 22
- Mapeamento Geotécnico..... 23

2- Usuários mais Comuns e suas Necessidades..... 2

3- Classes de Documentos Utilizados..... 2
- Mapas Básicos Fundamentais..... 2
- Mapas Básicos Opcionais..... 2
- Mapas Auxiliares..... 2
- Cartas Derivadas ou Interpretativas..... 2

4- Classificação dos Documentos..... 2
- Escala..... 2
- Finalidade..... 2
- Forma (maneira) de Apresentação das Informações..... 2
- Mapeamento Geotécnico em Escalas entre 1:100 000 e 1:250 000 2

5- Cartas Derivadas ou Interpretativas..... 2
- Atributos x Uso x Obtenção..... 2
- Carta para Erodibilidade..... 2
- Carta para Fundação..... 2
- Carta para Escavabilidade..... 2
- Carta para Deposição de Rejeitos Sépticos..... 2
- Carta de Materiais para Construção..... 3
- Carta para Estabilidade de Taludes..... 3
- Carta para Obras Enterradas..... 3
- Carta para Irrigação..... 3
- Carta para Obras Viárias..... 3
- Carta de Restrições Ambientais..... 3
- Carta para Orientação (Zoneamento)..... 3

c- CARÁTER TIOMÓRFICO

É relativo a concentração de sulfetos e sulfatos em áreas que ficam encharcadas temporariamente ; quando drenados, os sulfetos oxidam e formam ácido e o pH é sempre menor que 3,5.

d- Nos cálculos do volume necessário de água para a irrigação, é necessário considerar:

- Estática da água no solo;
- ponto de murchamento;
- porosidade e dinâmica hídrica dos solos;
- porosidade e tensiometria do solo

6- FORMAÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS PARA IRRIGAÇÃO

CLASSE 1

Deve conter os terrenos com limitações nulas, com exceção da fertilidade em que é aceito o grau ligeiro.

CLASSE 2

a- Os solos que, em qualquer característica diagnóstica, apresenta um grau ligeiro.

b- Quando os outros atributos não forem limitantes, a profundidade efetiva, a transição e a fertilidade podem apresentar grau moderado.

c- Quando o solo apresentar mais de uma limitação ligeira, deve ser colocado em classe inferior.

CLASSE 3

a- Os solos que apresentam pelo menos um grau moderado, exceto a profundidade efetiva e a fertilidade que com o grau forte já o colocam neste nível.

b- Quando mais de um grau moderado estiver presente, ou um moderado combinado com ligeiros, o solo deve ser colocado em classe inferior.

CLASSE 4

Uma única limitação forte, com exceção da profundidade efetiva e da fertilidade, é o suficiente para colocar um solo nesta classe.

CLASSE 5

Reservada aos solos que apresentam potencial para irrigação, mas dependem de estudos posteriores.

CLASSE 6

Uma única limitação muito forte coloca os terrenos nesta classe.

7- OBSERVAÇÕES

1- Quando os terrenos forem classificados em condições inferiores a classe 1, os mesmos devem estar acompanhados de símbolos que indicam o atributo limitante, como exemplo: classe 2 sd; as letras s e d, significam limitações em termos de:

- Solos (S)

  Profundidade efetiva, textura, fertilidade, transição, erosão, salinidade e alcalinidade.

- Drenagem (d)

  Permeabilidade, drenagem interna e externa, riscos de inundações.

2- A análise dos solos, para fins de irrigação, é baseada nos atributos anteriores e duas condições devem ser observadas:

1- Um único atributo pode ser o suficiente para inviabilizar o projeto.

2- Alguns atributos, em função da intensidade da limitação, podem ser corrigidos, tornando a área irrigável.

5.10- CARTA PARA OBRAS VIÁRIAS

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

A carta elaborada para esta finalidade deve apresentar e registrar as informações que podem afetar técnica e economicamente a execução das obras, devendo ser utilizadas nas fases de planejamento regional, inventários e de anteprojeto.

As informações consideradas de interesse foram divididas em três grupos, sendo relativas

- ao traçado;
- ao subleito e
- aos aterros (sub bases, reforços, etc...)

2- ATRIBUTOS CONSIDERADOS

2.1. Traçado

O traçado das rodovias e ferrovias são condicionados basicamente pelos seguintes atributos:

a- Declividade

É um atributo que pode inviabilizar um determinado traçado ou mesmo que não o inviabilize, pode exigir um número grande de cortes e aterros. Os valores de declividade podem ser analisados em três faixas.

1a. Faixa

Áreas com declividades inferiores a 5%, consideradas adequadas à quase todos os tipos de estradas.

Dentro desta faixa, existem alguns tipos que exigem valores próximos ao zero.

2a. Faixa

Áreas com declividades entre 5 e 10%, que apresentam condições para os tipos de estradas de baixa velocidade, sempre exigindo obras que onerar o projeto.

3a. Faixa

Áreas com declividade superiores a 10%, inicialmente devem ser evitadas, principalmente quando em extensões consideráveis.

b- Áreas Inundáveis

São consideradas as áreas onde o nível de água permanece, durante o ano, em profundidades menores que 1m, temporariamente ou não.

c- Áreas Instáveis

Devem ser analisadas ás áreas que são consideradas potencialmente susceptíveis a ocorrencia de movimentos de massas, conforme a carta de estabilidade de taludes.

d- Materiais Inconsolidados

No decorrer da implantação das obras, diversas são as propriedades dos materiais inconsolidados que a influenciam; assim, durante a escolha do traçado, é importante conhecer as regiões onde a espessura é menor que 2m, bem como as ocorrências de matações. Estas condições, quando comuns no traçado, implicam no uso de equipamentos especiais e em altos custos com cortes e aterros.

e- Substrato Rochoso

O material do substrato rochoso pode não ser considerado na execução da obra, quando a espessura do material inconsolidado for suficiente para a colocação do greide no nível desejado.

As características dos materiais do substrato que devem ser consideradas no caso dos cortes, aterros, apoio de fundações, drenos profundos e agregados, são: litologia (com as qualificações petrográficas), e sua extensão, fraturamento, descontinuidades, intemperismo, resistência mecânica estimada.

Na elaboração da referida carta, o substrato deve ser considerado quando a espessura do material inconsolidado for:

- < 15m, para terrenos com declividade entre o e 5%

- qualquer espessura, para as áreas com declividades maiores que 5%

f- Condições Hidrológicas e de Drenagens Superficiais

As áreas que apresentam mais de 3 canais/km devem ser consideradas, pois podem apresentar problemas de cortes e aterros, sendo importante observar se os canais são perenes e se estão erodindo as margens e o fundo. As bacias hidrográficas devem ser delimitadas e alguns dos seus parâmetros devem ser conhecidos, tais como: área, maior pluviosidade, maior intensidade de chuva e frequência, declividade média, coeficiente de escoamento, pluviosidade média anual e tempo de concentração (Tc). A obtenção e a análise dos atributos anteriores devem ser executadas segundo as propostas de PINHEIRO (1980), VILLELA e MATTOS

(1975), PINTO et alii (1976), entre outros.

g- **Custo do Terreno**

A análise dos terrenos em termos de custos deve ser feita considerando o tipo de ocupação.

- ocupação agrícola (agropecuária e hortifruti-granjeira)
- ocupação industrial
- ocupação turística e outras

h- **Escavabilidade**

Deve obedecer as orientações do tópico III.5.4

2.2. **Subleito**

Os atributos considerados neste ítem interferem na definição do subleito e em muitos casos não há condições de contorná-los devido a sua intensidade.

a- **Drenabilidade**

Quando a drenabilidade dos terrenos é considerada má, as condições do subleito são deficientes e os seguintes limites devem ser verificados:

- declividades próximas a 0%
- materiais impermeáveis e terrenos planos
- nível de água aflorante
- combinação das condições anteriores

b- **Expansibilidade e Compressibilidade**

Os terrenos que apresentam, em sua composição, minerais dos tipos argilosos 2:1, 2:2 ou 1:1 sanfonados devem ser delimitadas, pois há possibilidade de aumento de volume quando tais minerais estiverem em contato com a água.

Os terrenos, que em seus perfís, apresentem camadas compressíveis devem ser evitados ou tratados de acordo com técnicas adequadas. Os terrenos que apresentarem Matéria Orgânica na camada superficial, devem ser evitadas ou tal material ser substituído.

c- Resistência

Os materiais do sub leito devem apresentar condições mínimas de suporte:

CBR	≥ 25%	Para condições inferiores, retrabalhar com rolo
SPT	≥ 10	
DR	≥ 30%	
GC	≥ 90%	ou 95% (Proctor Normal)

d- Materiais Inconsolidados Pouco Espessos

Áreas onde a espessura dos mesmos forem menores que 2m devem ser registradas. As observações podem ser executadas através de fotos áereas (textura), mapas pedológicos (solos litólicos e solos com matações) e trabalhos de campo.

2.3. Aterros (Sub base, reforços)

Os atributos que inteferem na execução deste tipo de obra podem ser reunidos e analisados em dois grupos:

- os atributos que caracterizam o local (Posição) da obra
- os atributos referentes ao material a ser utilizado.

1- Posição (local)

Em função do grau da declividade, algumas características devem ser abordadas:

- Em áreas planas (declividade próxima a zero, os problemas devidos à drenabilidade devem ser observados;

- em encostas, deve-se considerar os problemas devidos aos cortes, aos aterros, bem como de instabilidade do conjunto terreno/obra;

- é necessário retratar os locais onde existem camadas compressíveis e de materiais expansivos;

- outras considerações, como as profundidades do N.A., do substrato rochoso, etc.

3- MATERIAL

Os materiais devem apresentar comportamento tal que sirvam aos aterros, reforços, bases e sub bases. Quando compactados, devem apresentar boa resistência (CBR > 60%), baixa permeabilidade ($< 10^{-5}$ cm/s), baixa expansibilidade (< 0,1%), baixa compressibilidade (LL < 30; IP entre 5 e 10) e boas condições para processar a compactação. Em termos de mapeamento geotécnico, é aconselhável no momento classificar os materiais segundo as sistemáticas tradicionais (HRB e U.S.C. e outras), tabelas 51, 52, 80 e 83 como também pela sistemática proposta por Nogami e Villibor (1980, 1981), tabela 81 que visa determinar o comportamento laterítico dos materiais e vem apresentando resultados altamente satisfatórios. A utilização dos materiais segundo a classificação Nogami-Villibor (1980) deve obedecer preliminarmente as diretrizes traçadas pelo D.E.R. (GT-40), Villibor-Nogami (1985), que considera os materiais das classes LA, LA' e LG' como

nobres para a execução de aterros, bases e reforços, enquanto os NA, NA', NS e NG' podem ser usados como núcleos, desde que os 0,60m externos sejam executados com os materiais nobre.

É também viável a utilização da sistemática apresentada por Bourguet et alii (1985), que é baseada nos ensaio granulométrico e de absorção de azul de metileno, este desenvolvido por Tran Ngoc Lan (1979, 1980, 1981). Nas figuras 52,53, 54 e 55 pode-se observar os diagramas utilizados na classificação e as condições de uso dos diversos tipos de materiais.

Os materiais ainda devem ser analisados considerando outros fatores que podem afetar as condições de execução das obras, como:

- porcentagem elevada de micas, que afetara a execução da compactação;

- presença de blocos e matações, em quantidades que venham a atrapalhar a escavação e a compactação e

- presença de minerais argilosos expansivos (argilas dos tipos 2:1 e 2:2)

4- ELABORAÇÃO DA CARTA

A carta deve fornecer, na medida do possível, todas as características das diversas unidades de terrenos, ou por ordem:

1- Às áreas que apresentam 3 ou mais atributos desfavoráveis, porém contornáveis tecnicamente, com exceção da declividade;

2- as áreas que apresentam 2 atributos desfavoráveis, porém contornáveis tecnicamente, com exceção da declividade;

3- as áreas que apresentam um atributo desfavorável, com exceção da declividade;

4- as áreas com declividade desfavorável;

5- as áreas com problemas de camadas compressíveis e materiais expansivos e

6- as áreas favoráveis, ou seja que estão dentro dos valores limites para utilização.

Deve acompanhar a carta um memorial descritivo com os valores dos outros atributos não considerados nas classes anteriores.

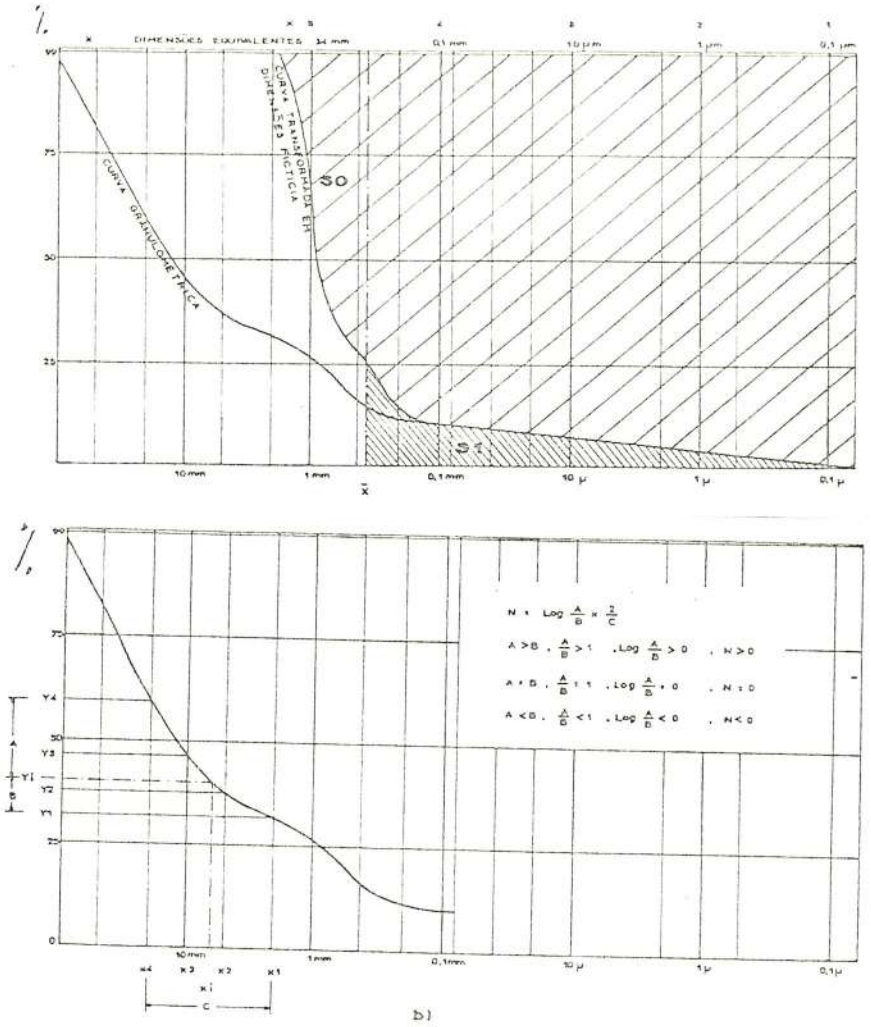
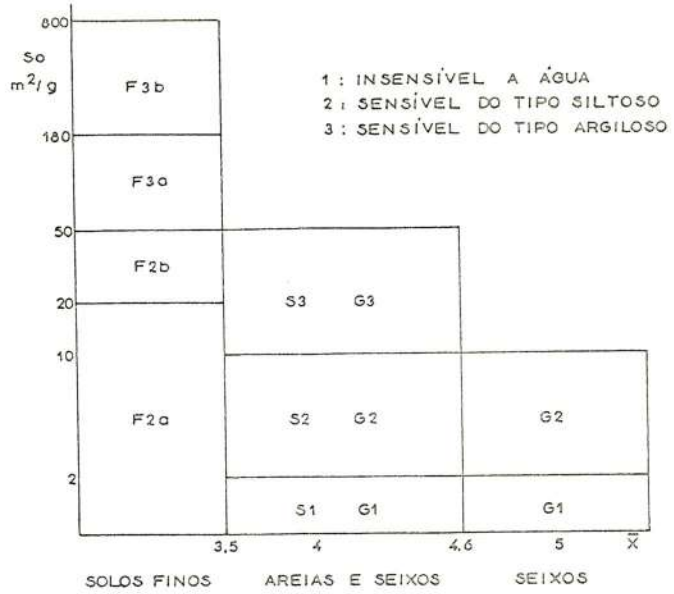


FIGURA 48- Diagrama $\overline{X}$-N(Granulometria)



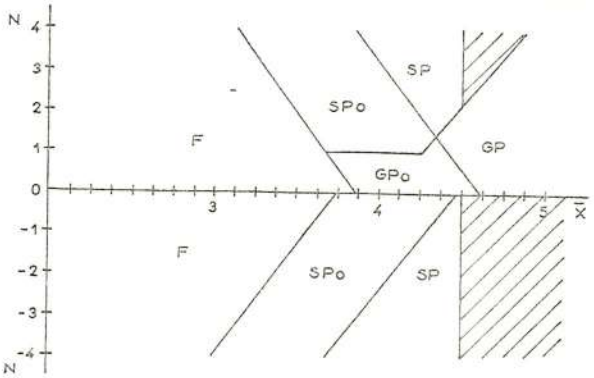
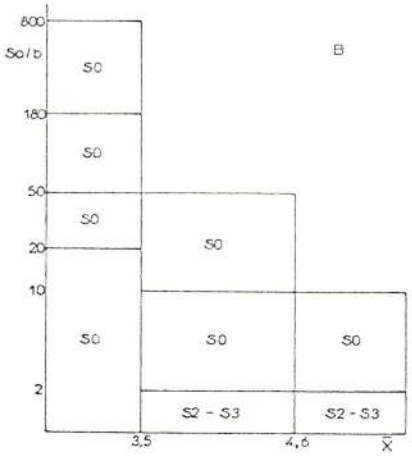
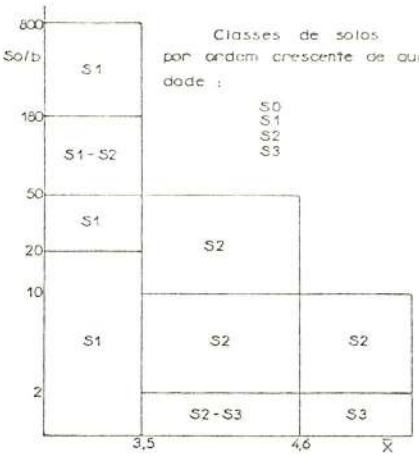


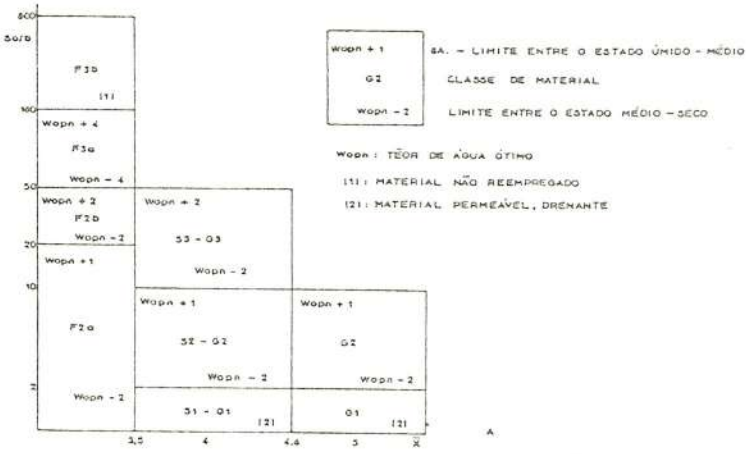
FIGURA 49- Diagrama de Sensibilidade à água (Sa-$\overline{X}$)

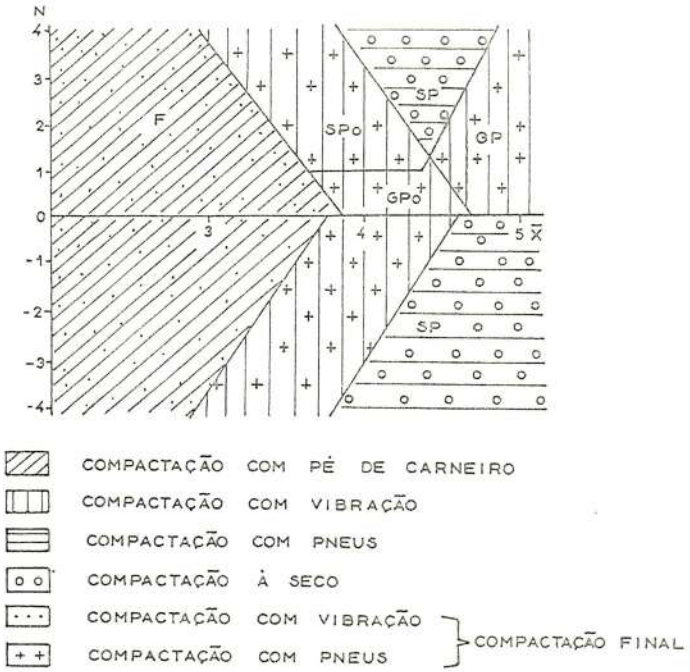


a) Más Condições Hídricas



b) Boas Condições Hídricas





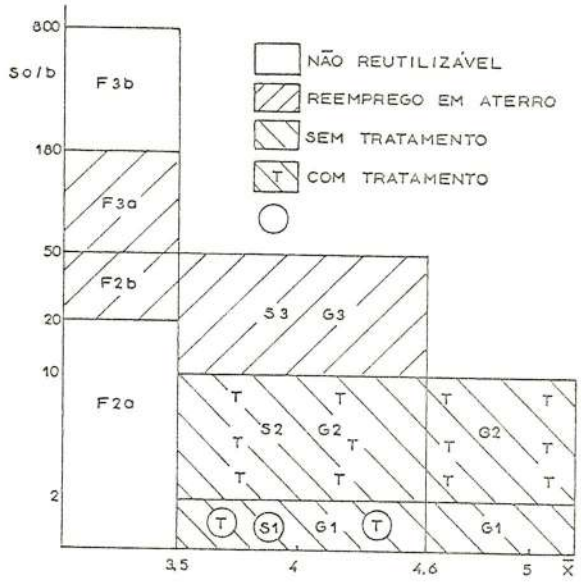


FIGURA 51- Possibilidade de Reemprego do solo

TABELA 51 APTIDÃO DOS SOLOS PARA A CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS

(ADAPTADO DE KREBBS et alia, 1971) apud Coelho, 1980

	TRABALHABILIDADE DE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO*	PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO kN/m^3 (d)	COMPRESSIBILIDADE E EXPANSIBILIDADE	COMPORTAMENTO EM ATERROS	COMPORTAMENTO NA CAMADA SOB O PAVIMENTO
GW	Excelente	19,6 - 21,2	Desprezável	Estabilidade elevada	Excelente
GP	Bom	18,0 - 19,6	Desprezável	Estabilidade favorável	Excelente a bom
GM	Bom	18,8 - 21,2	Muito baixa	Estabilidade razoável	Excelente a bom
GC	Bom	18,8 - 20,4	Muito baixa	Estabilidade razoável	Bom
SW	Excelente	17,2 - 20,4	Desprezável	Estabilidade elevada	Bom
SP	Razoável	15,7 - 18,8	Desprezável	Estabilidade razoável quando compacto	Bom a razoável
SM	Razoável	17,2 - 19,6	Muito baixa	Estabilidade razoável quando compacto	Bom a razoável
SC	Bom	16,5 - 19,6	Muito baixa a média	Estabilidade razoável	Bom a razoável
ML	Razoável	14,9 - 18,8	Muito baixa a média	Estabilidade baixa compactação difícil	Razoável a mau
CL	Bom a razoável	14,9 - 18,8	Média	Estabilidade boa	Razoável a mau
OL	Razoável	12,5 - 15,7	Média a elevada	Instável, não deve ser usado	Mau
MH	Mau	11,0 - 14,9	Elevada	Instável, não deve ser usado	Mau
CH	Mau	12,5 - 16,5	Muito elevada	Estabilidade sofrível, pode tornar-se mole devido à expansibilidade	Mau a muito mau
OH	Mau	10,2 - 15,7	Elevada	Instável, não deve ser usado	Muito mau
Pt	-	-	Muito elevada	Não deve ser usado	Não adequado

TABELA : PREVISÃO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA A CONSTRUÇÃO DE ATERROS*

* SEGUNDO GREGG, 1960

** SEGUNDO McCARTHY, 1977

CLASSIFICAÇÃO RODOVIÁRIA	CLASSES MAIS PROVÁVEIS NA CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA **	PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO (kN/m^3)	TEOR DE UMIDADE ÓTIMA (%)	PREVISÃO DO COMPORTAMENTO COM ATERROS
A-1-a	GW, GP, GM	18,0 - 22,3	7 - 15	Bom a excelente
A-1-b	SW, SM			
A-2-4	GM, SM	17,2 - 21,2	9 - 18	Razoável a excelente
A-2-5	GM, SM			
A-2-6	GC, SC			
A-2-7	GC, SC			
A-3	SP	17,2 - 18,0	9 - 15	Razoável a bom
A-4	ML, OL	14,9 - 20,4	10 - 20	Mau a bom
A-5	MH	13,3 - 15,7	20 - 35	Inadequado
A-6	CL	14,9 - 18,8	10 - 30	Mau a bom
A-7-5	CL, OL	13,3 - 15,7	20 - 35	Inadequado
A-7-6	CH, OH	14,1 - 18,0	15 - 30	Mau a razoável

5.11- CARTA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS

A realização deste documento tem como objetivo básico auxiliar o planejador na determinação do uso e ocupação do meio físico.

Este documento deverá fornecer basicamente dois grupos de informações sobre as áreas:

1º GRUPO

As áreas ou locais onde ocorrem exploração natural através da agropecuária e dos bens minerais. A ocupação agropecuária compreende a agricultura comum, a pecuária, a hortifrutigranjeira e similares, normalmente em áreas de extensões consideráveis. A exploração de bens minerais deve compreender as áreas com lavras de minérios específicos e principalmente a exploração de materiais para construção, como pedras ornamentais, argilas, areias e cascalhos.

2º GRUPO

Este grupo, compreende os seguintes tipos de áreas:

1- Áreas que estão dentro da previsão de utilização de algum órgão público, (Como ex: B.N.H.).

2- Áreas que são ocupadas com fins turísticos ou que possuem potencial para este fim; também devem ser consideradas as áreas mantidas pelo poder público como os parques, jardins, hortos, etc.

3- Áreas que são consideradas como de recargas de aquíferos devem ser delimitadas, assim como as áreas de cabeceiras de rios que são fornecedores de água potável ou industrial (Proteção das nascentes)

4- Áreas que permanecem alagadas por muito tempo.

5- Áreas que, por algum motivo, são consideradas especiais para um determinado fim; ou que tenha ocupações especiais, etc.

Este documento possibilita aos engenheiros, arquitetos, urbanistas ou planejadores, uma série de observações, que associadas aos outros tipos de documentos (mapas e cartas), permitem diagnosticar uma ocupação do meio físico mais adequada, de maneira tal que:

1- Se evitem desapropriar áreas com preços elevados, quando podem existir áreas públicas também adequadas.

2- Não se utilize áreas com potencial especial (turismo, por exemplo), para outros fins.

3- Se evite colocar fontes de poluição em áreas vulneráveis, como as de recarga.

4- Se previna para que a instalação de obras longitudinais (estradas) não ocorram de maneira a cortas regiões de minifúndios produtoras de hortifrutigranjeiros, pois poderá trazer problemas sociais e mesmo modificar o sistema de produção, e alterando as condições de consumo da região.

5- Se analise o posicionamento dos diversos setores que compõem o parque industrial, visando escolher os melhores locais em relação às fontes de água, às áreas de recreio, às áreas residenciais e outras.

Este documento é de grande importância, para que a ocupação de uma dada região não seja desastrosa; além disso, facilita ao planejador tomar decisões em relação ao desenvolvimento urbano e industrial com maior segurança.

Na carta, as áreas devem ser acompanhadas de símbolos que indiquem as condições que as caracterizam, ou seja, símbolos que representem:

- Uso atual ou futuro;
- área de recarga ou de proteção ambiental;
- restrições fundamentais de ocupação em relação ao uso;
- uso público ou privado;
- outras características.

5.12- CARTA DE ORIENTAÇÃO (ZONEAMENTO)

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este documento tem por finalidade orientar principalmente o planejador, considerando as diversas formas de ocupação. Esta carta deve ser elaborada a partir dos documentos básicos e derivados, associados às diretrizes sócio-administrativas vigentes para a região em estudo.

As unidades devem ser definidas a partir de "pesos" que serão dados para cada atributo, ou por algum dos sistemas citados no tópico I-8.5. A carta de orientação deve obedecer um dos grupos de diretrizes, que serão comentados a seguir.

2- TIPOS

a- GERAL

A carta deve retratar as unidades que melhor se enquadram nas necessidades de cada forma de ocupação.

b- PARCIAL

Este tipo de carta deve ser elaborado quando houver interesse em conhecer o comportamento da região para 2 ou mais formas de ocupação interligadas e que tenham de ser implementados conjuntamente.

c- INDIVIDUAL

O documento deve ser elaborado quando for necessário analisar a região frente a uma única forma de ocupação. A carta deve retratar a região considerando as áreas em ordem decrescente, quanto as qualidades para a instalação da referida forma de ocupação.

3- OBSERVAÇÕES

- Qualquer que seja o tipo da carta, a mesma deve ser acompanhada por um memorial descritivo, que descreva cada unidade e as diretrizes para que nela ocorra a ocupação, considerando vantagens e limitações.

- Se a região já se encontra em fase adiantada de ocupação, é necessário que a carta seja acompanhada por um memorial descritivo que a analise como se a ocupação não tivesse sido iniciada; um segundo memorial, que analise o estágio atual de ocupação e um terceiro, que deve relatar os possíveis problemas que surgirão com a continuidade da ocupação atual, assim como quais as maneiras de alterar a provável forma de ocupação desordenada, de tal modo que se possa respeitar as condições do meio físico.

TABELA 53 OCUPAÇÃO x APTIDÃO

OCUPAÇÃO \ FATORES		DECLIVIDADE	FUNDAÇÕES (NÍVEL)	ESCAVABILIDADE	ERODIBILIDADE	DISP. REJ. F.	DISP. REJ. T.S	DISP. REJ. A.S.	OBRAS ENTERRADAS	MATER. DE CONSTR	PROT. AMBIENTAL	MATERIAIS SOLOS	MATERIAIS ROCHAS	IRRIG	CONDIC CLIMÁT	ESTAB DE TALUDE
RESIDÊNCIAS	URBANAS	O	Ø	O	Ø	O	O	O	O	Δ	O				X	O
	RURAIS	O	Ø		Ø	X	X			Δ						O
ÁREAS INDUSTRIAIS		O	O	O	Ø			O	O	X	O				X	O
OCUPAÇÃO RURAL	AGRICULT.	O			O				Ø		O	O		Ø	Ø	
	PECUÁRIA				O							O		X	O	
	HORT/FRUT				O							O		O	O	
TURISMO		X	Δ		X	Ø	Ø	Ø			O				O	O

O - FUNDAMENTALMENTE PROIBITIVO
Ø - FUNDAMENTALMENTE CIRCUNSTANCIAL
Ø - FUNDAMENTALMENTE PROIBITIVO OU NÃO EM FUNÇÃO DA GRANDE INTENSIDADE
X - AVALIAR SEMPRE COM ANÁLISE CUIDADOSA
Δ - PODE SER CORRIGIDO QUANDO NEGATIVO

6- ATRIBUTOS

Deve-se considerar os atributos, como definidos anteriormente, e, neste tópico, também serão considerados englobando as propriedades e os parâmetros.

Os atributos são fundamentais para definir se as áreas são homogêneas ou heterogêneas para os fins específicos previstos. A obtenção e observação dos atributos devem ser analisadas em dois subtópicos separados; o primeiro tratando do procedimento de obtenção e observação, o segundo considerando o local onde obtê-los, para que haja validade nos processos de extrapolação e de interpolação.

6.1- Obtenção e Observação

1.1- Trabalhos já realizados

O primeiro passo na obtenção dos atributos é o levantamento e a análise criteriosa dos trabalhos já realizados e que possuem potencial para fornecer dados para mapeamento geotécnico.

Diversas são as fontes destes dados, como observa-se a seguir:

a- Mapas

Entre os mapas mais comuns e considerados fundamentais estão:

- Topográfico
  Este normalmente condiciona a escala do mapeamento geotécnico a ser realizado e qual a densidade de informações que será adequada. A partir do mapa topográfico, obtem-se a carta de declividade, que fornece dados que poderão ser usados como informações limitantes aos diversos tipos de ocupação.

- Geológico

  Fornece dados principalmente de interesse à elaboração do mapa do substrato rochoso, assim como características das litologias aflorantes na região em questão.

- Pedológico, Geofísico e Outros

  São mapas que auxiliam quando existirem e as informações estiverem retratadas em condições adequadas para serem utilizadas no mapeamento geotécnico.

b- Sondagens

Normalmente, são realizadas para diversos fins, portanto fornecendo dados diferentes. As sondagens profundas e de grande diâmetro(30, 40cm) são realizadas para prospecção de águas, afim de suprir necessidades das indústrias. Normalmente este tipo de sondagem fornece informações sobre as litologias do substrato rochoso. Pode ser encontrado, junto as firmas executoras, os perfís dos poços contendo os tipos rochosos, estruturas, espessuras e outras informações referentes aos materiais.

Sondagens com as mesmas características, porém com diâmetros menores, são realizadas em obras de grande porte, onde as fundações deverão estar assentadas sobre materiais rochosos.

As sondagens dinâmicas, representadas na sua grande maioria pelo S.P.T., são as mais comuns e fornecem diversas informações sobre os materiais inconsolidados, tais como: tipos,compacidade, profundidade do N.A. e do substrato rochoso e o valor de N que é correlacionado com suporte dos diferentes níveis.

Outros tipos de sondagens podem existir, tais como C.P.T., geofísicas, etc...; e normalmente fornecem dados que permitem a análise dos diversos atributos dos componentes do meio físico.

c- Ensaios realizados por empresas públicas e privadas

Além das sondagens e mapas, e durante a realização de obras, as empresas executam ensaios relativos a mecânica de solos e rochas. Estes dados poderão auxiliar na realização do mapea - mento geotécnico. As empresas públicas ligadas a execução de obras viárias e as responsáveis pelas linhas de transmissão , devem ser consultadas, principalmente porque não são obras pontuais e sim lineares, atingindo grandes extensões.

d- Confiabilidade dos dados já existentes

É necessário tomar certos cuidados quando do uso das informações obtidas das fontes citadas tais como:- criteriosamente como foram obtidas, qual o uso previsto e como elas estão apresentadas, principalmente se puderem sofrer alterações face às características técnicas do profissional que as obteve.

1.2- Uso de fotografias aéreas e outras imagens

Esta técnica é muito utilizada para obtenção de informações de interesse para o mapeamento geotécnico, mas deve-se descartar,em princípio as imagens de satélites, de radar e similares, quando estiverem em escalas muito pequenas e não retratarem os compoentes do meio físico como um todo. As imagens de satélites, em escalas maiores que 1:250 000, não devem ser desprezadas. Na atualidade, as fotos aéreas constituem uma das fontes de informações para os diversos tipos de mapeamento, incluindo o geotécnico. No caso do Brasil, o território esta quase todo fotografado na escala 1:60 000 e algumas regiões em escalas maiores, possibilitando o seu uso como fonte de dados, principalmente na elaboração do mapa do substrato e de materiais inconsolidados.

O uso de fotografias aéreas pode facilitar a interpretação das mudanças que uma determinada região sofreu ou que está prestes a sofrer. As fotos aéreas em escalas maiores que 1:10 000, devem ser usadas em situações muito peculiares, pois escalas deste nível se prestam mais a uma investigação local do que a um mapea -

mento geotécnico com a finalidade de orientar trabalhos de maior detalhe. A seguir,na tabela 54 indica-se possíveis utilizações das fotos aéreas em função da escala e do objetivo.

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

TABELA: 54 PRINCIPAIS USOS DAS FOTOS AÉREAS

1.3- Trabalho de campo

Esta fase é executada com a finalidade de investigar as condições do meio físico, sejam superficiais ou subsuperficiais.

1.3.1- Trabalhos de superfície

São realizados através de caminhamentos por toda a área em estudo, observando a exposição dos materiais em perfís artificiais provocados pela execução de obras, e em afloramentos naturais pela modelagem erosiva, em poços, etc.

Através dos perfís e dos afloramentos, deve-se obter o máximo possível de informações de maneira tal que sejam atingidos os objetivos do mapeamento geotécnico. Nesta fase, pode-se conseguir dados ligados a geotécnia, tais como: características dos materiais (solo, água, rocha) em termos de texturas, estruturas, compacidades, espessuras, estágio de alteração, descontinuidade, intercalações, mineralogia, físico-química, poluição, etc.

Os trabalhos de superfície permitem definir os limites entre os diferentes tipos de materiais, tanto os inconsolidados, quanto os rochosos. Esta definição deve ser auxiliada pelos dados obtidos através de trabalhos de foto interpretação e dos trabalhos já existentes.

A definição dos contatos, como a origem dos materiais , (genese) permite inferir uma série de informações de interesse para a geotécnica.

A fase dos trabalhos de campo deve ser organizada de maneira que o maior número de informações sejam obtidas e que possa orientar a amostragem e/ou a continuidade do trabalho, se for o caso.

1.3.2- Investigação de subsuperfície

Esta fase deve ser evitada, tanto quanto possível, por ser muito trabalhosa, especializada e consequentemente onerosa. Esta investigação deve ser realizada após o trabalho de superfície, em pontos previamente determinados para produzir informações de interesse e muito significativas para o mapeamento geotécnico.

Os meios para a execução desta investigação devem ser os mais simples possíveis, tanto em termo de operação dos equipamentos, como de obtenção dos dados. A seguir, serão abordados os melhores meios indicados para tal fim:

a- Trados manuais ou similares

São equipamentos simples e aconselháveis para profundidades até 10 metros, segundo informações dos usuários, assim como de referencias bibliográficas. O mecanismo destes podem ser observados em bibliografias que tratam do assunto, tais como: Nogueira (1979); Villar e Bueno (1984).

Os trados permitem determinar a profundidade do N.A., assim como as variações dos materiais até o N.A. e também extrair amostras deformadas dos respectivos materiais inconsolidados, podendo ser dos tipos espiral ou cavadeira.

b- Poços e trincheiras

Os poços são executados, na maioria das vezes, por processos manuais com o mínimo de 60 cm de diâmetro, normalmente atingindo a profundidade do N.A.

Atualmente já é possível realizá-los com trados de diâmetro em torno de 40 cm, adaptados ao sistema de torque dos tratores agrícolas.

Os poços permitem análise dos tipos de materiais, da profundidade do N.A., obtenção de amostras , indeformadas ou não, outras informações de interesse para a geotecnia.

Trincheiras são valas longitudinais que podem ser realizadas por processos manuais e/ou mecânicos (escavadeiras), e permitem a análise da variação dos materiais, assim como a realização de amostragem.

Os poços e trincheiras são normalmente aproveitados para a realização de ensaios de permeabilidade "in-situ". A realização de poços e trincheiras pode resultar num processo oneroso, dependendo das condições do local, assim como do número de pessoas ou equipamentos utilizados,da extensão da área e da complexidade dos componentes do meio físico.

c- Sondagens geofísicas

Trata-se, a seguir das informações propiciadas pelo uso da geofísica, agrupadas em duas classes:

1- Alguns atributos das rochas e suas variações na região podem ser obtidas através de correlações tais como as velocidades de ondas de choque (V_s e V_p) e a resistividade elétrica que podem ser associadas com

características mecânicas, que são de interesse para projetos de engenharia civil.

Como exemplo, pode-se citar as correlações existentes entre V_s, V_p e o módulo de elasticidade dinâmico, o espaçamento das fraturas, assim como a correlação entre resistividade elétrica e a salinidade ou acidez das águas contidas nos materiais, permeabilidade, etc.

2- Para certas situações é possível delinear os materiais que apresentam características diferentes e assim determinar a profundidade do substrato rochoso, a espessura dos materiais que apresentam propriedades contrastantes, detectar problemas de falhamentos e fraturas de grande porte.

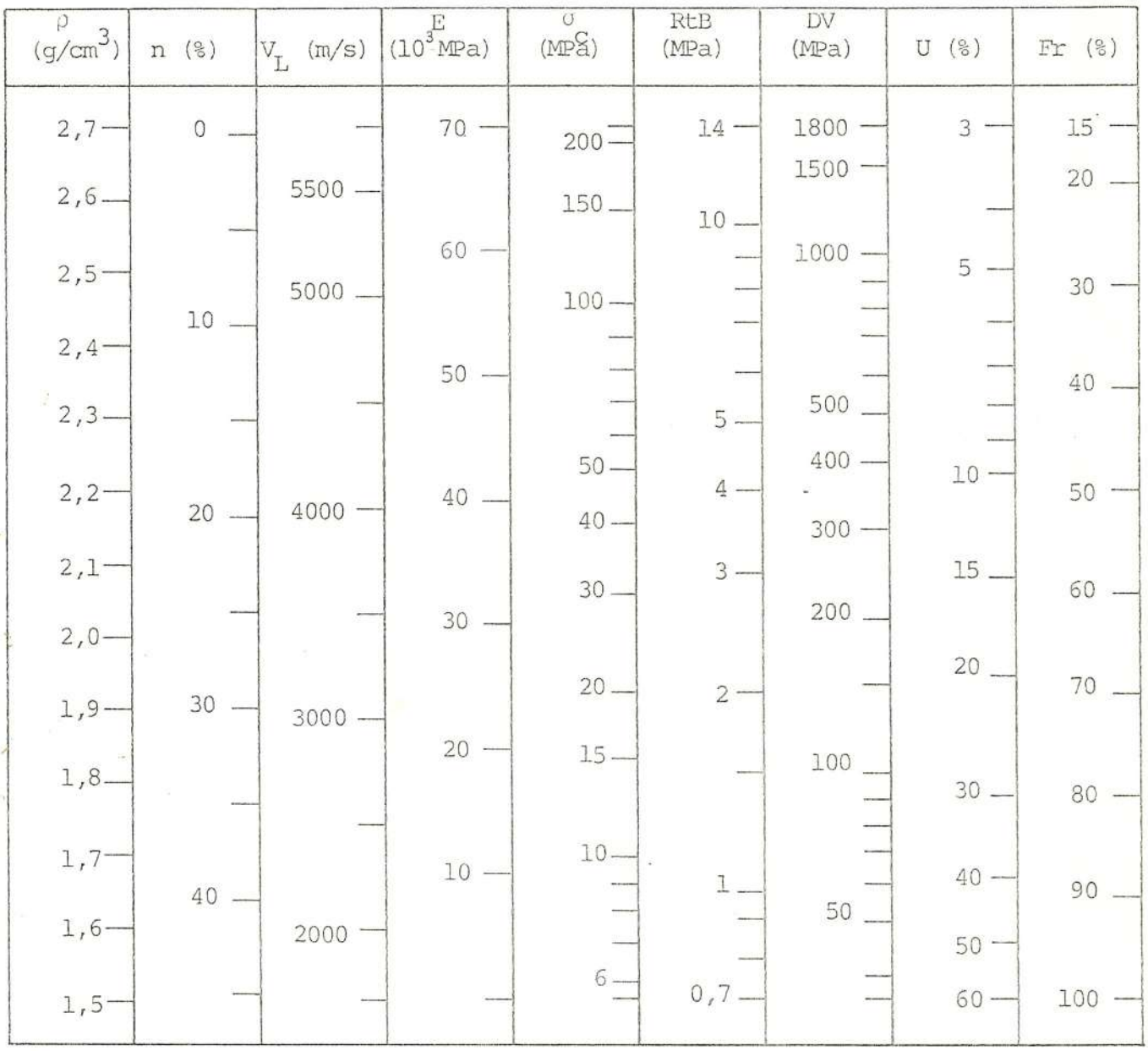
As diversas informações podem ser obtidas através da geofísica por um dos seguintes métodos:

1- Resistividade elétrica

2- Sondagens sismicas

3- Ensaios laboratoriais

como exemplo, pode-se observar na figura 52 elaborada por Toureng e Archimbaud (1974), as relações existentes entre a resistência a compressão simples e a tração, a dureza de Vickers, Los Angeles e velocidade longitudinal para rochas calcáreas.



ρ - Massa volúmica aparente

n - Porosidade

V_L - Velocidade das ondas longitudinais

E - Módulo de deformabilidade

σ_c - Resistência à compressão simples

RtB - Resistência à tração (ensaio brasileiro)

DV - Dureza Vickers

U - Desgaste Deval

Fr - Fragmentação Los Angeles

FIGURA 52: CORRELAÇÕES DE TOURENQ E ARCHIMBAUD ENTRE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS PARA AS ROCHAS CALCÁREAS.

d- Penetrômetros alternativos

A indicação de penetrômetros alternativos não visa a substituição dos penetrômetros comuns como os S.P.T., C.P.T. e outros que são utilizados rotineiramente como forma de investigação local de subsuperfície e de previsão das condições de resistência, compressibilidade, consistência e outras características dos materiais inconsolidados. O uso dos penetrômetros alternativos deve ocorrer de maneira que oriente futuros trabalhos locais em escalas maiores, assim como possibilite a previsão das características dos materiais. Pode-se citar os seguintes tipos de penetrômetros alternativos:

1- Penetrômetro de Peso (WST)

Usados nos países baixos (Escandinavia, Finlândia) e citados inicialmente por Aas (1969), Broms (1974), Hansen (1967) e tendo seu estado da arte publicado pelo ESOPT II (Broms e Bergdah, 1982). O aparelho consiste das partes descritas na figura 53, também conhecido como método de sondagem suiço e a utilização, é relativamente simples, assim como o seu transporte.

Os resultados são registrados através da contagem de meias voltas por 20 cm, após a carga estar em 1kN. O tipo mais adequado é o girado manualmente, pois já existem modelos que são são acoplados a um pequeno motor. As massas são acrescidas de maneira a manter a penetração constante em 20 mm/s, e na seguinte sequência: 0,05; 0,15; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 kN, outras explicações podem ser encontradas nas bibliografias referentes ao assunto. Através deste tipo de sondagem, é possível determinar:

- espessura do material inconsolidado (até ≈ 25 m)
- características dos diferentes materiais encontrados durante a sondagem

Os resultados obtidos permitem prever algumas propriedades dos materiais, tais como:

a- Densidade relativa (compacidade), baseada em trabalhos realizados em laboratório em campo.

DENSIDADE RELATIVA	SUÉCIA (Bergdahl e Sundquist, 1974)	NORUEGA (Senneset, 1974)	FINLÂNDIA (Helenelund, 1966)
			Meia volta /0,2 m
Muito fofa	< 8	0	< 10
fofa	8 - 20	< 7	10 - 30
Média	20 - 60	7 - 25	30 - 60
Compacto	60 - 100	25 - 50	60 - 100
Muito compacta	> 100	> 50	> 100

b- compressibilidade - usada para prever recalques de sapatas corridas e radiers, (Helenelund, 1966):

VARIAÇÃO (meia volta/0,2m)	MÓDULO DE COMPRESSÃO (MPa)
10 - 30	10 - 20
30 - 60	20 - 50
60 - 100	50 - 80

c- Resistência, estimada considerando que os materiais de baixa resistência são perfurados sem haver necessidade de giros. Diversas são as propostas para tais determinações.

c.1- A administração sueca de estradas executa sapatas corridas para pontes em terrenos coesivos com resistência no mínimo de 10 meias voltas/0,2m. O código de edificação sueco considera um material coesivo denso quando o valor obtido for maior que 15 meias voltas/0,2m.

A pressão admissível para os materiais inconsolidados pode ser obtida através da combinação da fórmula e das tabelas seguintes:

$$\sigma_m = B.N \left(1 - \frac{B}{3.L}\right) \leq \sigma_m \text{ . max}$$

σ_m = pressão média permitida para o solo (pressão admissível)

B = largura da sapata (m)

L = comprimento da sapata (m)

N = fator de capacidade de carga (MPa/m)

TIPO DE MATERIAL	MEIAS VOLTAS/0,2m	H^a (m)	FATOR N (MPa/M) D^b OM	1M	2M	$\sigma_{m,\ max}$ (MPa)
SEIXOS		0	0,17	0,25	0,29	0,60
		≥ 2B	0,27	0,40	0,47	
AREIAS	15	0	0,13	0,19	0,22	0,50
		> 2B	0,20	0,30	0,35	
	1 - 15	0	0,08	0,11	0,13	0,30
		> 2B	0,12	0,18	0,21	
AREIA FINA E SILTE GROSSEIRO	15	0	0,10	0,15	0,17	0,40
		> 2B	0,16	0,24	0,28	
	1 - 15	0	0,04	0,06	0,08	0,20
		> 2B	0,07	0,10	0,12	

Observações:

a- Distância entre a sapata e o N.A.
quando o N.A. está acima do nível da fundação, H=0
quando H entre 0 e 2B, é aconselhável a interpolação retilinear

b- Mínima profundidade da fundação
quando o valor foi entre 0,1 e 2 m a interpolação retilinear é aconselhada.

c- Para siltes grosseiros, a pressão permitida ao solo é limitada pelo valor dado para o estado fofo de compacidade.

c.2- Estes penetrômetros também são utilizados para prever a instalação de fundações rasas e profundas.

O código de edificações sueco (1980),

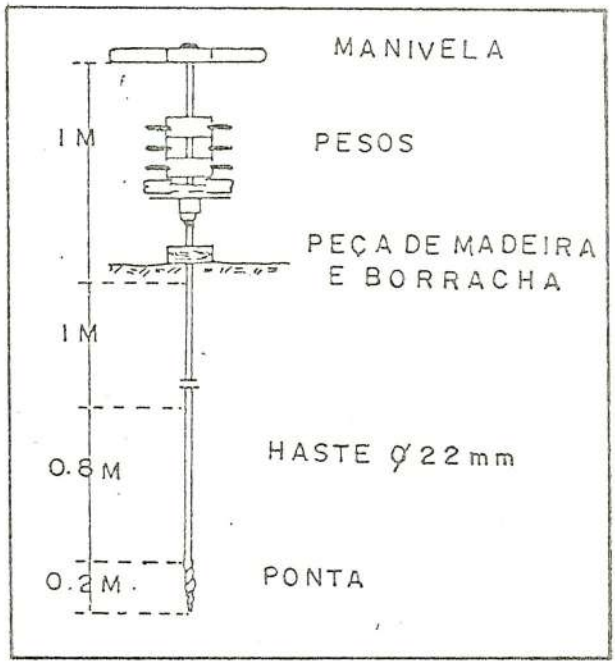


FIGURA 53 ESQUEMA DO PENETRÔMETRO DE PESO.

considera as areias e siltes densos quando $N_{wst} > 15$ e de média a fofa quando N_{wst} entre 1 a 15 e a partir das diversas correlações. as seguintes tabelas foram elaboradas por Broms e Bergdahl (1982)

TIPO DE SOLO	ø N_{wst} 10-30	ø N_{wst} >30
AREIA FINA	31°	35°
AREIA GROSSA	35°	38°
SEIXOS	38°	42°

TIPO DE SOLO	ø N_{wst} 15	20	30	50
SILTE				27°
AREIA	31°	32°	34°	38°
SEIXO	32°	34°	37°	40°

(Recomendada pela Comissão Sueca de estacas)

d- Correlações com outros métodos de sondagem

As seguintes correlações foram elaboradas para materiais coesivos, e citadas por Muromachi et alii (1974).

1- $N_{SPT} = 1.07\ N_{wst}^{0.755}$ (Ueda)

2- $N_{SPT} = 0,42\ N_{wst}$ (Miki)

3- $N_{SPT} = 0,34\ N_{wst} + 2$ (Inada)

Entre as 3 expressões, a diferença é menor que 10 N_{wst}.

4- Dahlberg (1975) obteve a seguinte correlação, $N_{SPT} = 0,37\ N_{wst} + 1,7$ que se aproxima da de Inada, já mencionada.

5- Correlações com o Cone de penetração foram obtidas por Tammirinn (1974);

$q\ c\ (MPa) = 0,5\ N_{wst}$ (areia grossa)

$q\ c\ (MPa) = 0,2\ N_{wst}$ (areia fina)

$q\ c$ = resistência a penetração do Cone

e- Controle de compactação

Pela simplicidade do equipamento, o mesmo é usado para controlar a homogeneidade dos aterros durante e após a construção, como citado por Lagging e Gresund (Apud Broms e Bergdahl, 1982).

2- Penetrômetro Dinâmico - Cônico

(Tipos leve e pesado)

São equipamentos simples, assim como de utilização direta em campo e as informações são obtidas diretamente em termos de número de golpes para que a coluna penetre 10cm no solo.

Estes aparelhos são utilizados principalmente na Bulgaria e secundariamente nos outros países do Leste Europeu.

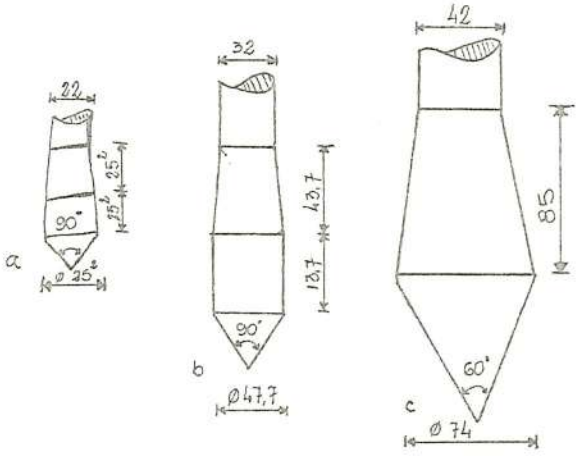
Segundo a norma 8994-71 da "Foundations of Buildings and Structure" da Bulgaria, os dados seguintes determinam as dimensões de cada tipo de equipamento.

TIPO DE PONTA	PESO		HASTES	
	MASSA (kg)	ALT.QUEDA (cm)	DIÂMETRO (mm)	TIPO
Leve - Cônica	20± 0,2	25 ± 0,25	22	Compacto
Pesado-Cônica	50± 0,5	50 ± 0,5	32	comp./oca

Existe um terceiro tipo chamado de superpesado que não tem grande uso nos países citados; todavia, o tipo leve tem uso muito grande onde existem correlações que permitem a obtenção de propriedades de interesse aos usuários e portanto para a realização do mapeamento geotécnico.

A interpretação dos resultados deve levar em conta que o número de golpes, a partir dos 6 m de profundidade, é reduzido em 15%.

Pode-se analisar na figura 54, a forma das pontas de cada tipo



(medidas em mm)

FIGURA 54: TIPO DE CONE

a- Tipo leve

b- Tipo pesado

c- Tipo super pesado

Através do número de golpes obtidos, nas sondagens, é possível determinar.

2.1- Índice de Consistência e Densidade Relativa

Fazendo uso das tabelas seguintes e com o número de golpes para a penetração de 10cm (N_{10}), é possível obter as seguintes informações:

- MATERIAIS ARGILOSOS

Nº DE GOLPES PARA FAZER PENETRAR A COLUNA PADRÃO 10cm (N_{10})			ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	TERMO
AREIA ARG.	ARG.ARENOSA	ARGILA		
4	< 7	< 3	0 < Ic < 0,25	muito mole
4 - 5	7 - 8	8 - 5	0,25 < Ic < 0,50	mole
5 - 6	8 - 10	5 - 7	0,50 < Ic < 0,75	median..dura
6 - 10	10 - 16	7 - 14	0,75 < Ic < 1	dura
10	> 16	> 14	Ic > 1	muito dura

- AREIAS

Nº DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DA COLUNA PADRÃO 10cm (N_{10})	DENSIDADE RELATIVA (ID)	TERMO
< 10	0 < ID < 1/3	fofa
10 - 15	1/3 < ID < 2/3	mediam.compac
> 25	2/3 < ID < 1	compacta

2.2- Ângulo de Atrito Interno
Compressibilidade
Módulo de Deformação

Para que se realize uma estimativa das propriedades acima, antes é necessário executar a transformação de N_{10} em índice "novo" de resistência, denominado C_k,d.

- Areia com seixo	$C_k,d = 5 . N10 + 10$
- Areia	$C_k,d = 4 . N10 + 7$
- Areia argilosa	$C_k,d = 4,2 . N10 - 10$
- Argila arenosa	$C_k,d = 2,7 . N10 - 12$
- Argila	$C_k,d = 2,4 . N10 - 2$

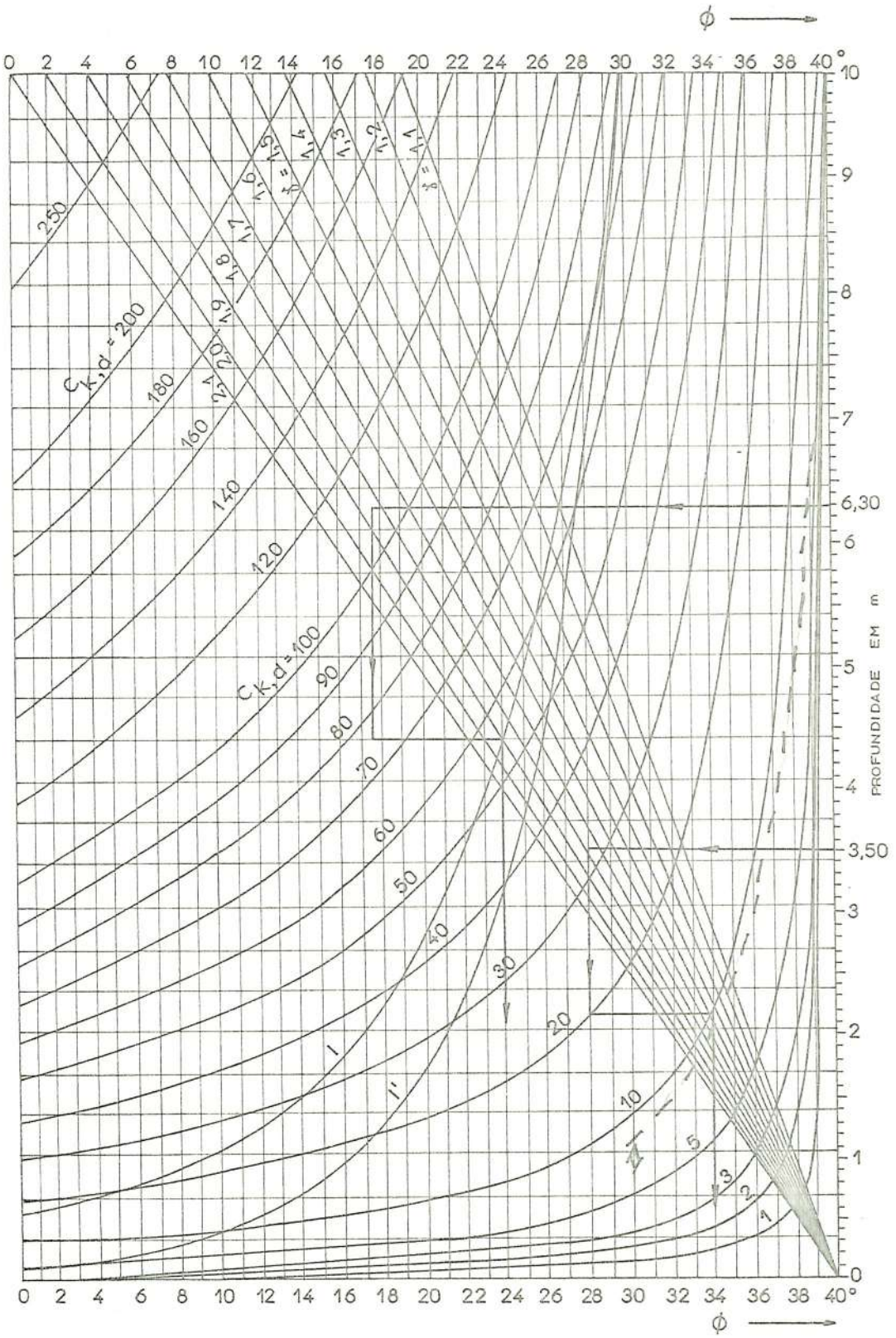
O ângulo de atrito pode ser obtido utilizando o índice C_k,d, a profundidade (z), do ponto em interesse, o "ρ" médio do material e o nomograma proposto por (Stefonoff e Bejkoff,1974), conforme figura 55.

O módulo de compressibilidade, em (Kp/cm^2), é obtido a partir da relação N_{10} e o tipo de solo (Stefonoff e Bejkoff, 1974).

- Areia com seixo	$E = 8 . N10 - 9$
- Areia	$E = 6,5 . N10 + 3$
- Areia argilosa	$E = 6,7 . N10 - 24$
- Argila arenosa	$E = 4,3 . N10 - 27$
- Argila	$E = 4 . N10 - 11$

Analogamente, o módulo de deformação é:

- Areia com seixo	$E0 = 2 . N10 + 2$
- Areia	$E0 = 16 . N10 - 12$
- Areia argilosa	$E0 = 17 . N10 - 80$
- Argila arenosa	$E0 = 11 . N10 - 88$
- Argila	$E0 = 9,5 . N10 - 50$



Exemplo 1: Z = 6,30 m
γ = 1,85 p/cm³ ; $C_{k,d}$ = 75 kp/cm²
ϕ = 24°

Exemplo 2: Z = 3,50 m
γ = 1,80 p/cm³ ; $C_{k,d}$ = 200 kp/cm²
ϕ = 34°

FIGURA 55- Nomograma para Determinação do Ângulo de Atrito Interno

3- Sondagem Percusiva Leve Para Estradas

Um equipamento especial foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Estradas da Bélgica, (Henau, 1982), para servir nas investigações preliminares dos projetos de estradas e con - siste de uma camisa cilíndrica, com uma seção de 5 cm^2 e uma ponta com um ângulo de 60º no vértice. Ajustada à camisa existem as hastes, com 1m de comprimento cada, que são cravadas pela percursão de uma massa de 10kg, que cai livremente de uma altura de 50 cm do fixador e direcionamento das hastes. Os resultados são obtidos em termo de milímetro penetrados por golpes (mm/golpes).

Os dados obtidos por este equipamento são correlacionados com o C.B.R. e fornecem uma boa aproximação da capacidade de carga de cada camada de solo fino ($D90 < 0,2mm$).

Os resultados são considerados bons até a profundidade de 5m. O equipamento é de fácil manuseio, e a execução da sondagem não apre - senta problemas, sendo muito usado nas fases preliminares de implantação de estradas. Além de servir como instrumento de investigação, é utilizado no controle de aterros compactados.

4- Penetrômetro Dinâmico "BORRO"

Este equipamento também é chamado de " Borro Hammer Drill" e é considerado um sistema muito seguro e efetivo para a investigação do subsolo, tendo sido usado, no Brasil, pelo IPT nos anos 40 e 50. Posteriormente, nos anos 70 foi utilizado na prospecção dos locais para a instalação de torres das linhas de transmissão de energia e mesmo nesta década está sendo utilizado, como citado por Paladino (1985) e Vangax (1982).

O equipamento consiste de um tripé, que sustenta uma roldana por onde passa um fio, que serve para levantar uma massa de 60kg, que cai verticalmente de uma altura de 75 cm sobre uma base, que faz cravar a haste com 32 cm de diâmetro.

O resultado é obtido em termos de número de golpes necessário para cravar a haste em 30 cm do terreno. Estes resultados são plotados em gráficos e comparados com outras informações, possibilitando desta maneira, deduzir as características de resistência dos materiais.

Diversos penetrômetros dinâmicos usados em outros países são muito parecidos com o "Borro" e como exemplos temos o citado por Mohan et alii (1970), ESOPT (1974), Gardemeister e Tammirinne (1974).

A sondagem Borro pode atingir profundidades similares às obtidas pelo S.P.T. e C.P.T. e os resultados podem ser correlacionados com os de outros equipamentos.

A construção do equipamento é muito simples e a CESP possui o projeto com todos os detalhes construtivos, assim como um montado

Segundo estudos realizados e fornecidos verbalmente por Geraldo (1985), tal equipamento fornece, para profundidades maiores que 15 m, valores superiores aos do S.P.T. e C.P.T., porém mantendo uma relação uniforme.

Este aumento dos valores é devido, principalmente, ao atrito lateral, o qual também pode possibilitar a obtenção de informações para a execução de projetos de estacas. Com esta sondagem, é possível determinar também o nível de água em subsuperfície. A figura 56 mostra as características de um penetrômetro Borro.

Segundo dados internos pertencentes ao I.P.T, conclui-se que são possíveis correlações para a obtenção da consistência, densidade relativa, características de resistência e de compressibilidades dos terrenos investigados com esse penetrômetro.

5- Penetrômetro Estático - Gouda 25KN

O penetrômetro holandês de cone móvel "Gouda de 25KN" corresponde às necessidades do mapeamento geotécnico por algumas razões, tais como:

- Facilidade para transporte e manuseio
- Acionamento manual
- Obtenção de informações de maneira simples
- Custo baixo do equipamento

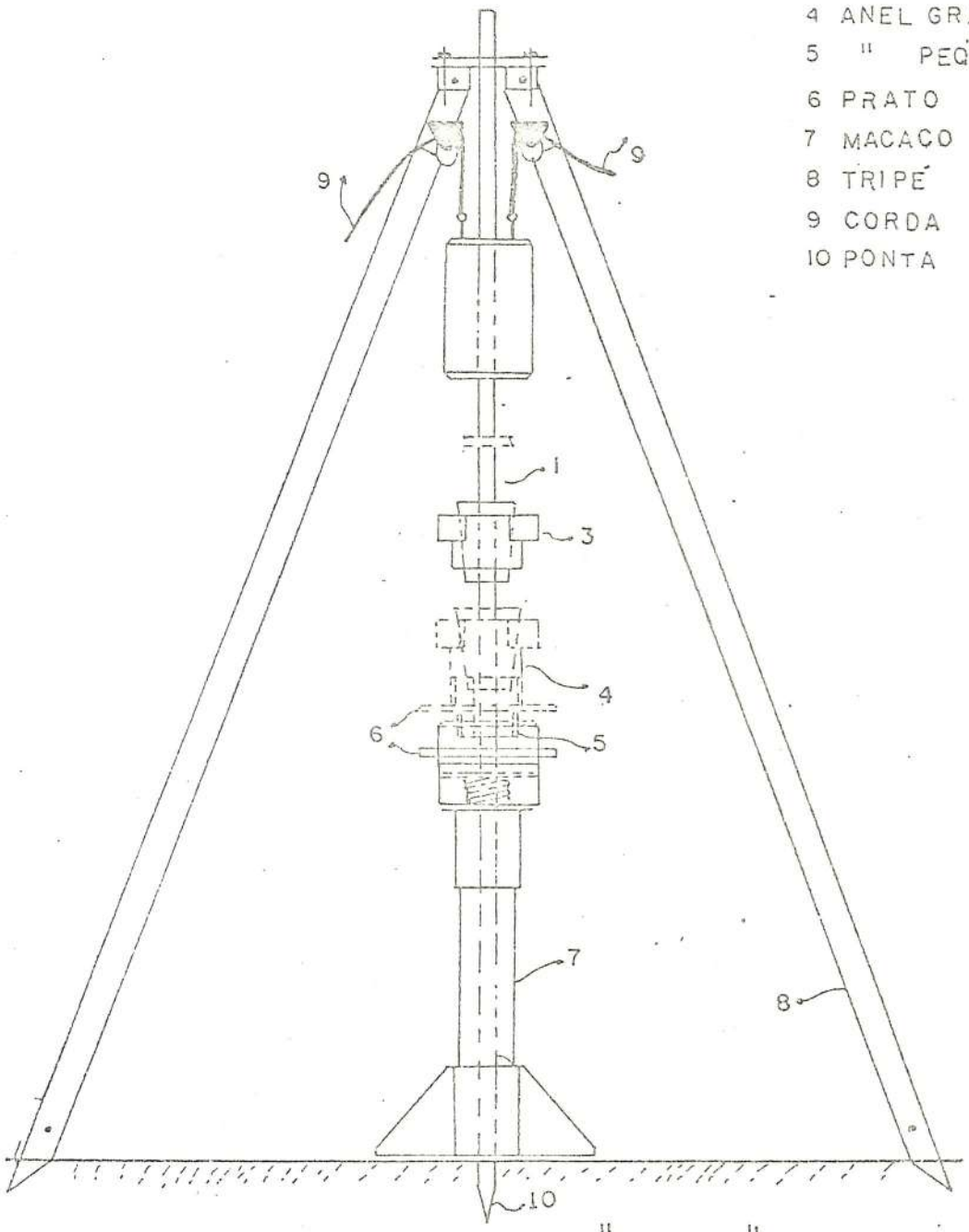


FIGURA 56 ESQUEMA SONDAGEM "BORRO"

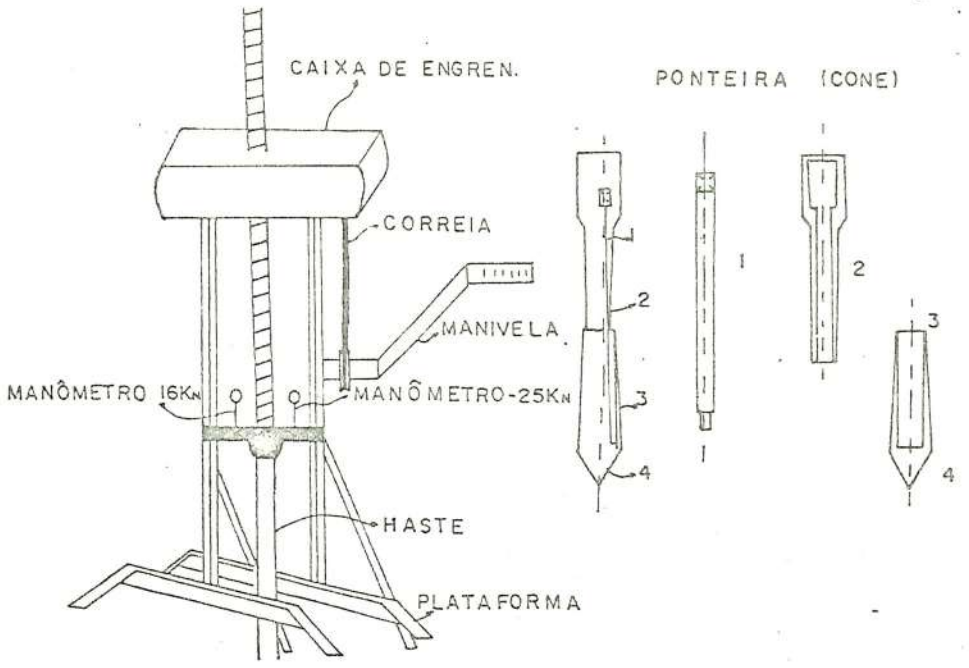


FIGURA 57 PENETRÔMETRO GOUDA DE 25 KN

A carga é aplicada através de uma manivela que a transmite às hastes e à ponta, devendo o equipamento ser fixado no solo através de 4 traves helicoidais.

O cone do penetrômetro (ponteira) possui um ângulo de 60º no vértice e uma secção de 10 cm^2. O equipamento pode ser observado na figura 57.

As medidas, no ensaio, são lidos em dois manômetros, um de 16 MPa para pressões menores e o outro de 25 MPa para as elevadas. As medidas da resistência de ponta são obtidas através da penetração da ponteira por 4cm, com uma velocidade de avanço, de 20 a 40 cm por minuto. Maiores detalhes quanto à metodologia podem ser obtidos em bibliografias específicas, tal como Cassan (1982). Há correlações desse ensaio com os valores obtidos com os penetrômetros dinâmicos, S.P.T., pressiômetros, etc.

6- Penetrômetros Manuais

Em muitas situações, a resistência ao cisalhamento dos materiais inconsolidados , são estimadas através dos penetrômetros manuais, como o "Model CT-700, Soiltest,Inc", utilizados por Ege et alii (1985) em regiões tropicais africanas.

7- Ensaio de Windsor

Metodologia muito utilizada para qualificação de concretos, mas na atualidade vem se firmando como uma boa maneira para qualificar rochas brandas. Na figura 58, pode-se observar um gráfico elaborado por Ladeira e Gomes (1985), que permite estimar a resistência a compressão simples, a partir desse ensaio.

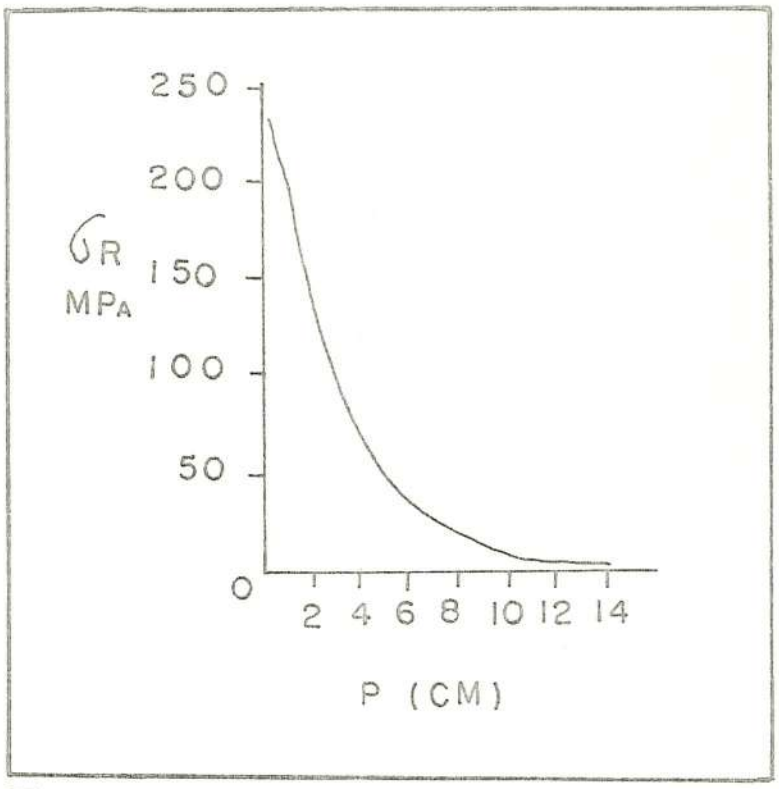


FIGURA 58 CORRELAÇÃO ENTRE A RESIST. A COMP. SIMPLES (σR) E A PENET. DOS PINOS (P).

6.2- Onde (local) obter os atributos

Neste tópico, será tratado do local de observação dos atributos, como também a forma e a validade destas observações. Diversos são os cuidados que devem ser tomados, assim como a sequência de observações, a saber:

6.2.1- Observação e Amostragem

Qualquer que seja a escala, pressupõe-se que a obtenção das informações deve ser realizada através de observações qualitativas e quantitativas. As observações qualitativas são realizadas em superfície e em subsuperfície através de poços, galerias ou similares, podendo ser informações semânticas e pragmáticas, de interesse para o entendimento do comportamento dos materiais frente as exigências das diversas formas de ocupação.

As observações quantitativas são normalmente obtidas através de análises de campo, sondagens e ensaios executados sobre amostras indeformadas ou deformadas. No mapeamento geotécnico prevalece o uso das amostras deformadas. As informações obtidas são numéricas e gráficas, que caracterizam os materiais, às vezes podendo ser usadas diretamente em projetos. As amostragens, para as devidas observações e ensaios, devem ser realizadas após um estudo preliminar da região, com o objetivo de delinear, áreas que possuem homogeneidade ou heterogeneidade, dentro de limites que satisfaçam as necessidades do trabalho.

Após o delineamento das diversas áreas homogêneas, (UNIDADE de terreno), amostragem deve ser executada de maneira que obedeça o mínimo exigido para a referida escala, considerando os limites da tabela 55. Observa-se que as escalas menores ou iguais a 1:100 000 exigem

o recurso das áreas chaves e para escalas maiores que 1:100 000, a amostragem deve ser para a região como um todo.

A área chave é muito utilizada nos mapeamentos geotécnicos realizados nos países do Leste Europeu e consiste da seleção de uma área de pequena extensão (20 a 30 km^2) dentro das áreas maiores consideradas homogêneas, delineadas anteriormente e é considerada como possuidora dos mesmos atributos e/ou faixa de valores. A área chave deve ser o local que represente melhor e de maneira mais completa as variações, (verticais e horizontais), que ocorrem dentro da área maior.

É aconselhável a escolha de uma única área chave para cada área maior (unidade de terreno) previamente delineada, desde que possua todas as variações do meio físico da unidade. Deve ser analisada cuidadosamente, tanto em termos qualitativos como quantitativos, e a amostragem deve ser dirigida de maneira tal que represente bem os atributos. A área chave deve ser escolhida, e observada, obedecendo as condições determinadas na tabela 55. Como observado anteriormente, é necessário que a amostragem propicie após a análise, resultados que possam ser extrapolados para a região maior (unidade). A extrapolação deve ser executada, qualquer que seja a escala do trabalho, visto que o número mínimo de pontos amostrados não tem significado estatístico. O número de pontos observados, proposto na tabela 55, foi baseado tanto na bibliografia (Karacsony e Remenyi, 1970, Matula e Pasek, 1964 e Oliveira, 1979), assim como em observações pessoais e análise das condições técnico-sócio econômicas do país. Para que a extrapolação tenha validade, é necessário entender que os valores ou informações devem ser creditados a uma área e não a situações pontuais, assim como deve-se respeitar os seguintes critérios:

1- As características obtidas qualitativamente dos materiais devem ser compatíveis com as exigências do trabalho.

2- Deve-se frisar as deficiências existentes próximas aos contatos entre as áreas (unidades) com características diferentes.

3- A extrapolação de propriedades e parâmetros obtidos através das correlações, deve ser executada respeitando a validade dos índices básicos, que foram fundamentais na estimativa, para a área em estudo.

4- A extrapolação a partir da área chave deverá estar condicionada ao grau de similaridade que existe entre esta e a área maior (unidade), em termos das variações dos atributos.

5- A extrapolação, a partir de dados obtidos em áreas similares (mesma origem geológica sob mesmas condições climáticas), porém não pertencentes a mesma situação geográfica, deve ser feita com as devidas ressalvas.

6- A extrapolação deve ser executada por profissionais experientes e que tenham condições técnicas de considerar o ato e o efeito da subjetividade.

A interpolação de dados pontuais, a partir de outros existentes, deve obedecer as seguintes limitações:

1- A distância entre os pontos ou locais existentes e o interpolado;

2- a homogeneidade da área (unidade) em termos dos diversos atributos;

3- quais os atributos ou valores interpolados para o ponto ou local;

4- a interpolação poderá ser obtida através de programa computacionais, não considerando a subjetividade;

5- a interpolação só deve ser executada quando não houver outra saída para a previsão do atributo e/ou valor;

6- estar atento, pois nem todo atributo pode ser interpolado;

7- a interpolação poderá não ser possível, em função da escala em que o mapeamento geotécnico está sendo realizado;

8- a interpolação será mais segura quando o atributo for medido em faixas de valores (2 a 5) ou condições (boa).

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

2- No caso de áreas homogêneas (unidade) com extensão inferior a 90 km^2, nos trabalhos em escalas entre 1:500 000 e 1:200 000 não deve ser selecionada área chave e a UNIDADE deve ser analisada como tal.

3- Nos trabalhos em escalas entre 1:100 000 e 1:75 000, as áreas homogêneas (unidades) com extensão próxima a 90 km^2 podem ser analisadas com o auxílio de 1 área chave.

		OBSERVAÇÃO MÍNIMA			ÁREA CHAVE* (30 km^2)	
		LOCAIS OBSERVADOS				
FINALIDADE	ESCALA	QUALITATIVAMENTE		QUANTITATIVAMENTE		
		Cristalino	Sedimentar		Escala	Ponto Obs
REGIONAL	1:500 000	1	1	1/15 km^2	1:50 000	1/2 km^2
GERAL	1:200 000	1	1/15 km^2		1:50 000	1/2 km^2
	1:100 000	2	2/10 km^2	1/10 km^2	1:25 000	1/ km^2
REGIONAL	1: 50 000	3	2/5 km^2	1/5 km^2		
	1: 25 000	5	3/5 km^2	1/ km^2		
URBANO	1: 10 000	15	10 km^2	3/ km^2		

TABELA 55: NÚMERO DE OBSERVAÇÕES MÍNIMAS PARA CADA SITUAÇÃO

6.3- ENSAIOS SOBRE OS MATERIAIS ROCHOSOS E INCONSOLIDADOS

1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em termos de ensaios a proposta, só se preocupa com a realização dos que permitem uma caracterização prévia dos materiais. Os ensaios que fornecem parâmetros geomecânicos usados diretamente em obras não são indicados para serem executados, por diversas razões:

a- Os ensaios de uso direto podem ser realizados "in situ" ou em laboratório. Os "in situ" são de difícil realização e os de laboratórios necessitam de equipamentos e condições especiais, tornando-se excessivamente onerosos e trabalhosos, em termos de mapeamento geotécnico.

b- São considerados pontuais e para que apresentem valores confiáveis, são necessários diversos ensaios sempre em quantidades que podem ser tratadas estatisticamente, o que inviabilizaria a cartografia geotécnica, pois a mesma substituiria a investigação local.

c- Estas propriedades normalmente determinadas e medidas através de ensaios complexos, deverão ser apenas estimadas através de ensaios de caracterização correntes ou através de outros atributos observados nas diferentes etapas do trabalho.

2- Os ensaios que devem ser realizados nos materiais inconsolidados são:

a- Granulometria

Este ensaio deve ser realizado obedecendo a norma NBR 7181/82.

Através do resultado representado pela curva granulométrica, é possível determinar a textura dos materiais, homogeneidade, observar a sua graduação, obter o diâmetro

efetivo (D10 ou De), assim como o D60 que é utilizado na determinação do coeficiente de não uniformidade.

Para alguns materiais inconsolidados, além de classificá-los, é possível estimar a permeabilidade, a resistência do material e outras propriedades de interesse, através do ensaio granulométrico.

b- Limites de Atterberg (LL,LP e LC)

Os limites de liquidez, de plasticidade e de contração devem ser realizados segundo as normas NBR 718/82,6459/80 ou NB-055/69, 031/77 e 030/77.

Estes ensaios, juntamente com o ensaio granulométrico, permitem enquadrar os materiais inconsolidados em classificações como a U.S.C., como também possibilitam uma estimativa de diversas propriedades de interesse para a engenharia e áreas correlatas.

c- Massa Específica dos Sólidos (ρs)

A realização deste ensaio deve obedecer a norma NBR 6508/80. O resultado do mesmo é utilizado para auxiliar na determinação de outros índices físicos e nos cálculos do ensaio granulométrico.

d- Ensaio de Compactação

Ensaio desenvolvido por Proctor, deve ser executado segundo a norma NBR 7182/82, é também denominado de Ensaio Normal de Compactação.

Fornece a umidade ótima (Wot) e a massa específica seca máxima ($\rho dmax$) do material, podendo-se ainda obter as curvas de saturação (S_R-%). Estes dados são utilizados na previsão de uso do material como aterro, assim como possibilita controle do grau de compactação. Algumas corre-

lações podem ser obtidas quando se considera o material compactado.

e- Mineralogia

Para os materiais inconsolidados a análise mineralógica deve ser feita para as partes grosseira e fina separadamente. A parte grosseira pode ser feita com o auxílio de lupas, distinguindo-se as minerais através das características mais comuns citadas por Dana (1960) e Leinz e Campos (1977). Para a parte fina, pode-se optar pela aplicação do raio - X, porém o processo é muito caro. Outros meios para determinar os minerais argilosos ou seus grupos são utilizados, sendo mais conhecidos os que fazem uso de corantes orgânicos (descritos em Gandolfi et alii 1980) e o de absorção azul de metileno (LAN, 1981). Apesar as limitações, estes métodos permitem a determinar, com boa aproximação, dos grupos de minerais argilosos, possibilitando assim estimar uma série de propriedades, como por exemplo a expansibilidade.

f- Ensaios do Comportamento Laterítico

Estes ensaios foram desenvolvidos por Villibor e Nogami (desde a década de 70) para suprir as deficiências resultantes da aplicação dos ensaios tradicionais em solos formados em clima tropical, com comportamento laterítico. A intenção inicial dos autores foi usar os resultados na execução de pavimentos de baixo custo.

Atualmente, os ensaios estão sendo realizados nos materiais sobre os quais se assentarão obras como aeroportos, estacionamentos e aterros, são de fácil execução e os resultados apresentados também são adequados para o uso nas obras citadas.

A descrição dos equipamentos, a execução dos ensaios a obtenção dos resultados e suas análises, encontram - se em VILLIBOR (1982) e a nova classificação, de solos tabela 81 , com bases nestes ensaios, encontra-se em Nogami e Villibor (1985).

Os ensaios executados para a classificação dos materiais são o Mini-M.C.V. - (Moisture Conteut Value) e o de perda por imersão (PI), com os valores obtidos chega-se aos índices "e" e o coeficiente "c", tabela 81, que permitem a classificação dos materiais.

Outros ensaios podem ser realizados, usando os mesmos conhecimentos e limitações tais como: permeabilidade, sucção capilar, contração, etc. Estes ensaios permitem a análise e a estimativa do comportamento dos materiais no estado compactado.

g- Caracterização de Agregados

A análise dos materiais inconsolidados deve ser precedida de uma divisão, ou seja, as cascalheiras, os materiais arenosos e os argilosos.

As cascalheiras devem ser estudadas, no caso do mapeamento geotécnico, através de uma análise qualitativa,em termos de forma e dimensões dos cascalhos, mineralogia, dimensões da jazida, potencial para exploração e possíveis usos. No mapeamento geotécnico, as cascalheiras devem ter suas locações indicadas e algumas de suas características citadas preliminarmente.

Os materiais arenosos, numa primeira fase devem ser analisados qualitativamente para observar a mineralogia, presença de matéria orgânica e restos de rochas. A realização do ensaio do "Equivalente de Areia" fornece um parâmetro seletivo para o uso do material inconsolidado

e a sua execução deve-se basear na norma DNER-DPT-M54-63 e na descrição de Gandolfi et alii (1980); outros ensaios mais específicos podem ser realizados em fases de investigação mais específicas.

As ocorrências de materiais argilosos devem ser registradas, para que estudos futuros, mais detalhados, sejam realizados visando o uso no fabrico de cerâmicas, telhas, tijolos, etc.

h- Densidade Relativa

É uma propriedade que relaciona o índice de vazios de campo (eo) com os valores máximos e mínimos de "e" obtidos em laboratório, $Dr = \frac{e\ max - eo}{e\ max - e\ min}$.

O conhecimento deste índice é de grande importância para estimativa de outras propriedades (compressibilidade, compacidade, resistência), assim como para avaliar o grau de comapctação natural em que o solo se encontra em relação ao ρd máximo.

A eficiência do índice "Dr" para estimar o comportamento de materiais inconsolidados não coesivos é muito discutida, devido às condições de obtenção do estado fofo e denso em laboratório. Os resultados obtidos podem não ser o absoluto, porém muito próximos; e segundo Bowles (1979), Holtz (1973), Tavenas et alii (1973), Vargas (1977), Tiedemann (1973), Selig e Ladd (1973), Townsend (1973) podem ser utilizados para diversos fins, principalmente quando associado a índices tais como granulometria, forma, tamanho e angularidade das partículas.

A densidade relativa (Dr), pode ser obtida, segundo a bibliografia, para materiais desde areias puras até siltes puros e areias argilosas ou siltosas, siltes arenosos e outros materiais resultantes da interação das di-

versas texturas, sempre com pequena porção de argilas, siltes e colóides. Os materiais inconsolidados (considerados não coesivos), na sua grande maioria possuem quantidades apreciáveis de finos (siltes e argilas) e para os quais as obtenções de ρd max e ρd min são problemáticas e devem ser executadas observando-se principalmente a umidade.

A densidade relativa pode ser obtida por mais de uma dezena de métodos, porém os mais comentados e utilizados são o método do ASTM 2049-69 e o ensaio de proctor para a obtenção do ρd max ou "e" min e ambos apresentam bons resultados, considerando suas particularidades. Para a obtenção de Dr é necessário determinar ρd campo, ρd máx, ρd min, ou "e" campo, "e" max e "e" min.

O ensaio estabelecido pela ASTM apresenta dificuldade na obtenção do ρd máx, devido ao equipamento necessário, porém não há problemas para determinar o "ρd min". Devido às dificuldades de equipamento e técnica, o "ρd máx" pode ser obtido através do proctor normal, já que segundo Tavenas et alii (1973) e Townsend (1973), os resultados obtidos pelo proctor e pelo ASTM não são muito diversos, principalmente quando o material possui uma parcela de partículas menores que a abertura da peneira 200.

a- Obtenção do "ρd campo" ou "e campo"

Deve ser determinado através de um anel de volume conhecido (D=10cm e H=5cm), retirando uma amostra indeformada para o volume do cilindro, levando a laboratório, secando-a e obtendo-se a massa seca, dai calculando-se:

$$\rho_{d\ campo} = \frac{Ms}{V\ anel} \qquad e\ campo = \frac{\rho s}{\rho d\ campo} - 1$$

O "ρd campo" e o "e campo" podem ser utilizados para a estimativa de propriedades como a compressibilidade e a permeabilidade, podendo ser obtida tanto para materiais finos como grosseiros. O "e campo" é também utilizado na determinação do "Dr".

b- Obtenção do "ρd min" ou "e max"

Deve ser determinado através do método descrito pelo ASTM - 2049-69, com modificações no volume do molde para aproximadamente 1.000 cm^3.

c- Obtenção do "ρd max" ou "e min"

Devido às condições laboratoriais e dos materiais arenosos que possuem finos, o melhor método para obtenção é através do ensaio de proctor normal. Os resultados são muito próximos aos obtidos pelos outros métodos, inclusive o ASTM - 2049-69. Além da facilidade de execução, é fácil dispor do equipamento para proctor, lembrando que a parte fina dos solos (tropicais), são consideradas no resultado, o que não acontece no caso do uso do ASTM - 2049-69.

3- ENSAIOS PARA MATERIAIS ROCHOSOS

Propõe-se apenas a realização dos ensaios que poderão servir a caracterização dos materiais rochosos para a previsão de outras propriedades.

a- Densidade

As densidades absoluta ou relativa, podem ser obtidas de diversos mecanismos, conforme execuções descritas em Gandolfi et alii (1980).

b- Mineralogia

Deve ser realizada segundo a norma NBR-7390/82.

Uma análise petrográfica executada de acordo com as normas previstas pode ser o suficiente para eliminar certos materiais, permitindo um maior detalhamento sobre os outros que apresentam boas características para os fins previstos.

c- Ensaios de Resistência

Para o mapeamento geotécnico, três ensaios são considerados : resistência à compressão simples, carga pontual e esclerometria.

O ensaio de compressão simples deve ser executado conforme descrito por Gandolfi et alii (1980).

Para sua execução, existem certas dificuldades na obtenção dos corpos de prova e por este motivo propõe-se ensaios que permitem correlações com a resistência a compressão simples, tais como o ensaio de carga pontual e o de esclerometria.

O ensaio de carga pontual deve ser executado conforme processo descrito por Gandolfi et alii (1980) e I.S.R.M(1972, 1985), procurando obter ou usar uma correlação com a resistência a compressão simples. Diversas sistemáticas de mapeamento geotécnico adotam o uso da carga pontual para estimar a resistência, como exemplo a da Inglaterra.

O esclerômetro de Schmidt é também usado para estimar a resistência a compressão simples e o ensaio pode ser executado conforme descrito a seguir.

C-1- Esclerômetro (Martelo) Schmidt

A resistência pode ser estimada através do ensaio com o esclerômetro de Schmidt, que registra o ressalto (r) de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície de um material rochoso.

Este ensaio pode ser realizado com o tipo mais adequado de martelo, dentre os dois a seguir citados.

- Martelo "N", com uma energia de impacto de 2,2 MN
- Martelo "L", com uma energia de impacto de 0,7 MN

É aconselhável o uso do martelo "L" para rochas levemente intemperizadas e onde as superfícies apresentam anomalias (rugosidade, fissuras próximas), pois o martelo maior poderá provocar erros na obtenção do número "r" (dureza Schmidt).

A resistência a compressão simples pode ser estimada através dos abacos de Deere e Miller (1966), figura 59, que correlaciona a massa específica seca, o número "r" e a referida resistência. Segundo Coelho (1980), as estimativas obtidas para grupos de rochas similares (calcáreas), figura 51, não são discordantes dos resultados obtidos pelo ensaio de compressão simples.

Segundo a proposta de De Beer (1967), os materiais podem ser classificados através da tabela 56.

419

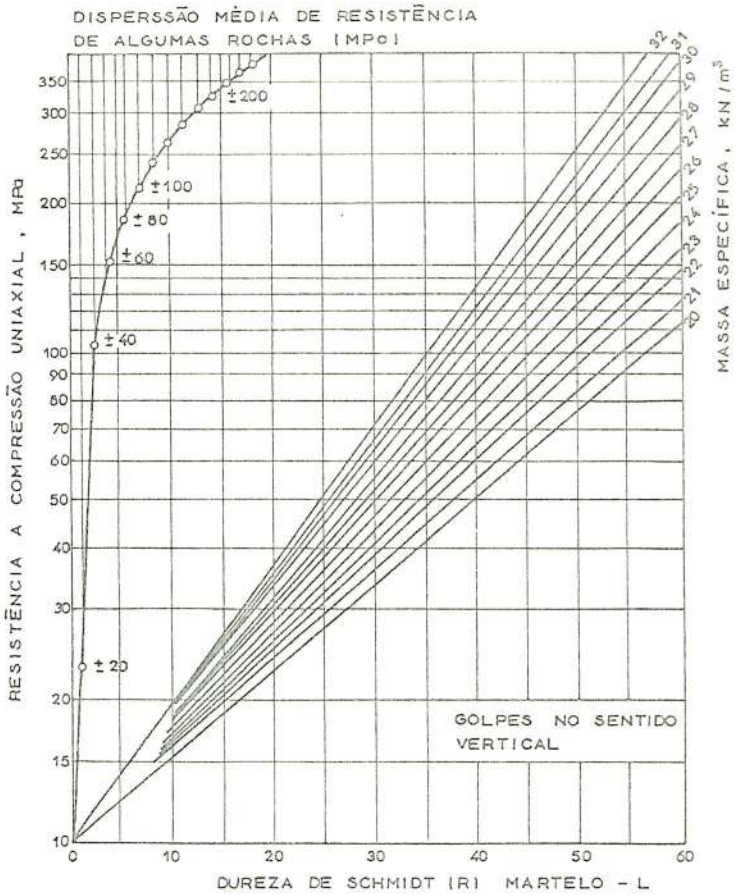


FIGURA 59- Diagrama para Determinação da Resistência a Compressão Simples a partir da Dureza de Schmidt e o peso Específico

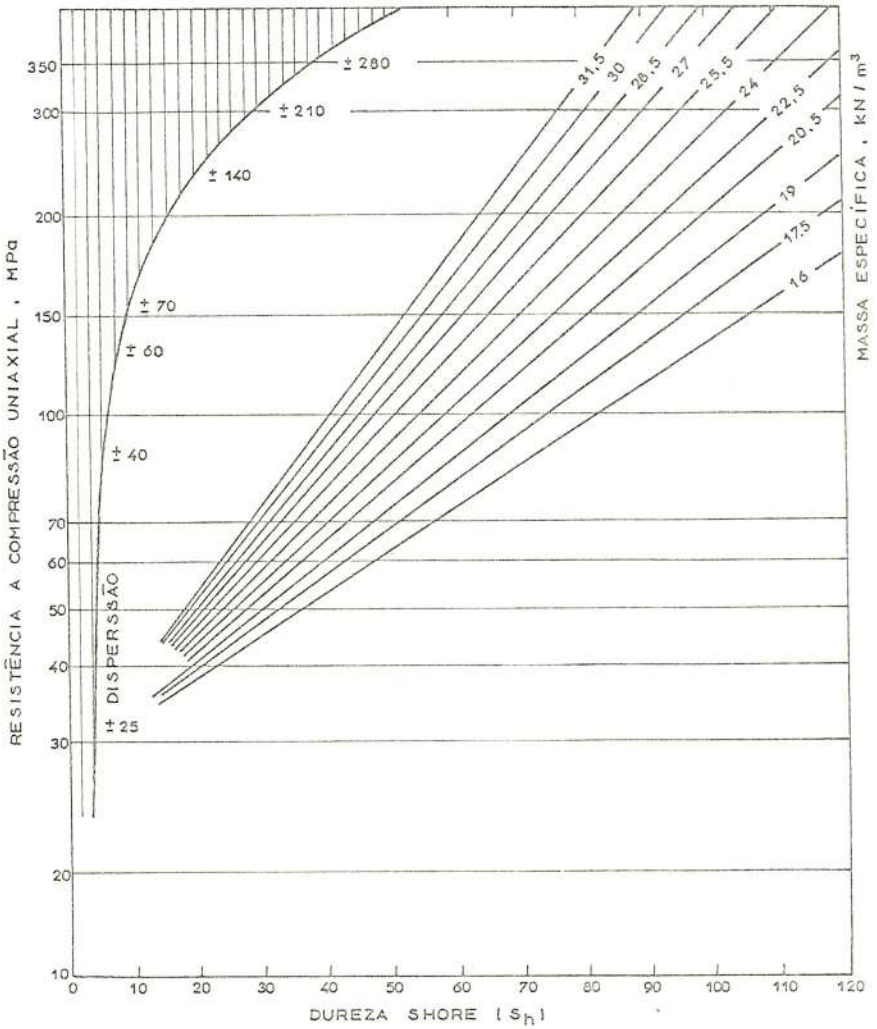


FIGURA 60- Relação entre a Resistência a Compressão Simples e a Dureza de Shore (Sh)

TABELA 56: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS SEGUNDO De Beer (1967)

CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO (%)	VARIAÇÃO DO Nº DE RESSALTOS DO MARTELO DE SCHMIDT (r)	DENSIDADE SECA MÉDIA (g/cm^3)	SANIDADE DO MATERIAL
1	> 60	> 2,85	completamente sã (duríssima)
2	45 - 60	2,72 - 2,85	rocha muito dura
8	30 - 45	2,57 - 2,69	rocha dura
12	24 - 30	2,43 - 2,65	rocha fofa
15	20 - 24	2,35	rocha muito fofa
-	16 - 20	-	solo muito rijo

C-2- Escleroscópio de Shore

É um equipamento que permite obter a dureza de um material rochoso sem destruir as amostras. Os valores relativos de dureza são obtidos através da altura de ressalto de um pino de diamante, que é percutido na superfície do material, de uma altura de 25cm. A I.S.R.M. recomenda que a amostra deve ter uma superfície mínima de $10cm^2$ e uma espessura de 1cm, e que no mínimo 20 determinações deverão ser feitas, distanciadas 5mm uma da outra.

Rabia e Brook (1979), verificaram que a dureza de Shore depende do volume da amostra testada e não somente da largura e área; e aconselharam um volume mínimo de $40cm^3$.

Segundo Deere e Miller (1966), o equipamento funciona para rochas com resistência superior a 35 MPa.

Na figura 60, pode-se observar a relação entre a resistência a compressãouniaxial e a Dureza de Shore (Sh).

C-3- Ensaios em Rochas Para Uso Como Agregados

Para os propósitos do mapeamento geotécnico, o interesse é selecionar preliminarmente os materiais rochosos que potencialmente podem ser usados como agregado e como fonte de material para uso ornamental. Para estes usos propõe-se que a seleção deve-se inciar por uma análise qualitativa em termos da mineralogia, textura, análise dos efeitos estruturais, existência de minerais deletérios, extensão da ocorrência, possibilidades de extração, grau de intemperismo, etc. Em fase posterior, podem ser executados ensaios, tais como o Los Angeles e de alterabilidade, que tem suas execuções descritas em Gandolfi et alii (1980), os de massa específica aparente seca e saturada, absorção d'agua e porosidade aparente, que devem ser executados segundo o método IPT.M-47 ou a Norma NB-28 da ABNT. Estes ensaios citados são muito utilizados quando os materiais deverão ser utilizados como agregados e se aplicam também para materiais ornamentais. Outros ensaios são exigidos para a caracterização dos materiais rochosos para que sejam utilizados como materiais de construção, porém sua execução não se justifica no mapeamento geotécnico.

C-4- Considerações e Classificação dos Materiais Rochosos em Termos de Resistência

Não será considerda a resistência do maciço rochoso como um todo, mas sim a de cada tipo rochoso existente. Qualquer material rochoso com resistência a compressão uniaxial menor que 1,25 MN/m^2 deve ser tratado e descrito como material inconsolidado. A classificação dos materiais rochosos por meio dos dados obtidos pelos ensaios de compressão miaxial e de carga pontual deve obedecer os seguintes limites:

CLASSE	CARGA PONTUAL	COMPRESSÃO SIMPLES
Muito resistente	> 6000 KN/m^2	> 100 MN/m^2
Mediamente res.	750 - 6000 KN/m^2	1,25 - 100 MN/m^2
Pouco resisten.	< 750 KN/m^2	< 12,5 MN/m^2

Os limites foram obtidos nas seguintes referências bibliográficas: Anom (1972), I.A.E.G. (1976) e Franklin et al (1970).

Segundo Franklin et al (1970), a resistência à compressão simples é considerada 24 vezes a da carga pontual; para D'ANDREA et al (1965), a relação é de 60 vezes.

6.4- PROPRIEDADES ESTIMADAS

1- CONSIDERAÇÕES

As propriedades discutidas a seguir, apresentam dificuldades para as suas obtenções, tais como: problemas com equipamentos, custo alto para retirada das amostras e a execução dos ensaios e problemas de representabilidade além disso, os resultados sempre variam numa faixa de valores para amostras retiradas de pontos diferentes de um mesmo material. Por estes motivos, a estimativa destas propriedades em função de outros índices e a obtenção através de equipamentos menos sofisticados é aconselhável para os propósitos do mapeamento geotécnico.

A estimativa das propriedades deve permitir a classificação dos materiais em faixas (alta, média e baixa) que devem possuir limites preliminarmente definidos, possibilitando ao usuário, um conhecimento preliminar do comportamento dos materiais.

2- PERMEABILIDADE

Entende-se que o termo permeabilidade, significa a maior ou menor facilidade com que os líquidos percolam materiais, normalmente quantificada pelo coeficiente de permeabilidade (K), que representa a velocidade com que os líquidos percolam.

A permeabilidade é um dos atributos que condicionam o comportamento dos terrenos em termos da drenagem natural e da drenabilidade.

- Drenagem Natural

Representa as condições existentes para que as águas superficiais e subsuperficiais percolem, sendo portanto função da permeabilidade dos materiais e das inclinações das encostas.

- Drenabilidade

Significa a capacidade que os terrenos possuem para que ocorra o escoamento livre das águas (sem bombeamentos), considerando somente a permeabilidade dos terrenos e a profundidade do nível das águas.

Adota-se, para o mapeamento geotécnico, três (3) classes de materiais, caracterizadas pelos seguintes limites, em termos de coeficiente de permeabilidade:

- Materiais permeáveis (ALTA) $K > 10^{-3}$ cm/s

- Materiais semi-permeáveis (RAZOÁVEL) $10^{-5} < K < 10^{-3}$ cm/s

- Materiais impermeáveis (MÁ) $K < 10^{-5}$ cm/s

O coeficiente de permeabilidade pode ser estimado com base em diversos índices, para os materiais inconsolidados:

1- Através da curva granulométrica, analisando-se o material é contínuo ou não, homogêneo ou não, sua compacidade no campo e se existem estruturas favoráveis à percolação das águas. Esta sistemática é muito utilizada pelos profissionais ligados a pedologia (Lepsh et alii, 1983).

2- Ainda através da curva granulométrica, é possível utilizar correlações que se baseiam em parâmetros, tal como no d_{10} (diâmetro efetivo), para materiais granulares.

- Fórmula de Hazen (1911)

$K = C \cdot D_{10}^{2}{}_{(cm)}$, onde C varia entre 40 e 150, dependendo da porcentagem de finos, sendo mais utilizável o valor 100.

Segundo Hazen, o valor de "C" varia com as seguintes características:

C	CARACTERÍSTICAS
40 - 80	areias muito finas, bem graduadas ou com porcentagem apreciáveis de finos
80 - 120	areias médias, mau graduadas, limpas, grossas mas bem graduadas
120 - 150	areias muito grossa, pobremente graduadas, cascalhos, limpa

3- Através da curva granulométrica, é possível obter a curva de vazios pelo método proposto por Silveira (1964) e consequentemente do diâmetro efetivo de vazios ($\overline{d_{10}}$). A partir do $\overline{d}_{10}$, pode-se estimar o coeficiente de permeabilidade através das correlações citadas por Silveira e Peixoto Jr (1982):

- $K = 0{,}38 \cdot \overline{d_{10}}$

- $K = 0{,}34 \cdot \overline{d_{10}}$

sendo $\overline{d_{10}}$ em mm e K em 10^{-2} cm/s, considerando F= 20ºC e Sr = 100% para vazios tangente e equivalente respectivamente.

4- Pode ser obtido através das correlações propostas por Honorato e Mackenna (1982).

$$K = 14{,}266 \frac{D_{50}^{2{,}19735}}{\gamma_d^{8{,}50784}}$$ - usado para condições mais superficiais.

$$K = 0{,}3652 \frac{D_{50}^{1{,}9873}}{Dr^{0{,}8145}} \cdot \left(\frac{D_{16}}{D_{84}}\right)^{0{,}89894}$$

usado para condições mais profundas

$$K = 0{,}684322 \left(\frac{D_{16}}{D_{84}}\right)^{1.0011} \cdot D_{50}^{2{,}041}$$

$$K = 318{,}460 \cdot \frac{n^{4{,}65737}}{(Se)^{2{,}14067}}$$

K= cm/s

D_{16}, D_{84}, D_{50} — mm

$\gamma d = g/cm^3$

$Se = cm^{-1}$

$Dr, n = \%$

5- Outras correlações podem ser utilizadas, conforme citado em Peixoto Jr (1972).

A permeabilidade de maciços rochosos pode ser estimada através do seu estado de fraturamento, como proposto nas tabelas 76 e 77.

3- COMPRESSIBILIDADE

Entende-se por compressibilidade a diminuição de volume que os materiais podem apresentar quando estiverem sob carga. Considerando que o componente sólido e a água são incompressíveis, o que deve ocorrer é a diminuição dos vazios. A estimativa desta propriedade pode ser feita através das correlações entre as características dos materiais e o índice de

compressão (Cc). O índice de compressão (Cc) normalmente é obtido em ensaio laboratorial (adensamento) através da parte retilínea da curva obtida pelos parâmetros ($\Delta\sigma$ x "e"). Diversos autores citam que há um paralelismo entre a reta obtida no gráfico nº de golpes x LL e a citada anteriormente para obtenção do Cc; justificando desta maneira a estimativa de Cc a partir do LL.

1- A correlação mais conhecida é a proposta por Skempton (Apud Vargas, 1982), onde:

- CC = 0,007 (LL-10%), para materiais amolgados

- CC^{*} = 1,3 . CC = 0,009 (LL-10%), para materiais argilosos de média a baixa sensitividade "in situ".

Em trabalho mais recente, Nagaraj e Murthy (1983) investigaram os fatores que interferem no resultado de "Cc" obtido em laboratório. A partir da análise, diversas interações matemáticas, foram executadas na fórmula $Cc = e/\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, resultando na seguinte expressão:

$Cc = \rho_s . \rho_w . S . 10^{-4} . 17,9$, onde S é a superfície específica do solo em m^2/g. Com as devidas substituições obtiveram a seguinte expressão: Cc = 0,00715 (LL-9,46), que é muito próxima à proposta por Skempton (1944) para argilas normalmente adensadas, saturadas e não cimentadas.

2- As seguintes correlações foram obtidas por Cozzolino (1961):

- Cc = 0,186 (LL-30%) $\pm$ 0,41, para as argilas moles de Santos - SP.

- CC = 0,0046 (LL-9) $\pm$ 0,086, para as argilas rijas de São Paulo.

3- Vargas (1974) obteve as seguintes correlações:

- $Cc = 0,0045\ (LL + 20) \pm 0,03$ para materiais saprolíticos de gnaisses (remoldados)

- $Cc = 0,0042\ (LL + 39) \pm 0,10$, para os mesmos solos sem remoldagem

- $Cc = 0,005\ (LL + 22) \pm 0,10$, para os materiais porosos ou não, originados dos arenitos, basaltos e argilas terciárias.

4- Nuñez e Micucci (1985) obtiveram, para solos residuais de basalto que ocorrem ao Ne da Argentina e a Se do Paraguai, as seguintes correlações:

- $Cc = 0,68\ (eo - 0,74) \pm 0,07$, onde "eo" é o índice de vazios para o material compactado.

- $Cc = 0,68\ (eo - 0,64) \pm 1$ para amostras indeformadas onde "eo" é o índice de vazio natural

5- Correlações Carrier III e Beckman (1984) e Carrier III (1985) propõem um conjunto de correlações para estimativa de propriedades de argilas, através dos índices básicos como os limites de Atterberg, índice de atividade e de vazios.
Carrier III e Beckman (1984), propuseram os procedimentos das figuras 61 e 62, para estimar preliminarmente a resistência ao cisalhamento não drenada para argilas remoldadas e a permeabilidade. Dando continuidade ao trabalho anterior, Carrier III (1985) propos as correlações das figuras 63 e 64 para a obtenção dos índices de compressibilidade (Cc) e de consolidação (Cv), todas as correlações foram obtidas através da análise de diversos tipos de argilas, considerando as situações mais variadas.

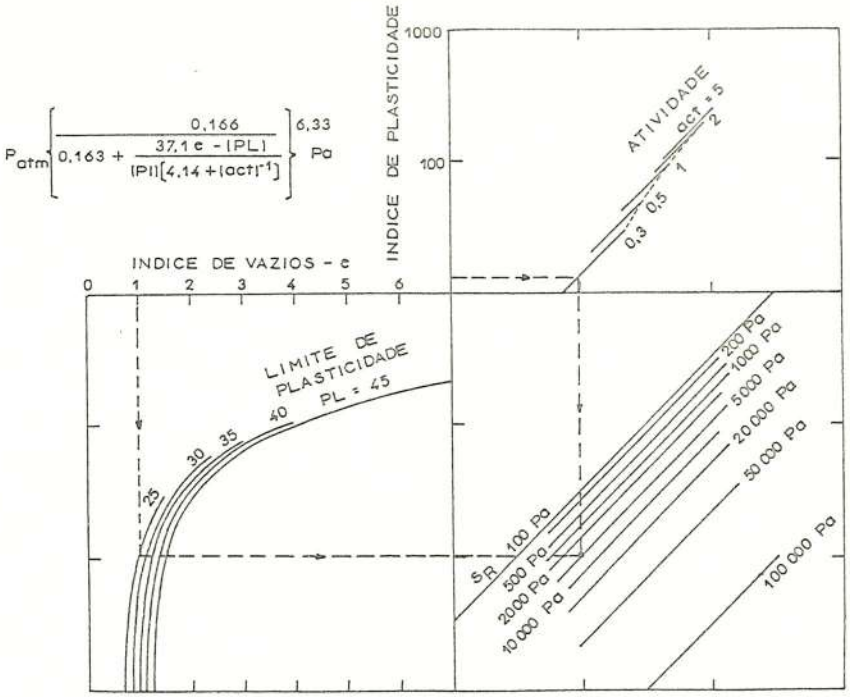


FIGURA 61- Resistência ao Cisalhamento não Drenado e Remoldada

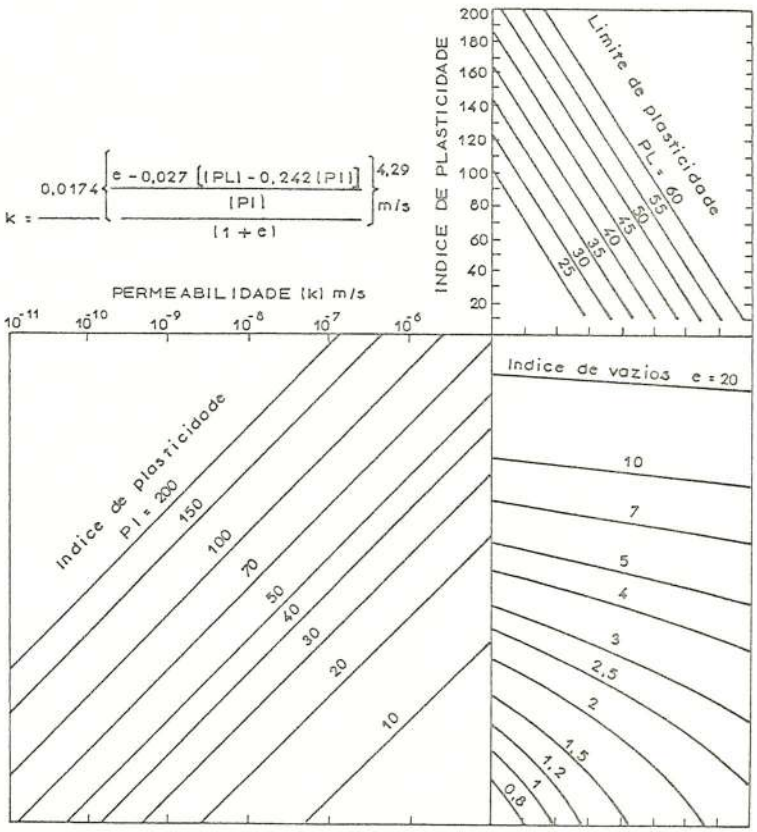


FIGURA 62- Permeabilidade

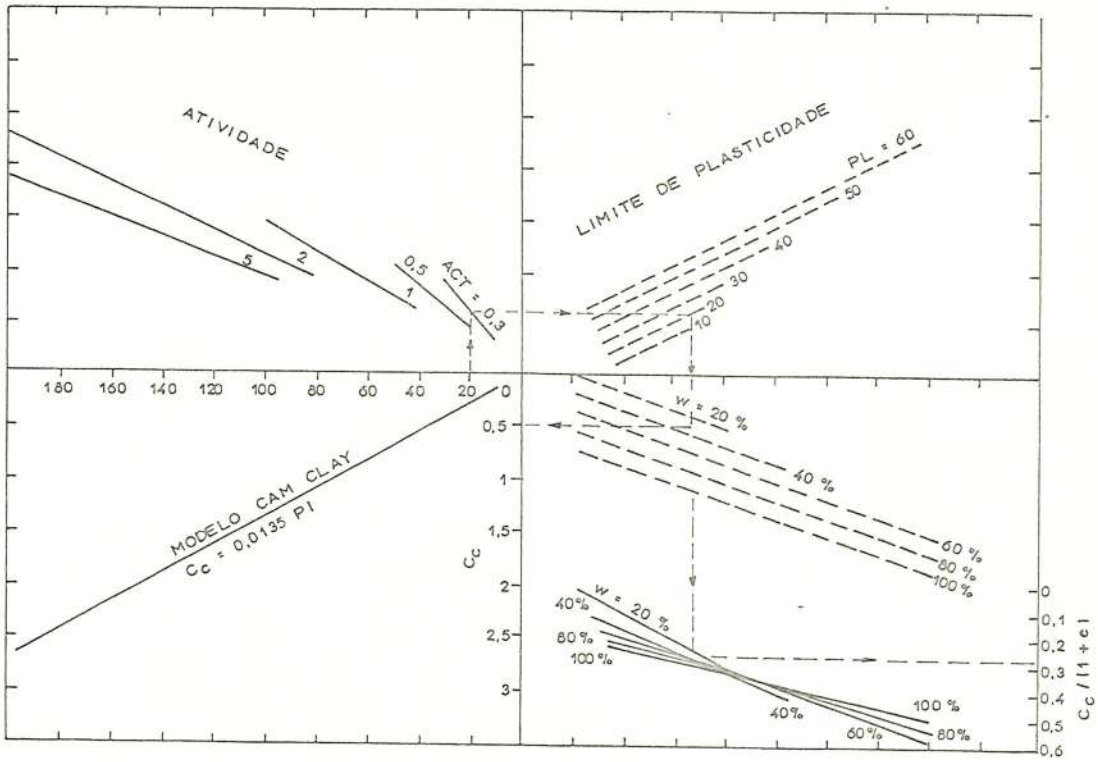


FIGURA 63- Índice de Compressão e Índice de Compressão Normalizado

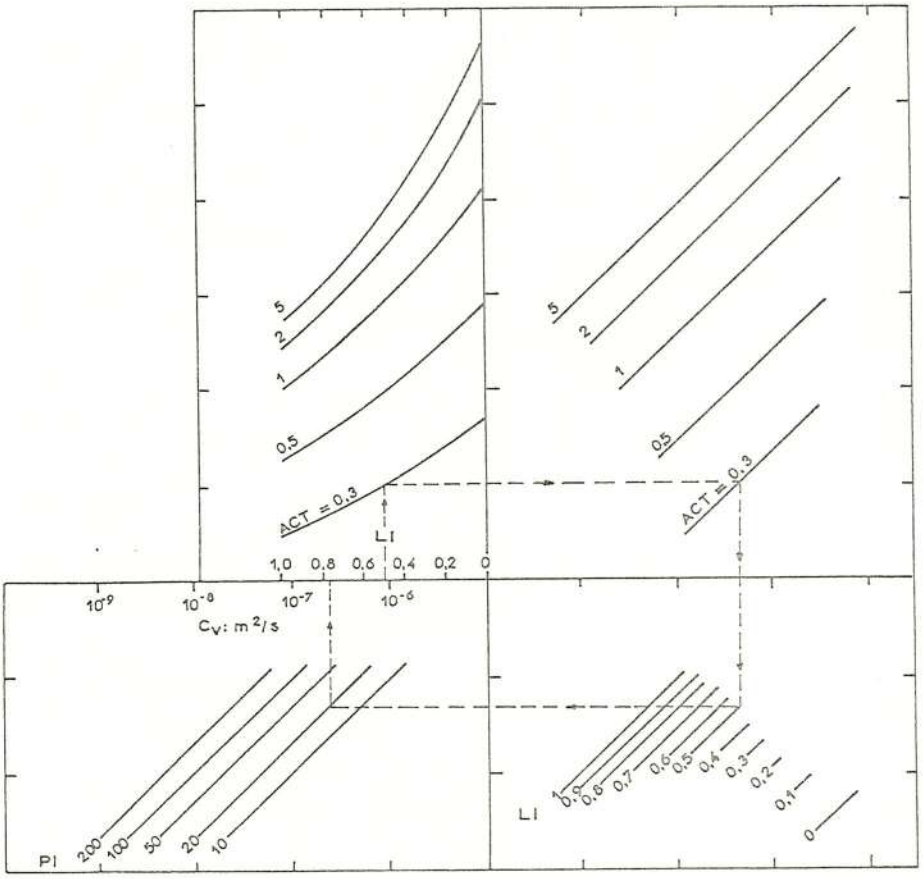


FIGURA 64- Coeficiente de Consolidação

6- Resumo das principais correlações (Tabela 57)

4- EXPANSIBILIDADE

É caracterizada pelo aumento de volume de um dado material, normalmente devido à absorção de água pelos minerais argilosos dos tipos 2:2, 2:1 e mesmo 1:1 (quando apresentam-se de forma sanfonada), ou também em função da retirada de carga.

Existem alguns meios que permitem, com determinada segurança, a previsão da expansibilidade dos materiais, sempre baseados nos tipos de minerais expansivos e nas porcentagens em que ocorrem:

1- Através da análise mineralógica, com a determinação das argilas esmectitas pelo método colorimétrico descrito por Gandolfi et alii (1980)e Costa (1973).

2- através do ensaio de perda por imersão, definifo por Villibor e Nogami (1982);

3- pelo ensaio de capacidade de troca catiônica (CTC), método utilizado em pedologia, que permite estimar a presença ou não de minerais expansivos;

4- por meio da taxa de absorção do azul de metileno pelos materiais, também pode-se estimar a presença dos minerais expansivos; o ensaio deve ser realizado conforme técnica proposta por Tran Ngoc Lan (1981).

5- RESISTÊNCIA

A resistência de um material pode ser enfocada quanto às diversas condições de tensões e a sua natureza.

Para os materiais inconsolidados, a resistência ao cisalhamento é a mais exigida e normalmente é retratada através da coesão (C) e do ângulo de atrito interno (Ø), que variam em função do tipo e origem. Estes parâmetros normalmente são

TABELA 57: CORRELAÇÕES PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE COMPRESSÃO

FONTE: NAGARAJ ET AL (1986)

EQUAÇÃO	REFERÊNCIA	REGIÕES E CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE	
		DA REFERÊNCIA	NO TRABALHO (FONTE)
Cc = 0,007 (LL-10)	Skempton (1974)	Argilas remoldadas	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 0,009 (LL-10)	Terzaghi e Peck (1948)	Normalmente consolidada; sensi vidade moderada	sensividade moderada, S < 5
Cc = 0,01 . WN	Koppula (1981)	Argilas de Alberta e Chicago	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 0,0115 . WN	Bowler (1979)	Argilas e siltes orgânicos	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 1,15 (e - eo)	Nchida (1956)	Todas argilas	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 1,15 (e - 0,35)	Nishida (1956)	Todas argilas	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 0,54 (en - 0,35)	Nishida (1956)	Solos naturais	normalmente consolidada, S < 1,5
Cc = 0,75 (eo - 0,50)	Bowler (1979)	Solos com baixa plasticidade	sensividade moderada, S < 5
Cc = 0,0046 (LL - 9)	Bowler (1979)	Argilas brasileiras	moderadamente sobre consolidada
Cc = 1,21+1,055 (eo-1,87)	Bowler (1979)	Argilas variegada da cidade de São Paulo	sensividade alta, S > 5
Cc = 0,30 (eo - 0,27)	Hough (1957)	Argila siltosa, areia siltosa inorgância	sobre consolidada
Cc = 0,208 (eo - 0,0083)	Bowler (1979)	Argilas de Chicago	moderadamente sobre consolidada
Cc = 0,156 (eo + 0,0107)	Bowler (1979)	Todas argilas	moderadamente sobre consolidada
$Cc = 0,5\ (\gamma w/\gamma d^2)^{1,2}$	Oswald (1980)	Solos de todos os tipos e	não aplicada a nenhuma condição

obtidos através de ensaios laboratoriais sobre amostras indeformadas e/ou compactadadas. Estes ensaios são de difícil execução e onerosos; assim, os parâmetros "C" e "Ø" são, na grande maioria das vezes, estimados através de sondagens, como SPT e C.P.T., entre outras.

Em muitos casos, outros parâmetros são obtidos a partir das sondagens e que também retratam a resistência dos materiais.

Para a avaliação da resistência dos materiais rochosos, são necessários equipamentos mais complexos e onerosos do que para os inconsolidados. O ensaio mais comumente realizado, é o de compressão uniaxial, que mesmo sendo o mais simples, exige o trabalhamento do corpo de prova, que onera e dificulta a sua execução.

A resistência dos materiais, no caso do mapeamento geotécnico, deve ser estimada ou mesmo inferida a partir de observações que permitam classificá-los em faixas (alta, média e baixa resistência), que são determinadas por meio de diversas características, conforme pode se observar na tabela 59.

As observações dos materiais inconsolidados e rochosos podem ser executados preliminarmente, seguindo as condições propostas pela ISRM (1974), pela IAEG (1980) e por Terzaghi e Peck (1967), conforme as tabelas 59 e 60.

A resistência dos materiais inconsolidados também pode ser estimada, através do uso dos penetrômetros alternativos propostos no tópico III.6.1.3.2.d, ou através de análises qualitativas dos materiais, considerando textura, consistência, ou compacidade, forma dos grãos, mineralogia, estruturas e outras características de que podem interferir positiva ou negativamente na resistência.

Para os materiais rochosos, a resistência pode ser estimada através do ensaio de carga pontual, do martelo de Schmidt , do ensaio de Windsor, sendo que as técnicas de execução encontram-se discutidas no tópico III.6.3.3.C.

Haga e Saito (1983) propõem uma classificação dos materiais rochosos, que é de grande utilidade no caso de escavações:

CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS		SÍMBOLO	ENERGIA ESPECÍFICA Eo (kgf.cm/cm^3)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SEM CONFINAMENTO c= 10^2 KPa	VELOCIDADE DAS ONDAS ELÁSTICAS Vp (km/cm)
Dura	resist. muito alta	A	> 250	> 1500	> 6,0
	resist. alta	B	160 - 250	500 ~ 1000	4,5 ~ 7,5
Média	média a alta resist.	C	100 - 150		3,5 ~ 6,0
	média a baixa resist.	D	60 - 100	300 ~ 1000	2,5 ~ 4,5
Frágil	resist. baixa	E	10 - 30	100 ~ 500	1,5 ~ 3,5
	resist. muito baixa	F	10 - 30	10 ~ 200	0,5 ~ 2,5

O parâmetro velocidade das ondas elásticas não apresentam grandes dificuldade para obtenção, sendo possível durante o mapeamento geotécnico.

TABELA 58: PARÂMETROS PARA ESCAVAÇÕES

O índice de continuidade (IC), proposto por Denis et alii (1979), obtido por meio de relações entre as velocidades de ondas longitudinais e transversais, é considerado um bom índice de caracterização do material rochoso.

Grau	Descrição	Identificação de Campo	Campo aproximado de variação da resistência a compressão uniaxial (MPa)
S_1	Argila muito mole	Facilmente penetrada várias polegadas com o pulso.	< 0,025
S_2	Argila mole	Facilmente penetrada várias polegadas com o dedo polegar	0,025 - 0,05
S_3	Argila firme	Pode ser penetrada várias polegadas com o dedo polegar com moderado esforço.	0,05 - 0,10
S_4	Argila rígida	Prontamente amolgada pelo dedo polegar nas penetrada somente com grande esforço.	0,10 - 0,25
S_5	Argila muito rija	Prontamente recortada pela unha.	0,25 - 0,50
S_6	Argila dura	Recortada com dificuldade pela unha	> 0,05
R_0	Rocha extremamente fraca	Marcada pela unha	0,25 - 1,0
R_1	Rocha muito fraca	Esmigalha-se sob impacto da ponta do martelo de geólogo, pode ser raspada por canivete.	1,0 - 5,0
R_2	Rocha fraca	Pode ser raspada por canivete com dificuldade, marcada por firme pancada com a ponta do martelo de geólogo.	5,0 - 25
R_3	Rocha mediamente resistente	Não pode ser raspada por canivete, amostras podem ser fraturadas com um único golpe do martelo de geólogo.	25 - 50
R_4	Rocha resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturar-se	50 - 100
R_5	Rocha muito resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturar-se	100 - 250
R_6	Rocha extremamente resistente	Amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo	250

NOTA:

1- A classificação de S_1 a S_6 se aplica aos solos coesivos, por exemplo: argilas, siltes argilosos e combinações de siltes e argilas com areia, geralmente com drenagem lenta. Algumas aproximações nos valores de resistência são feitas quando converte-se para unidades do sistema internacional (SI)

2- Para as classes S_1 a S_6 usar "ponteiro" da mecânica dos solos.
Fonte: ISRM (1974)

TABELA 59: FORMAS DE IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS EM CAMPO

CONSISTÊNCIA	qu (kg/cm^2)	IDENTIFICAÇÃO DE CAMPO
Muito fofa	< 0,25	quando apresentada pela mão o material sai por entre os dedos
Fofa	0,25 - 0,5	amassada por uma ligeira pressão dos dedos
Média	0,5 - 1,0	amassada por uma pressão considerável dos dedos
Rija	1,0 - 2,0	penetrada pelo polegar
Muito rija	2,0 - 4,0	penetrada pela unha do polegar
Dura	> 4,0	dificilmente penetrada pela unha do polegar

TABELA 60: DETERMINAÇÃO APROXIMADA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO NÃO CONFINADA (qu) DE ARGILAS EM RELAÇÃO À CONSISTÊNCIA (TERZAGHI e PECK, 1967)

CLASSES	MATERIAIS INCONSOLIDADOS	MATERIAIS ROCHOSOS
Alta 100 MPa Rocha	- Solos arenosos compactos, bem graduados, classe GR4 e GR5 (IAEG,1981) - Materiais finos classificação como S6, duros, ISRM (1974)	- Rochas consideradas extremamente e muito resistentes segundo ISRM (1974) - Rochas com grau de intemperismo A_1 (IAEG 1976)
Média 25 a 100 MPa Rocha	- Solos arenosos classificados com o GR3 (IAEG, 1981) - Solos finos classificados como rígidos e muito rígido S4 e S5, ISRM (1974)	- Rochas consideradas medianamente resistentes e resistente (ISRM, 1974) - Materiais intemperizados com grau A2 e A3 (IAEG, 1976)
Baixa 25 MPa Rocha	- Materiais finos moles a firme segundo ISRM (1974). S1, S2, S3 - Materiais arenosos fofos, classificados como GR1 e GR2 (IAEG, 1981)	- Rochas consideradas extremamente fracas a fracas segundo ISRM (1974) - Materiais com grau de intemperismo A4, A5 e A6

TABELA 61: DADOS PARA DEFINIR UNIDADES DE MATERIAIS QUANTO A RESISTÊNCIA.

7- CLASSIFICAÇÕES

As classificações e correlações apresentadas e utilizadas durante a aplicação da metodologia foram adotadas, considerando:

- Suas condições de funcionabilidade técnica;
- tipos de informações necessárias para os seus empregos;
- facilidade em encontrar as bibliografias básicas para obtenção de maiores detalhes, e
- que estejam dentro dos princípios básicos que règem a metodologia como um todo.

As principais fontes destas sistemáticas foram as metodologias já existentes, as publicações da I.A.E.G., A.E.G., ISRM, ABMS, ABGE e outras, assim como os anais de eventos nacionais e internacionais.

As classificações e correlações devem ser utilizadas para a análise dos componentes do meio físico em termos da previsão de possíveis usos e do comportamento de cada material, assim como na estimativa de algumas propriedades através de correlações com informações indíces.

Deve se ressaltar que outras classificações e correlações que não estão listadas podem ser utilizadas, sem prejuízo do esqueleto básico da metodologia proposta.

FONTE:- IAEG

TABELA 62 ROCHAS IGNEAS

		M A C I Ç A				GRUPO GENÉTICO ESTRUT. USUAL
Minerais coloridos claros (Qtzo; Feldspstos; Micas) Ácidas	Intermediárias		Minerais Claros e Escuros Escuros Básicas		Minerais Escuros Ultra Básicas	Composição
PEGMATITO (101)						Granulação Muito Grossa 60mm
Granito (102)	Diorito (105)		Gabro (108)		Piroxenito (115) Peridoxito (116)	Granulação Grossa 2mm
Micro granito (103)	Micro Diorito (106)		Dolerito (109)		Serpertinito (117)	Granulação Média 0,06
Riolito (104)	Andesito (107)		Basalto (110) (Diabásio) (111)			Granulação Fina 0,002
						Granulação Muito Fina
	Obsidiana (112)		Taquilito (114)			Vidro Amorfo
		Vidro Vulcânico (113)				

GRUPO GENÉTICO ROCHAS METAMÓRFICAS

ESTRUTURA USUAL FOLIADA

COMPOSIÇÃO	QTZO FELDSP	MICAS	MINERAIS ESCUROS	QTZO FELDSP	MICAS	CARBONATOS	MINERAIS ESCUROS	
			brecha	Tectônica (210)				- 60mm
	Migmatito (201)							
	Gnaisses (202) (203)			Granulitos (211) (212)		mármores (213)	Granulito (214) Hornfels (216)	2
		Xistos (204) (205) (206) (207)		Quartzito (215)				
		Filito (208) ardosia (209)					Anfibolito (217)	0,06
			milonito (218)					

FONTE:- IAEG

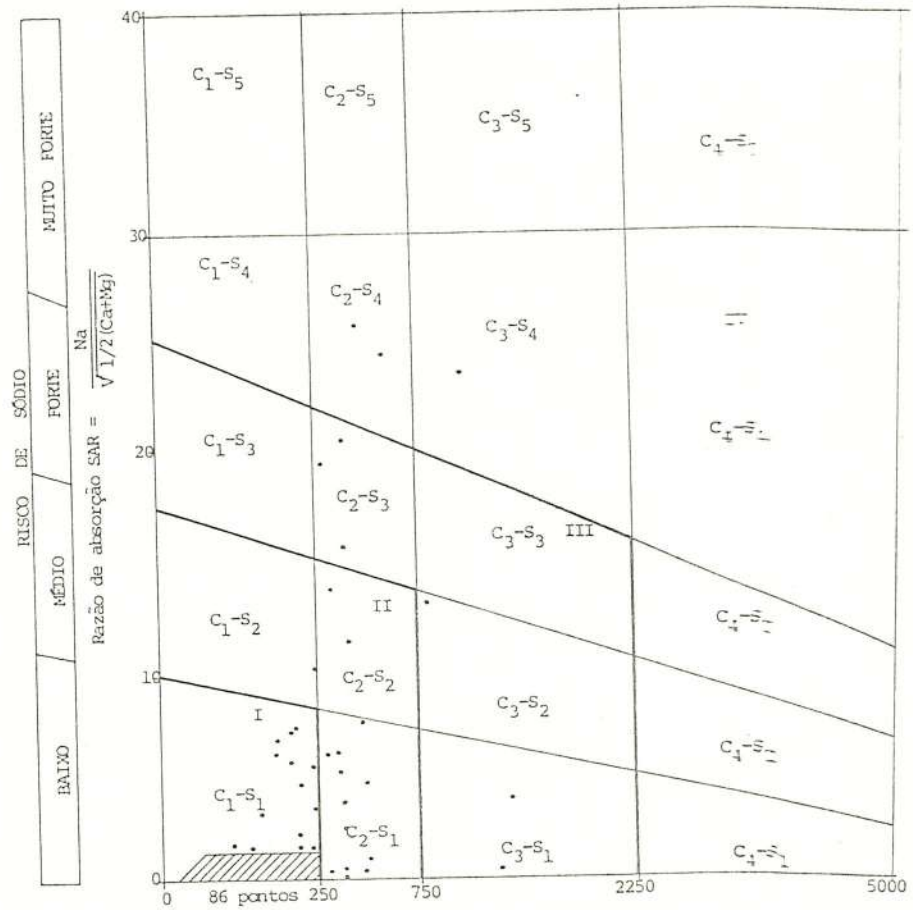
TABELA 63 ROCHAS METAMÓRFICAS

FONTE:- IAEG

TABELA 64: ROCHAS SEDIMENTARES

GRUPO GENÉTICO	DETRITICAS								PIROCLASTICAS		QUÍMICO/ ORGÂNICO
ESTRUTURA COMUM	ACABAMENTO										
COMPOSIÇÃO	Restos de rochas, quartzo, feldspstos, minerais e argilas, óxidos e outros						No mínimo 50% dos grãos são de carbonatos		No mínimo 50% dos grãos são de rochas igneas (gran. fina)		
TAMANHO DA PARTICULA (MM)	Granulometria muito grossa	RUDÁCEOS	Grãos são fragmentos de rochas				carbonato c/seixo ou cascalho	Calcirudito	Grãos arredondados (aglomerado)	VIDRO VULCÂNICO	Rochas Salinas (Halita anidrita)
60	Granulometria grossa		Seixo	Grãos arredondados:- Conglomerado					Grãos angulares Brecha vulcânica Tufo Lapili		
			Cascalho	Grãos angulares:- Brechas							
2	Granulometria média	ARENÓSOS	Grãos Principalmente Fragmentos Minerais				Carbonato c/ areia	Calcarenito	Tufo		Calcáreo Dolomito
			Areias	ARENITO- Grãos principalmente fragmentos minerais. ARENITO QTZOSO - 95% quartzo vazios cimentados ou não. ARCÓSIOS- 75% qtzo, até 25% defeldspsto, vazios cimentados ou não. GRAUVÁCA- 75% qtzo, 15% de mat. de triticofino (rochas e fragmentos de minerais).							
0,06	Granulometria Fina	Argilosos ou Lutáceos	Siltes	SILTITO- 50% de particulas finas	MUDSTONE FOLHELHOS	MARGA	Silte Carbonado	Calco-Siltito	Tufo granulação fina		Chert
0,002	Granulometria muito fina		argilas	ARGILITO- 50% de particulas muito finas			"MUD" Carbonado	GIZ Calco Lutito	Tufo granulação muito fina		Silex turea lignito
	Amorfo										Carvao

CALCÁREO E DOLOMITO (INDIFERENCIADOS)



NULO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO

RISCO DE SALINIDADE

DIAGRAMA DO LABORATÓRIO DE SALINIDADE DE RIVERSIDE, MODIFICADO POR THORNE E PETERSON

FONTE:- IAEG (1981)

ELEMENTOS (mg/l)		IRRIGAÇÃO PERMANENTE - TODOS OS SOLOS	IRRIGAÇÃO ATÉ 20 ANOS SOLOS TEXT.FINA/ALCAL. NEUTRO PHG-85
Alumínio		5	20
Arsênio		0,1	2
Berito		0,1	0,5
Boro	Plantas sensíveis	0,75	2
	Semi. Tolerantes	1	
	Tolerantes	2	
Cadmio		0,01	0,05
Cromo		0,1	1
Cobalto		0,05	5
Cobre		0,2	5
Fluor		1	15
Ferro		5	20
Chumbo		5	10
Litio	Citrus	0,075	0,075
	Outros	2,5	2,5
Manganês		0,2	10
Molibidênio		0,01	0,05 (solos ácidos)
Niquel		0,2	2
Selenio		0,02	0,02
Vanadio		0,1	1
Zinco		2	10

FONTE:- ACADEMIA DE CIÊNCIA - USA
ACADEMIA DE ENGENHARIA - USA

TABELA 66 LIMITES MÁXIMOS DOS ELEMENTOS TRAÇOS NAS ÁGUAS UTILIZADAS PARA IRRIGAÇÃO

FONTES	SEM PROBLEMAS	PROBLEMAS CRESCENTES	PROBLEMAS SEVEROS
1- SALINIDADE			
- Conc. de sólidos dissolvidos (mg/l)	< 480	480-1920	> 1920
2- EFEITOS NA DEFLOCULAÇÃO DAS ARGILAS E REDUÇÃO DE K E NA RAZÃO DE INFILTRAÇÃO			
- Conc. de sólidos dissolvidos (mg/l)	> 320	< 320	< 128
- Razão de adsorção de sólido ajustado (SAR)	< 6	6-9	> 9
3- TOXIDADE ESPECÍFICA			
- Boro (mg/l)	< 0,5	0,5-2	2-10
- Na (como SAR adjusted) se a água é absorvida somente por raízes	< 3	3-9	> 9
- Na (mg/l) se a água também é absorvida por folhas	< 69	> 69	
- Cloro (mg/l) se a água absorvida pelas raízes; se água também for absorvida pelas folhas	< 142 < 106	142-355 >106	> 355
4- EFEITOS DA QUALIDADE			
- N (mg/l) problemas diversos	< 5	5-30	> 30
- HCO_3 (mg/l) - depósitos em diversas situações	< 90	90-520	> 520

FONTE:- AYERS (1975)

TABELA 67 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

PARÂMETROS	FRUTAS E VEGETAIS	PAPEL	TEXTEIS	PETRÓLEO	CERVEJARIA
Acidez (H_2SO_4)	0	-	-	-	
Alcalinidade ($CaCO_3$)	250	75 - 150	50 - 200	500	75
Óxido de Alumínio (Al_2O_3)			8		
NH_3				40	
HCO_3				480	
Cálcio	100			220	
Dureza do Cálcio ($CaCO_3$)		0 - 50			100 - 200
CO_2		10			
Demanda de oxigênio químico				1000	
Cloreto	250	0 - 200	100	1600	
Cor (Unidade)	5	5 - 100	0 - 5		
Cobre			0,01 - 5		
Fluoreto	1			1,2	1
Dureza ($CaCO_3$)	250	100 - 200	0 - 50	900	
H_2S				20	
Ferro	0,2	0,1 - 1	0 - 3,0	15	0,1
Magnésio				85	-
Dureza do magnésio ($MgCO_3$)		0 - 50			
Manganes	0,2	0,03 - 0,5	0,01 - 0,05		
Nitrato (NO_3)	10			8	
Nitrito (NO_2)	0				
Orgânicos	0,2				
PH	6,5 - 85			6 - 9	6,5 - 7,0
Silica (SiO_2)	50	20 - 100	25	85	
Sódio + Potásio				230	
Sulfatos (SO_4)	250		100	900	
Sólidos Suspensos	10	10 - 100	0 - 5	5000	
Sólidos dissolvidos (TOTAL)	500	200 - 500	100 - 200	3500	500
Turbidez				0,3 - 5	

FONTE:- ACADEMIA DE CIÊNCIA - USA / ACADEMIA DE ENGENHARIA - USA (1972)

TABELA 68 QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA O USO EM ALGUMAS INDÚSTRIAS (LIMITES MÁXIMOS m_g/l).

FONTE:- ACADEMIA DE CIÊNCIA - USA / ACADEMIA DE ENGENHARIA - USA (1972)

TABELA 69 QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA USO INDUSTRIAL (LIMITES MÁXIMOS m_g/l)

ELEMENTOS	INDUSTRIAL				RESFRIAMENTO			
	CALDEIRAS				ÚNICA VEZ		CIRCULAÇÃO	
	BAIXA PRES. 0 a 10 atm	PRES. INTERM. 10 a 48 atm	ALTA PRES. 48 a 102 atm	UTIL. ELETR. 102 a 340 atm	NOVA	BRACKISH	NOVA	BRACKISH
Sílica (SiO_2)	30	10	0,7	0,01	50	25	50	25
Alumínio	5	0,1	0,01	0,01	x	x	0,1	0,1
Ferro	1	0,3	0,05	0,01	x	x	0,5	0,5
Manganês	0,3	0,1	0,01	0,01	x	x	0,5	0,02
Cálcio	x	0,4	0,01	0,01	200	420	50	420
Magnésio	x	0,25	0,01	0,01	x	x	x	x
NH_4	0,1	0,1	0,1	0,07	x	x	x	x
HCO_3	170	120	48	0,5	600	140	24	140
Sulfatos	x	x	x	y	680	2700	200	2700
Cloro	x	x	x	x,y	600	19000	500	19000
Sólidos Dissolvidos	700	500	200	0,5	1000	35000	500	35000
Cobre	0,5	0,05	0,05	0,01	x	x	x	x
Zinco	x	0,01	0,01	0,01	x	x	x	x
$CaCO_3$ (Dureza)	350	1,0	0,07	0,07	850	6250	650	6250
$CaCO_3$ (Alcalin.)	350	100	40	1	500	115	350	115
PH	7 - 10	8,2 - 10	8,2 - 9	8,8 - 9,4	5 - 8,3	6 - 8,3	x	x
Azuldemetileno	1	1	0,5	0,1	x	x	1	1
Tetracloreto de carbono	1	1	0,5	x	0	0	1	2
C.O.D. (Demanda de oxigênio químico)	5	5	1,0	1,0	75	75	75	75
H_2S	x	x	x	x	x	x	x	x
Oxigênio Dissolvido (O_2)	2,5	0,007	0,007	0,007	Pouco	Pouco	x	x
Sólidos Suspensos	10	5	0,5	0,005	5000	2500	100	100

X - Não apresentaram problemas

x - Controlável

POTABILIDADE

PARÂMETRO	LIMITE MÁXIMO EM (M_g/l)
PH	5 - 10
Alcalin. Total ($CaCo_3$)	<250
Nitrogênio-Nitrato (N)	< 6
Dureza Total ($CaCo_3$)	<200
Cloretos (Cl)	<250
Ferro Solúvel (Fe)	<0,3
Fluoreto (F)	<1,2
Resíduo filtrante a 180ºC	<500
Sulfato So_4	<250

FONTE :- DAEE (1981)

QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA ANIMAIS

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (M_g/l)
Sólidos dissolvidos (Totais)	3000
Alumínio	5
Arsenio	0,2
Boro	5
Cadmio	0,05
Cromo	1
Cobalto	1
Cobre	0,5
Fluor	2
Chumbo	0,1
Mercúrio	0,01
No_3-N mais No_2-N	100
No_2-N	10
Selenio	0,05
Vanadio	0,1
Zinco	25

FONTE:- ACADEMIA DE CIÊNCIA - USA / ACADEMIA DE ENGENHARIA - USA (1972)

TABELA 70 QUALIDADES DAS ÁGUAS

Retrata a soma do número de juntas por metro para cada família de juntas presentes, e as aleatórias podem ser incluídas ou não, porém pouco ou nada irá influenciar no resultado.

As juntas devem ser contadas na perpendicular da família, por uma distância de 5 ou 10 metros e os resultados devem ser expressos como abaixo:

$$JV = \frac{2}{10} + \frac{5}{5} + \frac{10}{5} = 0,2 + 1 + 2 = 3,2/m^3$$

Este resultado deve ser analisado frente a tabela:

DESCRIÇÃO	JV(Juntas/m^3)
Blocos muito grandes	< 1
Blocos grandes	1 - 3
Blocos tamanhos médios	3 - 10
Blocos pequenos	10 - 30
Blocos muito pequenos	> 30
Rocha fragmentada	> 60

O trabalho de campo pode ser feito com o auxílio de uma fita métrica ou outro instrumento de medida linear. Os resultados devem ser registrados para o domínio de interesse, com o número de família e persistência.

Existe uma correlação admitida e usada regularmente entre JV e RQD.

RQD = 115 - 3,3JV, onde admite-se
RQD = 100 quando JV < 4,5

Deve-se enfatizar que este procedimento e verificação é adotado e descrito pela ISRM na publicação de 1974.

Os valores obtidos são utilizados na estimativa de alguns atributos do maciço rochoso, tal como a permeabilidade e a utilização dos mesmos como material para construção civil.

ESPAÇAMENTO ENTRE DESCONTINUIDADE

1-

CLASSE	INTERVALOS (cm)	SÍMBOLOS	
1	> 200	E1 ou F1	muito afastadas
2	60 - 200	E2 ou F2	afastadas
3	20 - 60	E3 ou F3	mediamente afastadas
4	6 - 20	E4 ou F4	próximas
5	< 6	E5 ou F5	muito próximas

FONTE:- I.S.R.M. (1974)

2-

CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	Nº FRATURAS/m	I.S.R.M.	DEERE
Ocasiote fraturada	F1	< 1	1	1
Pouco fraturada	F2	2 - 5	2	2
Mediamente fraturada	F3	6 - 10	3	3
Muito fraturada	F4	11 - 20	4	4
Extremamente fraturada	F5	> 20	> 5	> 5
Em fragmentos	F6	marcas cisalhadas	5	5

FONTE:- IPT (1977)

TABELA 72 DESCONTINUIDADES

	TESTES DE CAMPO	RESIST. AO CISALHAM. NÃO DRENADO (KN/m^2)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA
Muito Mole	Exuda entre os dedos quando apertada pela mão	20	0,05
Mole	Pode ser amolgado por uma leve pressão dos dedos	20 - 40	0,05-0,25
Firme	Pode ser amolgado com uma forte pressão dos dedos	40 - 75	0,25-0,75
Rígida	Não pode ser amolgado pelos dedos, mas pode ser riscado pela unha	75 - 150	0,75-100
Muito rígido ou dura	Só é riscada pela unha do polegar	150	1,00

FONTE:- IABG (1981), MARSLAND (1980)

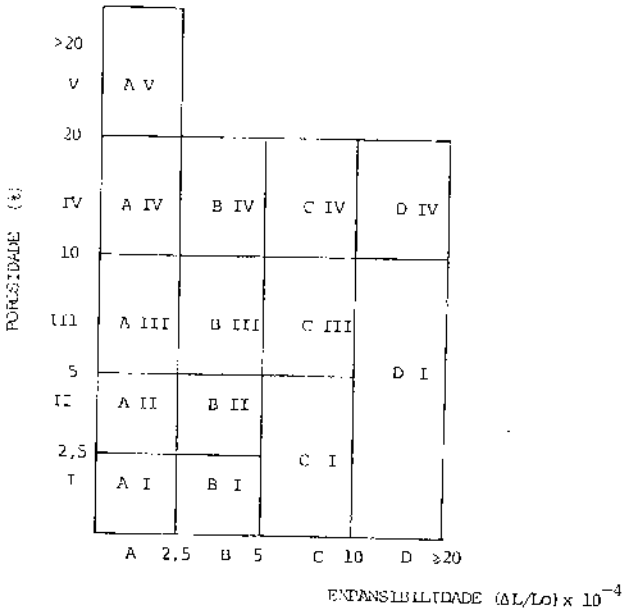
TABELA 73 CARACTERIZAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE SOLOS FINOS (+ de 35% Silte-argila)

CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE ROCHAS CARBONATADAS

Engloba as rochas carbonáticas puras até as misturadas com materiais quartzosos e argilosos. Delgado Rodrigues (1985) propos a realização de 2 ensaios para possibilitar a classificação:-

- POROSIDADE - Obtida através de pesagens hidrostáticas, com a saturação das amostras efetuadas sob vazio.

- EXPANSIBILIDADE - Provocada pela absorção de água. Provetes 5x5x1.0cm, embebidos após secagem em estufa a 105ºC e posterior arrefecimento em ex secador, o equipamento deve permitir leituras de 1um e a leitura usada deve ser a obtida na 48a hora, conforme NASCIMENTO et al (1968).



CLASSES:

AI- Adequados para cantaria, revestimento, pavimentos.

AI e AII- Aceitos para enrocamentos

BI,BII e BIII- Podem ser utilizados em enrocamentos

AI a AV- Comportamento influenciado pela porosidade; a resistência mecânica, ao desgaste e a velocidade de propagação de ultrassons diminuem de AI a AV.
A capacidade de polimento é melhor em AI e pior em AV e a alterabilidade o inverso.

As classes B(I a IV) são de TRANSIÇÃO e as C e D são muito influenciadas pelas águas, com comportamento diferente no estado seco e saturado.

TABELA 74 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE ROCHAS CARBONATADAS

1- ROCHA SÃ - A_1

Rochas não apresenta descoloração, nem perda de resistência e não apresenta outros efeitos de intemperismo.

2- ROCHA LIGEIRAMENTE INTEMPERIZADA - A_2

Rocha se apresenta ligeiramente descolorida, as descontinuidades podem ser abertas e as superfícies também se apresentam descolorida, as rochas intactas não são muito mais fracas que as frescas (sãs).

3- ROCHA MODERADAMENTE INTEMPERIZADA - A_3

As rochas são descoloridas, descontinuidade podem estar abertas e as superfícies também descoloridas com alterações iniciando para penetrar no corpo rochoso, a rocha no local é mais frágil do que a sã e é possível estimar a razão entre a no local e a sã, sendo a intemperizada menos do que 35%.

4- ROCHA ALTAMENTE INTEMPERIZADA - A_4

Rocha é descolorida, descontinuidades podem estar abertas e tem superfície descoloridas, a fábrica original próximo as descontinuidades estão alteradas, alteração já penetra profundamente; alguns blocos sãos, estão no meio da massa e a razão entre a rocha intemperizada e a sã, pode ser estimada em alguns lugares. O material intemperizado sempre maior do que 35%.

5- ROCHA COMPLETAMENTE INTEMPERIZADA - A_5

Rocha é descolorida e está quase transformada em solo, fábrica original preservada em alguns pontos, pode existir alguns blocos sãos, as propriedades do solo dependerão da natureza da rocha mãe.

6- MATERIAL RESIDUAL - A_6

Toda a rocha foi convertida em material inconsolidado (solo), todas as estruturas da rocha foram destruídas, existe variação no volume.

FONTE:- I.A.E.G. (1976)

TABELA 75 GRAU DE INTEMPERISMO

PERMEABILIDADE DE MASSAS ROCHOSAS E SOLOS

Deve-se considerar que as rochas com raras excessões são quase impermeáveis, devido o cimento entre os grãos ou ainda devido a natureza dos materiais. Consideramos então que o fraturamento e as descontinuidades são os fatores mais importantes para a percolação de águas, podendo enquadrar os materiais em 3 classes:-

K (cm/s)	ROCHA INTACTA	ROCHA FRATURADA	SOLO
-10^{-10}			Argilas homogêneas abaixo de zona de intemperismo
-10^{-9}	Ardósia		
-10^{-8}	Dolomito		
-10^{-7}	Granito		
-10^{-6}	Calcários Arenitos	Juntas preenchidas com argila	-areia muito fina. -siltes inorg. e organ.
-10^{-5}			
-10^{-4}			-misturas areias e siltes
-10^{-3}		Rocha fraturada	-till
-10^{-2}			-depósito de argila estratificada
-10^{-1}		Rocha com fratura aberta	
-10			-areias limpas
-10^{1}		Rocha muito fraturada	-mistura de areias e seixos limpos
-10^{2}			

FONTE: HOBCK e BRAY (1974)

TABELA 76 PERMEABILIDADE DE SOLOS E ROCHAS

	CATEGORIA	ESTIMADO K m/s	DESCRIÇÃO
BOA	Rochas com fraturamento muito afastado a afastado, sem preenchimento. Alguns arenitos e calcários.	$> 10^{-2}$	JV= Bloco pequeno a muito pequenos e médio tamanho.
RAZOÁVEL	Rochas com fraturas moderadamente afastada, sem preenchimento. Alguns arenitos e calcareos.	$10^{-2} - 10^{-5}$	JV= Blocos grandes
BAIXA	Rochas com os diferentes graus de fraturamento preenchidos c/ argila. Rochas sãs, com cimento no caso de sedimentares grosseiras.	$< 10^{-5}$	JV= Blocos muito grandes

FONTE: ANON (1972); ISRM (1974); TERZAGHI E PECK (1967); CARVALHO E MEDEIROS (1980)

TABELA 77 PERMEABILIDADE DE ROCHAS

TABELA 78 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS PARA AEROPORTOS

Permeabilidade

1		2	3	4		5	6	7	8		10	11	12	13	14	15
DIVISÕES GERAIS		GRUPOS DE SOLOS E DESIGNAÇÕES TÍPICAS	SÍMBOLO DE GRUPOS	CARACTERIZAÇÃO GERAL: RESISTÊNCIA SOLO SECO	CARACTERIZAÇÃO GERAL: OUTROS ENSAIOS	OS ENSAIOS RELATIVOS AO SOLO EM SEU ESTADO NATURAL	ENSAIOS PRINCIPAIS DE CARACTERIZAÇÃO	QUALIDADE COMO FUNDAÇÃO	QUALIDADES DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO: CAT/MAGOR (Ca Cl2)	QUALIDADES DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO: C/TRAT.SUPER. ASFÁLTICO	RETRAÇÃO E UMIDECIMENTO	DRENABILIDADE	COMPACTAÇÃO NO CAMPO EQUIPAMENTO	γs. MÁXIMO h_{ot}	ÍNDICE DE SUPORTE E CALIFÓRNIA P/AM.COMP.	GRUPOS DE CLASSIFICAÇÃO B.P.R. CONSTRUÍVEIS
SOLOS DE GRANULAÇÃO GROSSA	Pedregulhos e solos pedregulhosos	Pedregulhos c/misturas areia pedregulho bem graduadas. Pequena ou nenhuma proporção de finos.	GW	Nula	granulometria Forma do grão Exame do ligante, úmido e seco Durabilidade dos grãos	Massa específica do solo seco e índice de vazios. Grau de compacidade Cimentação, Estratificação e características de drenagem. Condições de água subterrânea. Experiência de tráfego Provas de carga em placas de grande tamanho. Ensaio "Califórnia"	Análise Granulométrica	EXCELENTE	REGULAR A MÁ	EXCELENTE	QUASE NENHUMA	EXCELENTE	EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 2,00 h< 10	> 50	A-3
		Misturas bem graduadas de pedregulho areia, com excelente ligante	GC	Média			Análise granulométrica. Limites de liquidez e plasticidade do ligante.	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	MUITO BAIXA	PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	EXCELENTE PÉ-DE-CARNEIRO EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 2,08 h< 10	> 40	A-1
		Pedregulho e misturas areia pedregulho mal graduadas. Pouca ou nenhuma proporção de finos.	GP	Nula			Análise Granulométrica	EXCELENTE	MÁ	MÁ A REGULAR	QUASE NENHUMA	EXCELENTE	BOA PARA EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 1,84 h< 12	25-60	A-3
		Pedregulho com finos, pedregulho muito siltoso, pedregulho argiloso, misturas mal graduadas de pedr-areia-arg.	GP	Muito pequena a grande			Análise granulométrica Limites de liquidez e plasticidade do ligante (se possível)	BOA A EXCELENTE	MÁ A BOA	REGULAR A BOA	QUASE NENHUMA A BAIXA	REGULAR A PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	BOA PARA EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS PÉ-DE-CARNEIRO	γ> 1,92 h< 12	> 20	A-2
	Areias e solos arenosos	Areias e areia pedregulhosas bem graduadas, pouco ou nenhuma proporção de finos.	SW	Nula			Análise Granulométrica	EXCELENTE	MÁ	BOA	QUASE NENHUMA	EXCELENTE	EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 1,92 h< 12	20-60	A-3
		Misturas areia-argila bem graduadas com excelente ligante	SC	Média a grande			Análise granulométrica Limites de liquidez e plasticidade do ligante	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	MUITO BAIXA	PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	EXCELENTE PÉ-DE-CARNEIRO EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 2,00 h< 10	20-60	A-1
		Areias mal graduadas ou nenhuma proporção de finos	SP	Nula			Análise Granulométrica	BOA	MÁ	MÁ	QUASE NENHUMA	EXCELENTE	BOA PARA EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS	γ> 1,60 h< 20	10-30	A-3
		Areia com finos, areias muito siltosas, areias argilosas, misturas areia-argila mal graduadas.	SF	Muito pequena a grande			Análise granulométrica Limites de liquidez e plasticidade do ligante (se possível)	REGULAR A BOA	MÁ A BOA	MÁ A BOA	QUASE NENHUMA A MÉDIA	REGULAR A PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	BOA PARA EXCELENTE TRATOR, EQUIPAMENTO COM PNEUMÁTICOS ROLO PÉ-DE-CARNEIRO	γ> 1,68 h< 16	8-30	A-2
SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA CONTEÚDO POUCO OU NENHUM MATERIAL GROSSO	Solos de granulação fina de baixa ou mediana compressibilidade	Siltes (orgânicos) e areias finas, rio, pó de rocha, areia muito finas argilosas ou siltosas de baixa plasticidade	ML	Muito pequena a média	Amassamento manual e plasticidade	Massa específica do solo seco, teor de umidade e índice de vazios Consistência do solo indeformado e amolgado Estratificação, orifícios de raízes, fissuras Drenagem e condições da água subterrânea Experiência de tráfego Provas de carga em placa de grande tamanho Ensaios "Califórnia" ou ensaios de compressão	Análise granulométrica Limites de liquidez e plasticidade do ligante (se possível)	REGULAR A MÁ	MÁ		BAIXA A MÉDIA	REGULAR A MÁ	BOA PARA TROCA CONTROLE E CUIDADOSO E ESSENCIAL ROLO PNEUMÁTICO	γ> 1,60 h< 16	6-25	A-4
		Argilas de plasticidade baixa a média, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	CL	Média e grande	Exame no estado plástico		Limites de liquidez e plasticidade	MÁ	MÁ		MÉDIA	PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	FRACA PARA BOA PÉ-DE-CARNEIRO	γ> 1,60 h< 16	4-15	A-4 A-6 A-7
		Siltes orgânicos e misturas Siltes-argila com matéria orgânica de baixa plasticidade	OL	Pequena a média	Exame no estado plástico, cheiro, cor		Limites de liquidez e plasticidade no estado natural e depois de seco em estufa	MÁ E MUITO MÁ	MUITO MÁ		MÉDIA E ELEVADA	MÁ	FRACA PARA MÁ PÉ-DE-CARNEIRO	γ> 1,44 h< 25	3-8	A-4 A-7
	Solos de granulação fina de elevada compressibilidade	Solos siltosos e de areia fina, micáceos ou diatomáceos, siltes elásticos	MH	Muito pequena a média	Amassamento manual e plasticidade		Análise granulométrica Limites de liquidez e plasticidade do ligante (se possível)	MÁ MUITO MÁ	MUITO MÁ		ELEVADA	REGULAR A MÁ	MÁ PARA MUITO MÁ	γ > 1,60 h < 20	< 7	A-5
		Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas	CH	Grande a muito grande	Exame no estado plástico		Limites de liquidez e plasticidade	MÁ A MUITO MÁ	MUITO MÁ		ELEVADA	PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	FRACA PARA MÁ PÉ-DE-CARNEIRO	γ > 1,44 h < 25	< 6	A-6 A-7
		Argilas orgânicas de média a alta plasticidade	OH	Média a grande	Exame no estado plástico, cheiro, cor		Limites de liquidez e plasticidade no estado natural e depois de seco em estufa	MUITO MÁ	INÚTIL		ELEVADA	PRATICAMENTE IMPERMEÁVEL	MÁ PARA MUITO MÁ	γ> 1,60 h < 20	<4	A-7 A-8
Solos orgânicos fibrosos e alta compressibilidade		Solos turfosos e outros solos de pântano altamente orgânicos	P_t	Facilmente caracterizável		Consistência, textura e teor de umidade natural		EXTREMAMENTE MÁ	INÚTIL		MUITO ELEVADA	REGULAR A MÁ	COMPACTAÇÃO IMPRATICÁVEL			A-8

TABELA 79 CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS

PROCESSO						
PROCESSO PARA IDENTIFICAÇÃO NO CAMPO (Excluindo as partículas maiores que 3" baseando-se na estimação de peso das frações)					SÍMBOLO DO GRUPO	DESIGNAÇÃO CARACTERÍSTICA
SOLO DE GRANULAÇÃO GROSSA Mais da metade do material é maior que a abertura da malha = 200.	APROXIMADAMENTE À MENOR PARTÍCULA VISÍVEL A OLHO NU)	PEDREGULHOS Mais da metade da fração groseira e maior que a = nº 4	PEDREGULHOS PUROS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	G. W.	Pedregulhos graduados, misturas de areia com pedregulho com pouco ou nenhum fino.
				Predominância de um tamanho de grão ou granulação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão).	G. P.	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.
			PEDREGULHOS COM FINOS (apreciável quantidade de fino)	Finos não plásticos (para proceder a identificação ver M.L.)	G. M.	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados
				Finos plásticos (para proceder a identificação ver C.L.)	G. C.	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila mal graduados.
		AREIAS Mais da metade da fração groseira e menor que a = nº 4 (Para a classificação visual, a abertura da malha da = nº 4 é equivalente a 5mm)	AREIA PURA (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	S. W.	Areias bem graduadas, areias pedregulhos, com pouco ou nenhum fino.
				Predominação de um grão ou granulação falhada	S. P.	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			AREIA COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (para proceder a identificação ver M.L.)	S. M.	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.
				Finos plásticos (para proceder a identificação ver C.L.).	S. C.	Areias argilosas, misturas mal graduadas de areia e argila.

PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO EXECUTADO SOBRE A FRAÇÃO < Nº 40						
SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA (Mais que a metade do material é menor que a abertura de malha da = 200. (A abertura da malha da = 200 corresponde		RESISTÊNCIA A SECO (esmagamento pelos dedos)	DILATÂNCIA (sacudindo na palma da mão	RIGIDEZ (consistência nas proxim. do L.P)		
	SILTES E ARGILAS Limite de liquidez menor que 50	Nenhuma a pequena	Rápida a lenta	Nenhuma	M. L.	Siltes inorgânicas e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas siltosas ou argilosas com pequena plasticidade.
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Média	C. L.	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.
		Pequena a média	Lenta	Pequena	O. L.	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade.
	SILTES E ARGILAS Limite de liquidez maior que 50	Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	M. H.	Siltes inorgânicos micáceos ou diatomáceo, finos arenosos ou solos siltosos, siltes elásticos.
		Elevada a muito elevada	Nenhuma	Elevada	C. H.	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	O.H.	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade.
TURFAS		Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade de frequenteemnte textura fibrosa.			P_t	Solos com elevado teor de matéria orgânica.

ELA 80 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS COM COMPORTAMENTO LATERÍTICO

IPAIS	SÍMBOLO DO GRUPO	NOMES TÍPICOS	CARACTERÍSTICAS GERAIS PARA IDENTIFICAÇÃO	PRINCIPAIS ROCHAS DA ORIGEM (SOMENTE PARA SOLOS SAPROLÍTICOS)	PRINCIPAIS GRUPOS PEDOLÓGICOS (HORIZONTES A e B)	OCORRÊNCIAS MAIS FREQUENTES	RESISTÊNCIA SECA	DILATÂNCIA	PLASTICIDADE DO FRAÇÃO 0,074
Pedregulhos limpos ou com pouco fino	Pb	Pedregulhos bem graduados, misturas de pedregulhos e areia bem graduados com pouco ou nenhum fino	Pedregulhos geralmente arredondados. Resistentes e "Lavados", com ou sem areias quartzosas e "Lavadas. Presença de partículas de diâmetros intermediá		Solos aluviais (A)	Aluviais	-	-	-
	Pm	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia mal graduadas com pouco ou nenhum fino	Pedregulhos geralmente arredondados, resistentes e "Lavados", c/ou sem areias quartzosas e "Lavadas". Ausência de partículas de diâmetros intermediários						
Pedregulhos c/quantidade apreciável de finos não lateríticos	NP	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte	No caso de aluviaes, pedregulhos arredondados em mistura cinza claro; No caso de granitóide, porfiros de feldspatos "agregados" com areia quartzosa e micácea. Siltes micáceos e caulínicos	granitóides porfiróides	-	aluviais, horizonte saprolítico			Pp e Pa
	NP'	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila	Mistura de cores cinza clara	-	Solos aluviais (A)	Aluviais	-	-	Pp a Pa
areias limpas c/siltes ou siltes quartzs	NA	Areias, areias siltosas, siltes quartzosos, siltes micáceos	Areias "Lavadas" geralmente quartzosas. Quando areias siltosas saprolíticas conservam estrutura arredondamento reliquiares	granitos, granitóides porfiróides micaxistos, quartzo-filitos, quartzitos, arenitos	Regosolos (R)	horiz. superficiais aluviais horiz. saprolíticos	nula	-	Ps, Pm, Pa
areias c/quantidade apreciável de finos não lateríticos	NA'	Areias siltosas, areias argilosas	Areia quartzosas e micáceas com siltes micáceos e caulínicos . Areias com argila ou cores, cinza claro	granitos, granitóides porfiróides micaxistos, quartzitos, arenitos	Solos aluviais (A) Solos hidromórficos (Hi)	horizonte saprolítico e aluviais	-	-	Ps, Pm, Pa
Siltes	NS'	Siltes micáceos e caulínicos, siltes arenosos e argilosos	Micáceos geralmente marrom, roxo ou branco brilho Caulínico geralmente branco leitoso sem brilho. Solo pouco erosivo quando seco ou saturado. Podem apresentar desagregação superficial	filitos mitáceos e caulínicos, granitóides de textura fina e porfiróides, basaltos e diamictitos	-		nenhuma a pouca	rápida e lenta	Ps, Pp
Argilas	NG'	Argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	Em geral apresentam fenômeno de desagregação superficial (solo saprolítico)	argilitos, folhelho, basaltos e diabásio	-		média a alta	muito lenta	Pa
	OG'	Argilas orgânicas	Com areia e presença de restos orgânicos. Alta a baixa plasticidade	-	Solos hidromórficos (Hi) Solos orgânicos (O)	horizonte superficial aluviaes		nula a muito lenta	Pp a Pm
Pedregulhos c/quantidade apreciável de finos lateríticos	LP	Pedregulhos com areia e pouca argila	Pedregulhos cinza claro e matriz arenosa amarelada ou vermelho amarelada. Pedregulho e matriz ferruginosos. Mistura pouco coesiva.			terrenos aluviais e linhas de seixos deformações superficiais		nula a muito lenta	Pp a Pa
	LP'	Pedregulhos com areia e argila	Pedregulhos cinza claros e matriz areno argilosa amarelo avermelhado ou vermelho. Pedregulho e matriz ferruginosos. Mistura coesiva						
Areias	LA	Areias com pouca argila	Cores marrom-amarelado, amarelado ou cinza claro. Em cortes de estrada não se observam aglomerações de partículas e são raras as trincas de retração		Regosolos (R) (PPV-RLV)	formações superficiais (solos coluvionares)	baixa	nula	Ps
Areias Argilosas	LA'	Areias argilosas, argilas arenosas	Cores vermelho escuro, marrom amarelado ou cinza claro. Em cortes de estradas observa-se aglomeração pouco nítida e trincamento bem espaçado		Latosol Vm. Escuro-f. arenosa (LEa) Latosol Vm. amarelo-f. arenosa (LVa) Podzolizados Lins/Marília (Pln)	formações superficiais (solos coluvionares), horizonte laterítico	média a alta	muito lenta a nula	Pm a Pa
Argilas	LG	Argilas, argilas arenosas	Cores vermelho, vermelho escuro ou vermelho amarelado. Em cortes de estradas observam-se abundantes macroporos relacionados tanto ao trincamento intenso como a forte aglomeração		Latosol roxo (LR) latosol Vm. Escuro-Orto (PV) podzolizo Vm. amarelo Orto (PV) Terra Roxa estruturada (TE) latosol Vm. Am. terraço (LVT)		média a muito alta	muito lenta a nula	Pa

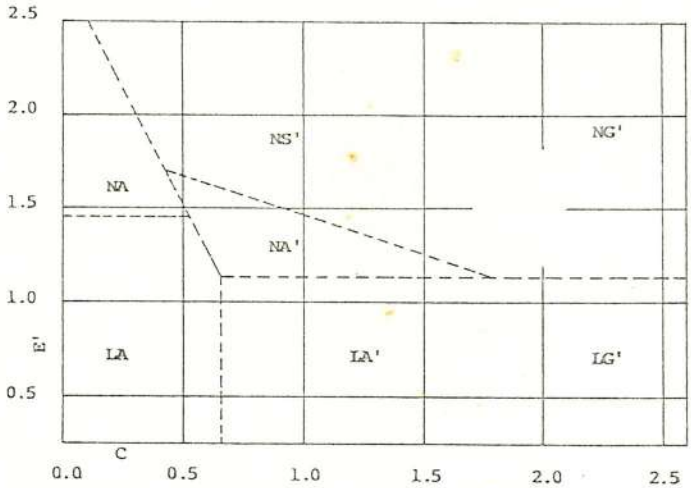
lassificação de laboratório proposta por Nogami e
el) e nos levantamentos de campo realizados pelo Est.S.P.

PS- sem plasticidade Pm - plasticidade média
PP- pouca plasticidade Pa - plasticidade alta

CLASSES			N- SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				D- SOLOS DE COMPORTAMENTO LATERÍTICO		
GRUPOS			NA AREIAS	NA' ARENOSOS	NS' SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS
GRANULOMETRIAS TÍPICAS (minerais (1))			areias, areias siltosas, siltes (q)	areias silto sas, areias argilosas	siltes (k,m) siltes arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas
MINI - CBR sem imersão (%) (2)	m. alto	> 30	alto a médio	alto	médio a alto	alto	alto	alto a muito alto	alto
	alto	12-30							
	médio	4 -12							
	baixo	< 4							
PERDA DE SUPORTE POR IMERSÃO (%)	alta	> 70	média a baixa	baixa	alta	alta	baixa	baixa	baixa
	média	40-70							
	baixa	< 40							
EXPANSÃO (%) (2)	alta	> 3	baixa	baixa	alta	alta a média	baixa	baixa	baixa
	média	0,5 -3							
CONTRAÇÃO (%) (2)	baixa	< 0.5	baixa a média	baixa a média	média	alta a média	baixa	baixa a média	média a alta
PERMEABILIDADE log (k (cm/s) (2)	alta	> (-3)	média a baixa	baixa	média a baixa	baixa a média	média a baixa	baixa	baixa
	média	a (-3) (-6)							
	baixa	< (-6)							
PLASTICIDADE (%)		IP / IL							
	alta	> 30 / > 70	baixa a NP	média a NP	média a alta	alta	NP a baixa	baixa a média	média a alta
	média	7 - 30 / 30 - 70							
	baixa	< 7 / < 30							

(1) q= quartzo, m = micas, k = caulinita
(2) Corpos de prova compactados na unidade ótima da energia "Normal", com sobrecarga padrão quando permanente; sem fração rotina na peneira de 2.00mm de abertura.

TABELA 81 PROPRIEDADES TÍPICAS DOS CAMPOS DE SOLOS SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA POR NOGAMI - VILLIBOR



CLASSES	TERMO	TESTE DE CAMPO	N (SPT)	DENSIDADE RELATIVA (%)
GR1	Muito fofo	Pode ser escavada com uma pá, com cabo de 50cm, facilmente escavada (manuseado).	0 - 4	<20
GR2	Fofo		4 - 10	20 - 33
GR3	Média densidade	Requer picareta para escavar, é duro para trabalhar	10 - 30	33 - 66
GR4	Compacto	Ligeiramente aumentado (observação visual (retira pedaços com a picareta e depois é possível destorroar)	30 - 50	66 - 90
GR5	Muito Compacto		> 50	90 - 100

FONTE:- IAEG (1981)

TABELA 82 CARACTERIZAÇÃO DE COMPACIDADE DOS SOLOS GROSSEIROS (areias e seixos)

FONTE:- (PASTORE (1986))

TABELA 83 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS NO CAMPO

SÍMBOLO DO GRUPO	À EROSÃO EM TALUDES DE CORTE (CAMADA ÚNICA)	COMO LEITO DE ESTRADAS DE TERRA (COMPACTAÇÃO PELO TRÁFEGO)	FENOMENOLOGIA ASSOCIADA AO SOLO NO LEITO/EST. DE TERRA		COMO REVESTIMENTO PRIMÁRIO (SOLO COMPACTADO COM ROLO)
			SECA	CHUVA	
Pb	pouco comum em cortes	pouco comum	sulcamentos c/ exces. pedregs soltos	-	inadequado. Pode ser aproveitado p/agulhamento em solos argil. lateríticos
Pm					
NP	pouco erodível	regular	-	erosões	bom, se corrigido c/arg. laterítica
NP'	pouco comum em cortes	pouco comum	-	-	bom
NA	Areias siltosas idem ao grupo NA'. Demais tipos pouco comuns em cortes	regular	areião	erosões	inadequado
NA'	Em superfícies com inclinação em torno de 60º formam sulcos de maior declividade curvilíneos. A intensidade de remoção aumenta c/o comprimento dos sulcos e c/a diminuição da inclinação do talude. Resistem muito pouco a fluxo d'água concentrado	bom a mal, quando próximo de NS' a NA	bom	erosões e possibilidade de amolecimentos	bom, porém muito erodível
NS'	Em superfície c/inclinações entre 30 e 60º formam sulcos de maior declive com bordas, que podem evoluir para ravinas e mesmo cavernas. A intensidade de remoção aumenta c/a redução da inclinação e é mais sensível com o comprimento do sulco, nos casos de pequena inclinação e/ou elevado teor de umidade. São muito susceptíveis a fluxo d'água concentrado.	ruim	poeira excessiva	baixa capacidade de suporte. Elevada erosão	inadequado
NG'	Desagregam intensamente na superfície. Nas inclinações entre 30 e 60º formam-se sulcos de maior declive, curvilíneos, cujo fundo mostra solo não desagregado, resistente à remoção pela lâmina d'água corrente. A taxa de remoção aumenta com o diminuição da inclinação, porém não é afetada pelo comprimento do sulco. É resistente ao fluxo d'água concentrado. É mais típico de argilitos e folhelhos e menos de basaltos e diabásios.	ruim a péssimo	trincamento excessivo	atoleiros	inadequado
OG'					
LP	Resistente à erosão	geralmente bom	-	bom	bom se corrigido com argila laterítica
LP'		geralmente bom	-	bom	bom
LA	Em superfícies c/inclinações entre 45 e 60º não se formam sulcos. Em inclinações próximas de 30º surgem sulcos de maior declividade, retilíneos. Resistem relativamente pouco a fluxo d'água concentrada, podendo dar origem a profundas ravinas e cavernas.	regular	areião	erosões	inadequado
LA'		regular	-	superfícies lisas	bom se corrigido c/solo granular ou brita
LG'	Idem aos grupos LA e LA'. Pode haver apreciável desagregação superficial nas superfícies c/grande inclinação, sobretudo nas com pequena porosidade aparente	regular a bom	irregularidade devido à elevada contração	superfícies lisas	bom, se corrigido com solo granular ou brita

8- SIMBOLOGIA

A metodologia proposta preve o uso de símbolos em todos os tipos de mapas, cartas e perfis que compõem o mapeamento geotécnico, por diversas razões:

- Baixo custo quando comparado com o uso de cores;
- apresenta melhores condições de trabalhabilidade;
- permite colocar em uma mesma folha até 3 grupos de feições sem que seja necessário utilizar mecanismos complexos.

A escolha dos símbolos para os materiais inconsolidados (solos), e rochosos, fenômenos geodinâmicos, hidro geológicos e hidrológicos foi baseada principalmente na proposta da IAEG (1982) e secundáriamente nos trabalhos apresentados pelo DAEE (1974), ANON (1972), Nogueira (1979), IPT (1984), Brink e Willians (1964) L.C.P.C. (1967), GOUNON (1980) e GASTER (1977). Dentre todos os símbolos contidos nas referências citadas, somente foram adotados aqueles que representam eventos que tenham ocorrência no país. Os símbolos para a carta de declividade foram adotados em função de facilitar a trabalhabilidade, enquanto os símbolos para a carta de documentação foram escolhidos considerando a possibilidade de realizar algumas mudanças sobre os formatos básicos de maneira que condições especiais possam ser representadas, sem a necessidade de criar novos símbolos. Outros símbolos foram anexados por representarem situações típicas do meio físico do país.

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

PRODUTOS OBSERVADOS	SÍMBOLO	
	UNIDADES	GRUPO
1. Afloramento observados..... Material inconsolidado	●1	
Rochoso	Δ1	
2. Sondagem Geral.....	○1	
- Mecânica S.P.T.	⊘1	
CPT	⦶1	
Outras	⊕1	
- Manual.....	⊕1	
- Geofísica sismica (refração ou reflexão).....	⦶1	
elétrica.....	⦶1	
3. Pedreira.....	⊠1	
4. Porto de Areia.....	1	
5. Material Cerâmico.....	1	
6. Amostragem Deformada.....		
(material inconsolidado) indeformada.....	⊡	
7. Amostragem.....	⊡	
(material rochoso)		
8. Poços Profundos.....	⊙1	

CARTA DE DECLIVIDADE

ESCALAS URBANAS (1:10 000 a 1:25 000)

LIMITES DAS CLASSES

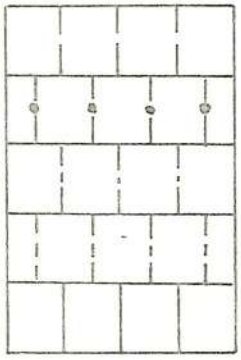
1- 0 - 2%

2- 2 - 5%

3- 5 - 10%

4- 10 - 15%

5- > 15%



ESCALAS REGIONAIS (1:25 000 a 1:100 000)

LIMITES DE CLASSES

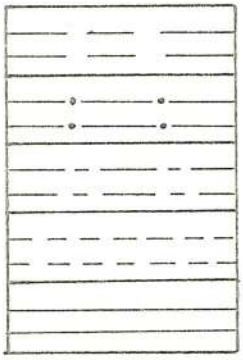
1- 0 - 2%

2- 2 - 10%

3- 10 - 15%

4- 15 - 20%

5- > 20%



FENÔMENOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

		ESCALA		
		GRANDE	MÉDIA	PEQUENA
1.	Fonte (l/min.)			
2.	Fonte Artesiana			
3.	Fonte Intermitente			
4.	Grupo de Fontes			
5.	Linha de Fontes			
6.	Fonte Mineral			
7.	Fonte Termal	T40	T	T
8.	Poço			
9.	Poço Artesiano			
10.	Poço Mineral			

FENÔMENOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS (continuação)

		GRANDE	ESCALA MÉDIA	PEQUENA
11.	Poço Termal	T80	T	T
12.	Nível Freático			
	- acima N.M.M.	+160	+20	+50
	- prof. da Super.	-6	-5	-5 10>20
13.	Área com água Parada			
14.	Direção geral do Fluxo de água Subterrânea (determ. e estim.)			
15.	Divisor de água Subterrânea			
16.	Elevação da Superfície Piezométrica	+75	+75	
17.	Divisor de águas Superficiais			
18.	Água Subterrânea Confinada			
19.	Bacia com Artesianismo			

FENÔMENOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS (continuação)

		ESCALA GRANDE	ESCALA MÉDIA	ESCALA PEQUENA
20.	Desaparecimento de Correntes			
21.	Reaparecimento de Correntes			
22.	Altura da Linha de Costa			
23.	Áreas Alagadiças, Pantano e Outros			
24.	Limites (m) de Inundações	100	100	
25.	Áreas Inundadas Temporariamente			
26.	Corrosividade da H_2O (Área)	pH CL CO_2 SO_4 +2		
27.	Corrosividade de H_2O (Local)	CL		

FENÔMENOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS (continuação)

		ESCALA		
		GRANDE	MÉDIA	PEQUENA
28.	Zona de Proteção Para Águas (Potáveis, Medicinais)	P	M	
29.	Áreas com Poluição			
30.	Maior Maré			

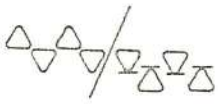
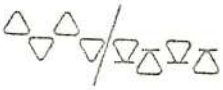
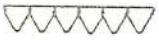
OBS: 1. Os símbolos se possível devem ser em cor azul

+2. Intensidade da corrosividade

3. Tipo de poluidor

4. Os símbolos quando não existirem para a escala desejada e se for necessário, devem ser os mesmos da escala existente só com variação do tamanho.

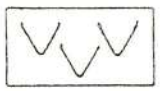
FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS

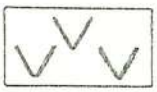
		ESCALA GRANDE	ESCALA MÉDIA	ESCALA PEQUENA
1.	ENCOSTA (SUPERFÍCIE C/ Xº)			
2.	RELEVO ONDULANTE			
3.	ENCOSTA CONVEXA			
4.	ENCOSTA ABRUPTA			
5.	QUEBRA DE ENCOSTA (CONVEXA, CÔNCAVA)			
6.	ESCARPA ABRUPTA			
7.	ESCARPA SUAVE			
8.	CONE ALUVIONAR			
9.	TERRAÇOS			
10.	PENHASCO			

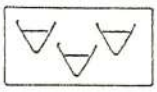
FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS (continuação)

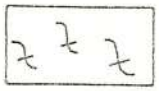
		ESCALAS		
		GRANDE	MÉDIA	PEQUENA
11.	SOLIFLUXÃO			
12.	EFEITOS GLACIAIS			
13.	DUNAS			
14.	CANAIS DE RIOS ABANDONADOS			
15.	VALES SOTERRADOS			

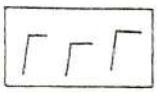
ROCHAS IGNEAS

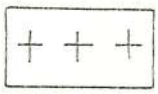
1. RIOLITO 

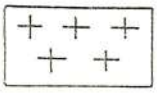
2. ANDESITO 

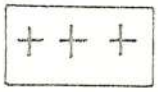
3. BASALTO 

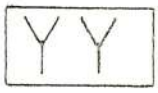
4. VIDRO VULCÂNICO 

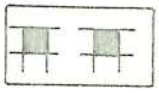
5. PEGMATITO 

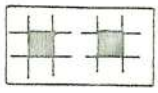
6. GRANITO 

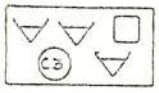
7. DIORITO 

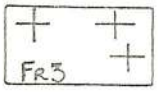
8. GABRO 

9. DOLERITO 

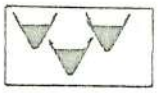
10. PIROXENITO 

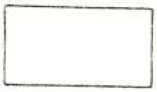
11. PERIDOTITO 

12. BASALTO, INTEMPERIZADO, COM BLOCOS COLUNARES 

13. GRANITO FRATURADO COM NÍVEL 3 

14. SIENITO

15. DIABÁSIO 

16. SERPENTINITO 

SOLOS (materiais inconsolidados)

1. ATERRO (FILL)

2. ARGILA

3. COLUVIO, TALUS, DETRITOS

4. SILTE

5. LOESS

6. AREIA

7. SEIXO

8. BLOCOS

9. TURFA

10. AREIA SILTOSA

11. SILTE ARGILOSO

12. AREIA CARBONÁTICA

13. AREIA COM SEIXOS

14. TURFA ARENOSA

15. SILTE ARENOSO

16. ARGILA SILTOSA

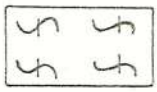
17. CONCREÇÕES

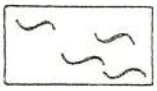
OBS: 1. No caso de materiais com misturas deve se usar um símbolo que represente todos os tipos envolvidos predominando o que aparecer em maior proporção.

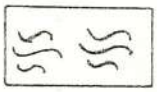
2. Os símbolos poderão ser substituídos por cores, quando houver condições.

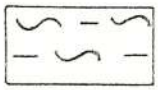
ROCHAS METAMÓRFICAS

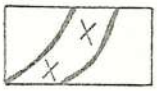
1. MIGMATITO

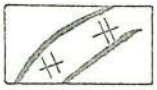
2. GNAISSE 

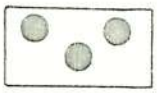
3. XISTO (GERAL) 

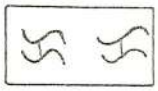
4. FILITO 

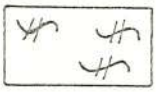
5. ARDÓSIA 

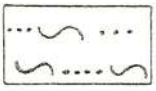
6. MILONITO 

7. BRECHATECTÔNICA 

8. HORNFELS 

9. MÁRMORE 

10. GRANULITO 

11. QUARTZITO 

12. ANFIBOLITO

13. ROCHAS METAMÓRFICAS

ROCHAS SEDIMENTARES

1. ARGILITO
2. ARENITO
3. SILTITO
4. BRECHA
5. CONGLOMERADO
6. GIZ
7. CALCÁREO
8. DOLOMITO
9. HALITA
10. ANIDRITA
11. GIPSO
12. CHERT
13. CARVÃO
14. LIGNITA
15. TUFOS
16. BRECHA VULCÂNICA
17. AGLOMERADO VULCÂNICO
18. FOLHELHO
19. MUDSTONE
20. MARSTONE (MARGAS)
21. GRAUVACAS
22. ARCÓSIOS
23. ARENITO MODERADAMENTE INTEMP. (GRAN3)
24. ARENITO C/GRANDES BLOCOS TABULARES
25. CALCÁREO COM CHERT
26. DOLOMITO/CALCÁREO
27. ROCHA SEDIMENTAR

FENÔMENOS GEODINÂMICOS

		ESCALA GRANDE	ESCALA MÉDIA	ESCALA PEQUENA
1.	ESCORREGAMENTOS EM GERAL			
2.	QUEDAS DE ROCHAS			
3.	ESCORREGAMENTOS DE TERRA ROTACIONAIS			
4.	ESCORREGAMENTOS DE TERRA TRANSLACIONAL			
5.	CREEP			
6.	SOLIFLUXÃO			
7.	FLUXO DE TERRA			
8.	AVALANCHAS			
9.	ÁREA DE ESCORREGAMENTO POTENCIAL			

FENÔMENOS GEODINÂMICOS (continuação)

		ESCALA GRANDE	ESCALA MÉDIA	ESCALA PEQUENA
10.	ÁREA POTENCIAL DE QUEDA DE ROCHAS			
11.	EROSÃO LATERAL ATIVA			
12.	EROSÃO EM ENCOSTAS			
13.	FORMAÇÃO DE (a) ALUVIÕES (b) COLUVIÕES	a b		
14.	PROBLEMAS CARSTICOS			
15.	FENÔMENOS DE SUFUSÃO			
16.	HIDROCOMPACTAÇÃO EM LOESS			
17.	ÁREA COM SUBSIDÊNCIA ATIVA			

FENÔMENOS GEODINÂMICOS (continuação)

		ESCALA GRANDE	ESCALA MÉDIA	ESCALA PEQUENA
18.	ÁREA COM SUBSI DÊNCIA (POSSÍVEL)			
19.	MOVIMENTO DE DUNAS			
20.	FEIÇÕES DEVIDO EXPANSÃO E CON TRAÇÃO			
21.	INTENSO INTEM-PERISMO ATIVO			
22.	FEIÇÕES DEVIDO AO GELO			
23.	LINHAS ISOSIS MICA			
24.	FALHAS ATIVAS OU COM POTENCIAL			

ESCALAS	grandeza do fenômeno que deve ser registrado
GRANDES	fenômenos individuais
MÉDIAS	áreas onde ocorrem feições características do problema
PEQUENAS	áreas de ocorrências através de símbolos pontuais

CARTA DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os símbolos apresentados a seguir devem ser usado nas cartas de vulnerabilidade da água subterrânea, quando possível deve estar associado as cores que aparecem na coluna ao lado do símbolo. Os símbolos foram propostos por ALBINEZ e MARGAT (1970) para condições gerais e específicas, e foram adotados com algumas modificações:

1- CONDIÇÕES GERAIS -

Símbolos propostos para cartografias em escalas em torno de 1:250 000.

SÍMBOLO	OBSERVAÇÕES	FEIÇÕES À REPRESENTAR
	Cor vermelha	-Aluviões sem nenhuma proteção. -Níveis aluvionares livres ou não, protegidos em superfície por uma camada pouco permeável. -Níveis aluvionares alimentados diretamente por um curso de água 1- alimentação natural 2- realimentação induzida
	Cor vermelha	-Terrenos onde a poluição se propaga rápidamente
	Cor amarela	-Terrenos onde a poluição se propaga muito lentamente.
	Listas verdes e laranja	-Terrenos onde a poluição se propaga com muita variação.
	Cor azul	-Terrenos onde a poluição somente afeta as águas superficiais. 1- terrenos sedimentares furos 2- terrenos eruptivos e metamórficos, terrenos sedimentares com alta diagenes.

	Cor preta ou azul	-Zonas de domos, terrenos com águas somente infiltradas, não sofre influência das águas superficiais.
	Cor preta	-Terrenos onde os níveis são alimentados por águas de irrigação, provenientes de um curso de água superficial.
	Cor negra ou traços claros da mesma cor que os terrenos aflorantes	-Zonas protegidas parcialmente na superfície por um terreno pouco permeável, retardando a poluição do nível subjacente.
	Cor vermelha	-Pontos de perda total ou parcial dos cursos de águas superficiais, originando uma possível poluição direta nas águas subterrâneas pelas superficiais.
	Cor negra 1- cavernas ou grutas 2- poço natural	-Pontos muito vulneráveis.Riscos de poluição por rejeito direto (líquido ou sólido) no interior de um aquífero.
	Cor negra - caverna com circulação temporária. - caverna com circulação perene. - poço natural com circulação temporária. - poço natural com circulação perene.	-Locais incerto vulneráveis.Apresentando perigo máximo, devido a possibilidade de introduzir diretamente a poluição na água subterrânea.
	Cor Negra	-Limite natural de divisão do fluxo da água subterrânea, não sendo ultrapassado pela poluição.
	Cor negra	-Área onde a presmo do primeiro nível encontrado é superior ao nível subjacente, sendo alimentado pelo nível inferior e a contaminação pode ser indireta.
	Cor negra ou vermelha	-Sentido de propagação de uma poluição eventual (direção principal de escoamento da água superficial).
	Cor negra ou vermelha	-Relação provável entre dois pontos por experiência do traçado.
	Cor negra ou vermelha	-Relação possível entre dois pontos.
	Cor negra	-Áreas inundáveis.

	Cor negra - estradas a céu aberto - estradas subterrâneas - areiero (areal) - mineração	-Pontos muito vulneráveis, risco de poluição por rejeito direto (sólido ou líquido) no interior de um mesmo aquífero.

2- CONDIÇÕES ESPECÍFICAS-

A seguir serão apresentados os símbolos que devem ser acrescidos aos anteriores, e o conjunto deve ser utilizado em cartografias realizadas em escalas em torno de 1:50 000.

SÍMBOLO	OBSERVAÇÕES	FEIÇÕES A REPRESENTAR
	Cor negra ou azul	-Ponto de captação de água subterrânea para fins domésticos com ou sem perímetro de proteção.
	Cor negra	-Captação em sondagem para uso doméstico.
	Cor negra ou azul	-Fontes de captação para uso doméstico com ou sem perímetro de proteção.
	Cor negra ou azul	-Fonte importante, não utilizada.
	Cor negra ou azul	-Limite de bombeamento no período de estiagem, toda poluição dentro deste perímetro chegara a captação em tempo curto.
	Cor negra	-Zona de habitação com saneamento coletivo ou individual.
x x x x 50% x x x	Cor negra	-Zona de habitação com saneamento coletivo ou individual, somente em parte.
	Cor negra	-Zona de habitação sem saneamento coletivo ou individual.
	Cor vermelha	-Esgoto
	Cor vermelha	-Fossa de escoamento de todo o esgoto.
	Cor vermelha	-Zona de infiltração de todos os esgotos.
	Cor negra	-Depósito de lixo.
	Cor negra	-Cemitério.
	Cor vermelha	-Depósitos de essência ou outros reservatórios de hidro-carbonetos.
	Cor vermelha	-Estação de serviços (station service)

	Cor vermelha	-Traçado de tubulações com direção de escoamento.
	Cor vermelha	-Indústrias de produtos químicos.
	Cor negra	-Rejeitos de minas e alto foricos.
	Cor vermelha	-Siderúrgicas.
	Cor vermelha	-Refinarias de petróleo, parques automotivos.
	Cor negra	-Leiterias.
	Cor negra	-Parques industriais diversos.
	Cor negra	-Areal, antigo ou explorado.
	Cor negra	-Areal aterrado com lixo.
	Cor negra	-Areal aterrado com escoria ou cinza.
	Cor negra	-Poço de minas, risco de poluição por esgotamento.
	Cor negra	-Fossa - local muito vulnerável.
E	Cor negra	-Estação de tratamento de águas.

9 - Banco de Dados

Trata-se de um processo de estocagem de dados de grande importância ao mapeamento geotécnico, pois possibilita o enriquecimento da área de terreno em termos de informações, permitindo realizar extrapolações e interpolações, como também elaboração de documentos através de sistemas adequados, computacionais ou não.

1 - FUNDAMENTOS

O princípio básico de um banco de dados é estocar as informações obtidas de uma determinada área, assim como permitir o enriquecimento do mesmo com o passar do tempo, de maneira tal que os conhecimentos sejam concentrados em um único centro de processamento de informações.

O processo de armazenar dados é sempre composto, de uma maneira geral, do sistema propriamente dito e de um mapa que o acompanha registrando situações pontuais ou unidade de áreas em que as informações são consideradas homogêneas.

O processo de armazenar informações deve variar em função da quantidade de dados existentes, quantidade essa, que normalmente determina a escala em que os mesmos deverão ser apresentados em mapas.

2 - FORMAS DE ARMAZENAR

Dentre os diversos trabalhos consultados, as formas mais constantes e que apresentam melhores condições de trabalho em todos os níveis são o arquivo de fichas; o microfilme e o computador. Em todas existe a dependência direta de uma ficha que registre todas as informações locais ou de área de interesse para o mapeamento geotécnico.

2.1 - Arquivo de Fichas

Esta forma de armazenar é bastante usada e indicada para escalas menores que 1:50.000, pois o número de informações normalmente é baixo, permitindo o armazenamento de cada ficha em caixas ar-

quivos, sendo que cada ficha deverá ter um número e estar registrada em um mapa denominado de mapa de dados ou de informações.

As fichas de informações às vezes devem sofrer uma outra numeração se a original não for sequencial e dentro de um esquema pré-determinado. Este tipo de arquivo de fichas não exige que o sistema esteja ligado a um sistema maior de áreas básicas, ou seja, o arquivo será realizado para cada região a ser mapeada. Exige-se, porém, uma notificação do órgão em que está situado o arquivo para que não ocorra duplicidade de trabalho.

Esta notificação pública é fundamental para que os usuários ou fornecedores de dados saibam como usá-lo e enriquecê-lo. Tal enriquecimento é fundamental para que atinja níveis que possibilite a apresentação de dados em escalas maiores e que outras formas de armazenamento sejam implementadas, principalmente porque o arquivo de fichas passa a exigir muito espaço físico. É aconselhável que, para cada área, as fichas possuam uma organização a partir de um dos vértices da quadrícula, principalmente a partir do vértice mais a SW da área, pois quando do uso destes dados esta condição facilitará o seu manejo.

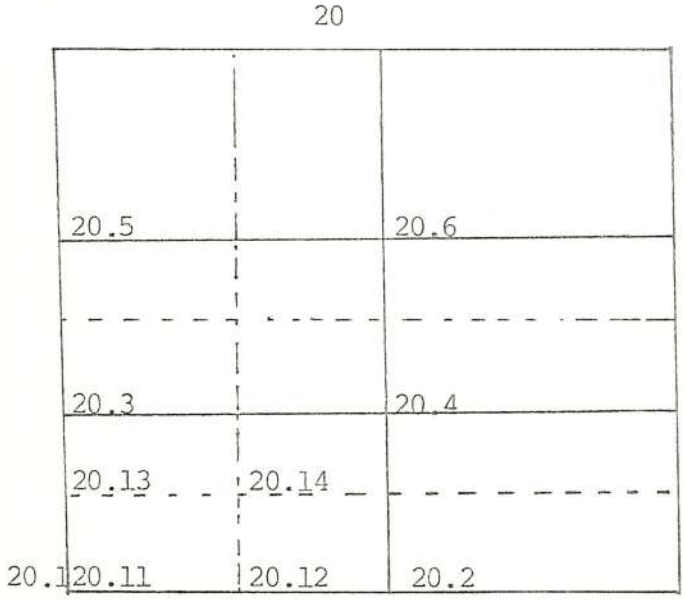
2.2 - Microfilme (Arquivo)

Esta forma de armazenamento exige um determinado conhecimento básico, sendo mais indicada para escalas entre 1:50.000 e 1:20.000.

No caso anterior, a microfilmagem deve ser realizada sobre um conjunto de fichas de uma dada parte da região em questão, sempre associada a um mapa de dados.

Nesta faixa de escala, o número de informações é razoável, assim como a utilização já se torna trabalhosa, exigindo portanto o sistema de microfilme. Este sistema exige que a área esteja ligada a um sistema usual de coordenadas geográficas (mapas geográficos, folhas do IBGE). Para resolver este sistema, surgiu a necessidade de se definir a unidade de área básica, proposta como 1 Km^2 na maioria dos trabalhos sobre o assunto

Como exemplo da divisão em áreas básicas, temos o esquema seguinte:



A microfilmagem deve ser realizada sobre as fichas de uma unidade de área básica (20.11) ou para um conjunto destas unidades como (20.4) ou para a folha básica 20, dependendo da capacidade de cada microfilme e da densidade de informações em cada unidade de área.

Em cada microfilme deve haver uma indicação sobre a(s) unidade(s) de áreas básicas que tem suas fichas registradas no mesmo, assim como um mapa com a divisão em unidades de áreas básicas e o numero das fichas deve ser relacionado com o correspondente microfilme. Há também a necessidade de que órgãos públicos, sejam responsáveis por este tipo de armazenamento, visto que há exigências de equipamentos sofisticados, assim como será mais fácil para os usuários e também para que novos dados seja acrescentados ao banco de dados. Deve ser elaborado um sistema auxiliar para os dados a serem acrescentados, de maneira tal que a sua microfilmagem seja feita só quando existir um número suficiente de fichas para suprir o microfilme. Desta maneira, faz-se necessário manter um arquivo de fichas temporário para auxiliar o sistema de microfilmagem.

2.3 - Computador - Estocagem

A intenção não é propor um sistema com os respectivos pro-

gramas, mas sim uma idéias inicial para que seja desenvolvida por técnicos capacitados. Neste sistema, a execução das operações deve ser realizada em duas etapas distintas, sendo a primeira voltada à armazenagem dos dados e a segunda à transformação e à representação dos dados em mapas bi-dimensionais. As escalas mais aconselhadas são as maiores que 1:25.000.

2.3.1 - Estocagem

Para a realização desta operação, dois caminhos predominam nas referências bibliográficas.

1 - Estocagem Pontual

Este caminho procura fazer uma estocagem das informações de maneira a retratar os dados de uma situação pontual, ou seja, por qualquer recurso de programação liga-se o quadro de informações ao sistema de coordenadas geográficas, e quando se fizer necessária a utilização destas informações para um determinado fim, deve-se fazer uma busca com o auxílio das coordenadas da área em questão, devendo aparecer no visor pontos catalogados que estão próximos ou dentro da área em questão.

Diversos bancos de dados conhecidos usam este sistema, tais como: VERCORS, GEOSYS, FIDGI, GEORETE entre outros citados na revisão bibliográfica.

2 - Estocagem por Áreas

Este caminho é caracterizado pelo sistema usado na região de TYNE e WEAR (Inglaterra) e os resultados obtidos parecem ser adequados e simples para a utilização dos usuários. A estocagem é realizada para cada unidade de área básica, que na região citada é de 100M x 100M (10.000m²), porém para as nossas condições, áreas maiores podem ser mais adequadas, porém sempre menores ou iguais a 1Km x 1Km (1Km²). Faz-se necessário que estas áreas básicas estejam interligadas com o sistema de coordenadas geográficas do estado ou país. Para que a informação seja estocada, é necessário que as propriedades e/ou suas relações sejam uniformizadas para cada área, e em seguida os dados sejam impressos em cartões como descri

to no item II .2-5.

3 - REPRESENTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES ESTOCADAS

Qualquer que seja a forma de armazenar os dados por meio de computadores, faz-se necessário um segundo grupo de programas associados, para recuperar as informações e realizar a impressão das mesmas e mapas. Nem todos os bancos de dados automáticos estão associados a programas que representam as informações diretamente em mapas, porém, sempre que as informações estão estocadas por áreas existe uma facilidade maior de representá-las em mapas bi-dimensionais.

O sistema complementar de representação usado em Tyne e Wear (Inglaterra) é bastante simples e os resultados apresentados em diferentes níveis de profundidade, refletindo as características de cada unidade de área básica da região em questão; um exemplo pode ser observado no ítemII .2-5, da revisão bibliográfica. Outros exemplos relativos ao uso da estocagem pontual para a realização de mapas podem ser observados no ítemII .2-7, parte do banco de dados de Hasan e West (1982).

4 - ATUALIZAÇÃO DA ESTOCAGEM

O banco de dados, qualquer que seja sua forma, deve apresentar facilidades para que novas informações sejam acrescidas e que a complementação dos mapas seja uma consequência.

A complementação dos sistemas de estocagem na forma de arquivo de fichas e microfilmagem é bastante simples, porém apresenta complexidade quando se tratar de formas computacionais.

A atualização dos bancos de dados está intimamente ligada aos interesses dos usuários e aos resultados que se obtem do banco de dados. Uma ficha geotécnica é a principal ferramenta para a realização e atualização dos bancos de dados, qualquer que seja a forma de estocagem.

PERFIL	ESCALA	I- DADOS BÁSICOS
		PONTO..... SONDAGEM..... TIPO..... COORD. Lambert { Latitude..... Longitude..... ALTITUDE..... Foto Aérea..... FORNECEDORA DOS DADOS..... DATA:..... PROF. N.A..... UN.AÉREA BASE..... RELEVO..... Amplitude..... Inclinação..... Declividade..... AMOSTRAS RETIRADAS..... Posições..... Tipo..... SINAIS MOVIMENTO DOS MATERIAIS..... Tipo..... EXPLORAÇÃO MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO..... Tipo..... Finalidade..... OBSERVAÇÕES:

II - MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Residual..... Sedimento.....

Espessura Total..... Número de Tipos Observados.....

Descrição do Perfil.....

CARACTERIZAÇÃO DE CADA TIPO

CARACTERÍSTICAS	TIPO - 01	TIPO - 02	TIPO - 03	TIPO - 04
01) TEXT. PREDOMINANTE				
02) ESTRUTURA				
03) COR				
04) ESPESSURA PARCIAL				
05) eo/pd (CAMPO)				
06) RESTOS DE ROCHA				
07) PRESENÇA DE M.O.				
08) ROCHA MÃE				
09) MINERALOGIA				
10) CLASSIF. U.S.C.				
11) CLASSIF.				
12) OBSERV.				

	ATRIBUTO/PROPRIEDADE	TIPO - 01	TIPO - 02
	ROCHA		
	TEXTURA		
	ESTRUTURA		
	MINERAL PREDOMINANTE		
	COR PREDOMINANTE		
	GRAU DE INTEMPERISMO		
	FRATURAMENTO		
	Preenchido		
	Tipo de Material		
	Densidade		
	Continuidade		
	FORMAÇÃO GEOLÓGICA		

IV - INFORMAÇÕES NUMÉRICAS

PROPRIEDADE/ PARÂMETROS	MATERIAIS DE INCONSOLIDADOS				TIPOS ROCHOSOS	
	TIPO - 01	TIPO - 02	TIPO - 03	TIPO - 04	TIPO - 01	TIPO - 02
01) GRANUL. (P/A/S/A)						
02) LL e LP						
03) ρs e DENS. ROCHA						
04) SPT						
05) EQUIV.AREIA/%Co3						
06) MIN. EXPANSIVOS						
07) GEOFÍSICA						
Sismica						
Resistividade						
08) Nipt/RQD/outras						
09) PERMEABILIDADE(K)						
Estimada						
Ensaio (c/l)						
10) Proctor (ρdm-Wot)						
11) RESISTÊNCIA						
Ens/Amostra						
12) PRESSIÔMETRO						
Modulo Pressiom.						
Pressão Limite						
Pressão de Escoa mento						