

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Geotecnia

Curso de Geologia para Engenheiros

2

Alfredo José Simon Bjornberg
Nilson Gandolfi
Antenor Braga Paraguassu

São Carlos, abril de 2002

XI. DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS

1. Descrição Quantitativa

1.1 - Introdução

O desenvolvimento cada vez maior da engenharia civil nos últimos anos vem exigindo uma necessidade crescente de caracterização geológica dos maciços rochosos de fundação, a fim de se prever adequadamente o comportamento mecânico em relação às solicitações a que serão submetidos.

As características mais evidentes e importantes para as obras civis são: resistência ao cisalhamento, a deformabilidade, a tensão residual e a permeabilidade, todas elas diretamente relacionadas às propriedades geológicas dos maciços rochosos, incluindo especialmente sua compartimentação.

Especificamente, são incluídos os seguintes assuntos:

- condições provocadas pela presença de água subterrânea com a possibilidade de criar problemas relativos aos trabalhos de fundação;
- magnitude da alteração de rocha, imposta pelas modificações introduzidas devidas aos trabalhos de engenharia;
- magnitude das deformações dos maciços rochosos, sob as cargas impostas com a realização da obra;
- estabilidade dos taludes e resistência ao cisalhamento das massas rochosas envolvidas nos trabalhos de engenharia;
- volumes, critérios e modos de executar escavações de maciços rochosos são e/ou alterados e,
- adequabilidade da rocha a ser usada para um certo objetivo durante a construção.

Só através de uma criteriosa investigação de subsuperfície é possível projetar a obra corretamente e tomar as medidas necessárias para adotar um adequado tratamento de fundação, quando necessário.

Um maciço rochoso consiste de um agregado de blocos de um material rochoso separados entre si, por: planos de acamamento, planos de clivagem, planos de foliação, etc. Localmente, planos estruturais fracos poderão estar abertos, sem preenchimento; poderão estar cheios de água, ou ainda cheios de material alterado, isto é, repletos de material decomposto, diferente do

que compõe os blocos propriamente ditos. Poderá haver também um imbricamento dos blocos, engrenando-se uns aos outros, ou ainda um aprisionamento de blocos pelas massas rochosas adjacentes. Nem sempre as fraturas atravessam todo o maciço, podendo apenas isolar parcialmente os blocos rochosos com rupturas incipientes. Essas fraturas poderão se ampliar quando:

- o material é imerso em água e as fraturas se abrem por inchamento das partes mais alteradas ou por ação das pressões capilares;
- a rocha sofre impactos de ondas sísmicas, produzidas naturalmente ou por deformações artificiais; há casos em que tais planos são paralelos, e visíveis só após o impacto, o que evidencia um estado anterior de microfissuramento do maciço, com a presença de planos potenciais de fratura.

A aplicação dos conhecimentos de engenharia aos materiais geológicos pressupõe que se esteja perfeitamente familiarizado com todos os detalhes da rocha "in situ". Entretanto, sempre há numerosas deficiências de conhecimento, principalmente no que se relaciona com as propriedades mecânicas do maciço rochoso, quando considerado no seu conjunto.

1.2 - Hidrologia dos Maciços

A natureza do material rochoso que forma os blocos - ou unidades, bem como, as fraturas e juntas governarão os processos de percolação através dos maciços rochosos. A extensão das juntas, fraturas e falhas é de enorme importância na determinação da permeabilidade do maciço rochoso.

O meio geológico em termos de condicionamento tectônico, determina a disposição de camadas e de compartimentação da massa rochosa, constituindo o elemento controlador da circulação de água.

1.3 - Alteração de Rocha

A natureza e grau de fissuramento também governam as "susceptibilidades" do maciço rochoso ao intemperismo. Quanto maior o número de fraturas e quanto mais próximas, maior a superfície de ataque dos agentes de alteração. O mesmo vale dizer - dos vazios existentes. Outro fator de importância primordial se refere à composição química do material rochoso considerado. Deve-se enfatizar o fato de que o intemperismo químico não é apenas por si só importante, mas que, a alteração das rochas tem um papel considerável na diminuição das qualidades mecânicas dos maciços, influenciando na deformabilidade, características de rutu-

ra e estabilidade das rochas.

1.4 - Deformação dos Maciços

Nos processos de deformação e ruptura dos maciços rochosos, são importantes os seguintes fatores:

- movimento relativo dos blocos;
- compressibilidade e ruptura do material rochoso;
- falhamento e resistência ao cisalhamento do material de preenchimento das juntas;
- compressibilidade do material de enchimento;
- remoção do material de enchimento por erosão e lixiviação interna do maciço;
- afluxo de água ao maciço ativando os processos anteriores.

1.5 - Estabilidade de Taludes Rochosos

Um maciço rochoso poderá se instabilizar como resultado da:

- desintegração do material rochoso que forma os blocos do maciço;
- erosão da base do talude e solapamento de blocos;
- encosta atingir, por erosão, uma altura crítica;
- pressão elevada de água nas juntas do maciço, como acontece em áreas de artesianismo;
- fuga ou escoamento de camadas argilosas, existentes entre camadas rígidas e,
- resistência baixa de uma fratura extensa, contínua e lisa, preenchida por material plástico que serve como plano de cisalhamento.

1.6 - Escavação do Maciço Rochoso

A possibilidade de se escavar adequadamente um maciço rochoso depende de um estudo cuidadoso tanto do material que compõe a rocha, como das fraturas nela existentes. Às vezes, o maciço é constituído de rochas resistentes; entretanto, poderá assim mesmo, ser escarificado com certa facilidade em razão das numerosas fraturas que o cortam.

1.7 - Rocha como Material de Construção

Para ser usada como agregado de concreto ou como agregado betuminosos, a rocha deve apresentar qualidades e características adequadas. Para enrocamentos, o tamanho (granulometria) dos blocos de rocha é de grande importância, bem como a sua alterabilidade, como material agregado, não deverá reagir com o aglutinante.

1.8 - Modelo de Maciço Rochoso e Fraturas (Diaclases ou Juntas)

Antes de se considerar detalhadamente cada um dos itens mencionados anteriormente, há necessidade de se compor um modelo do maciço rochoso. Poderá ser um modelo físico, ou matemático, ou até mesmo gráfico. Ao se avaliar a massa rochosa para fins de engenharia, geralmente é possível estudar, em separado, as seguintes características:

- o material componente dos blocos do maciço;
- o sistema de fraturas que corta o maciço, bem como dos falhamentos e demais planos de fraqueza, planos potenciais de cisalhamento, etc.;
- as condições ambientais que ocorrem antes, durante e após a construção da obra. O estudo das condições geológicas reinantes em passado geológico recente poderá fornecer elementos importantes relativos ao estado atual em que se encontra o maciço.

Através de estudos adequados previamente realizados, como foi mencionado nos itens anteriores, é possível avaliar corretamente a interação entre os constituintes dos maciços rochosos e fatores geológicos que neles influem.

Onde os planos de fraqueza estrutural estão muito espaçados, e as fraturas acham-se perfeitamente fechadas, o material que compõe a rocha será o principal responsável pelo comportamento do maciço rochoso, ao contrário do que acontece quando o maciço está intensamente fraturado e suas juntas preenchidas por material diferente do que o que compõe os blocos de rocha.

Mesmo quando as condições locais parecem favoráveis, deve-se tomar precauções relativas à possibilidade de uma grande parte do maciço se deslocar para pontos críticos em que a rocha se encontra não confinada ou mesmo alterada. Nunca se deve esquecer das condições climáticas ou meteorológicas regionais, bem como do estado de tensões no local e da ação estática ou dinâmica da água à superfície ou em profundidade.

1.9 - Levantamento das Juntas ou Diaclases

O levantamento de diaclases e demais fraturas, é a operação para qual são colhidos os dados que possibilitam a construção de um modelo do maciço rochoso. O modelo permite avaliar as condições mecânicas em que se encontra o maciço e seus efeitos.

O levantamento de fraturas é relevante em qualquer serviço de engenharia realizado sobre rocha. Mesmo em exploração de pedreiras, o tamanho individual dos blocos limitados por diaclases é importante, ditando o tipo de desmonte a ser utilizado e a aplicabilidade da rocha como material de construção. Em muitos casos, é possível contar de início com informações preliminares de levantamentos de superfície. Posteriormente, sondagens rotativas ou à percussão fornecerão elementos sobre o material rochoso. Entretanto, para se obter dados quantitativos dos testemunhos de sondagem, estes terão que passar por rigoroso exame e estudos especiais. Há necessidade também de serem realizados furos de sondagem inclinados, principalmente para esclarecer sobre a direção e extensão das zonas de diaclases. Observações cuidadosas devem ser realizadas sobre o comportamento do lençol freático, seja em poços, seja nos próprios furos de sondagem. A perda d'água nos furos, durante a sondagem, já constitui um indício de presença de fraturas abertas no interior do maciço. A determinação da condição estrutural (tectônica) do maciço se constitui num problema tridimensional. Sempre que possível, são abertos poços, trincheiras e, em obras de vulto, túneis exploratórios. Há necessidade de se obter o máximo de informações relativas ao fraturamento, dada a sua importância, bem como conhecer a geologia geral da área em que será implantada a obra. Localmente o levantamento das diaclases terá que ser minucioso e quantitativo, devendo ser continuamente aprimorados e complementados - com novas observações à medida que se processa o trabalho de execução da obra.

2. Compartimentação e Composição do Maciço Rochoso

Quando se pretende definir a compartimentação do maciço rochoso e sua composição cumpre determinar:

- o padrão de fraturamento no maciço;
- a natureza do material rochoso, em termos de suas propriedades físicas e mecânicas.

Os problemas relativos aos materiais rochosos são normalmente de caráter físico e mineralógico; por outro lado, os problemas relativos aos maciços rochosos são de caráter mecânico (estático e dinâmico), condicionados pelas discontinuidades.

Durante os levantamentos de campo, deve-se cuidar da amostragem de todas as litologias presentes na região, determinando inclusive suas propriedades direcionais (quando existentes) e suas atitudes (orientação espacial) relativamente a outras estruturas presentes.

As escolhas de ensaios e do tipo de classificação adotado dependerá da natureza do problema de engenharia e de um modo geral seria o seguinte:

- a) identificação de campo e classificação dos materiais rochosos em termos de textura, estrutura, composição, granulometria e cor;
- b) classificação e determinação dos índices físicos, incluindo ensaios de sanidade (ciclagem natural, ciclagem acelerada, etc.);
- c) ensaios mecânicos e dinâmicos, tais como: determinação da tensão de ruptura, módulo de elasticidade, resistência ao cisalhamento, velocidade de condução de ondas sísmicas, etc.
- d) correlação entre os resultados obtidos a partir dos vários ensaios;
- e) granulometria e verificação de micro fraturas e estado dos constituintes mineralógicos da rocha ao exame microscópico.

Nem sempre os dados obtidos acima poderão ser tratados quantitativamente nos problemas de engenharia. Contudo, mesmo contando com meios e critérios semi-quantitativos, há necessidade de serem definidas as condições geológicas de forma mais precisa possível a fim de se entender e avaliar corretamente o seu significado; dessa forma será possível compreender o "estado físico" e mineralógico do material rochoso e através do acúmulo de dados sobre esse assunto realizar uma análise do maciço rochoso pelos métodos usuais da mecânica.

2.1 - Classificação das Fraturas

Quando se procede a uma classificação de fraturas é de vital importância distinguir entre diaclases (juntas) e fraturas cisalhadas ou falhas. Sob o aspecto genético, as fraturas poderão ser classificadas em muitos tipos diferentes, tais como: juntas - de contração, como por exemplo, as decorrentes do resfriamento de massas ígneas tais como as que ocorrem em basaltos; juntas de contato, como as que ocorrem nos contatos entre camadas, como por exemplo o contato entre folhelho e calcáreo da Formação Irati; juntas de alívio de carga ("sheeting"), que ocorrem em praticamente todas as litologias na parte externa e superficial dos maciços rochosos. As fraturas de origem tectônica, principalmente os falhamentos, geralmente são de extensão muito grande, podendo atingir vários quilômetros, com grande profundidade.

Nos vales profundos, a erosão poderá aliviar as tensões compressivas laterais, perpendicularmente ao eixo do rio, produzindo a abertura das fissuras que se dispõem paralelamente ao

vale. Ao norte do Estado de São Paulo, são frequentes as fraturas de basalto preenchidas por sílica, principalmente na superfície dos maciços rochosos. As causas são provavelmente climáticas.

Considerações relativas à origem e atitude (disposição espacial) dos planos de fratura poderão ser de grande importância permitindo avaliar sua extensão no interior do maciço.

Nos levantamentos de fraturas em geral, é conveniente relacioná-las tanto às fraturas cisalhantes (falhas) como as não cisalhantes (planos de acamamento) mais importantes da área considerada, relativamente à direção, ao mergulho e inclinação. É importante também indicar a frequência numa determinada área de ocorrência.

2.2 - Grau de Continuidade

Tanto as juntas esparsas como aquelas que formam sistemas, poderão ser contínuas ou descontínuas. As descontínuas oferecem melhores condições de resistência ao maciço, uma vez que este para ser rompido exige que a própria massa rochosa seja cortada. Juntas contínuas, entretanto, constituem faixas de menor resistência que poderão ser cortadas sob tensões cisalhantes menores que aquelas capazes de romper o maciço são. Em razão da maioria dos maciços rochosos ter passado por uma história geológica - relativamente longa e, assim, por várias fases de tectonismo ativo, possuem zonas de menor grau de fraturamento, com fraturas geralmente descontínuas bem como zonas de maior grau, com fraturas geralmente contínuas. Sempre que se emprega os termos contínua - ou descontínua, há necessidade de se indicar a extensão das fraturas. As medidas são feitas, sempre que possível, sob a área de implantação da obra ou nas suas vizinhanças, seja nos afloramentos naturais, seja em corte de rodovia, trincheiras ou túneis.

2.3 - Orientação das Juntas

A orientação das juntas e diaclases permite, em muitos casos, determinar as orientações das tensões principais de um maciço (tensões residuais) ou pelo menos os sistemas principais de fraturamento. Para isso há necessidade de se proceder a um tratamento estatístico das medidas de direção e mergulho das fraturas e das estrias de atrito, quando presentes. (Vide PARAGUASSU, GANDOLFI e LANDIM; Curso Prático de Geologia Geral, 4.^a edição, 1977, pág. 93-99).

2.4 - Espaçamento das Juntas

É importante o estudo do espaçamento dos vários tipos

de fraturas que compõem um determinado sistema, característico de uma dada região. Para cada tipo de fratura, deve-se determinar o espaçamento médio e o desvio padrão. A Fig. 75, mostra um exemplo de resultados obtidos num levantamento desse tipo.

É de interesse também, a determinação da abertura média de cada tipo de fratura, bem como o desvio padrão das distribuições referidas. A abertura corresponde ao afastamento dos blocos cortados por uma fratura. As medidas são executadas no campo, nos afloramentos ou áreas de escavação de rocha, com régua de escala micrométrica adequada e lente de aumento. A Fig. 76, mostra um gráfico exemplificando a apresentação dos resultados obtidos nesse tipo de levantamento.

A extensão das fraturas constitui elemento importantíssimo da resistência ao cisalhamento e deverá ser estudada nos maciços de fundação juntamente com o espaçamento, a abertura e o preenchimento da descontinuidade.

A abertura das fendas controla:

- a) a penetração dos agentes de intemperismo que atuam sobre um maciço rochoso;
- b) movimentação da água subterrânea;
- c) absorção da calda de cimento pelas fundações, em trabalhos de injeção;
- d) contração e distensão do maciço rochoso, quando submetido a compressões e trações.

Convém ressaltar não apenas o papel do enchimento das fissuras, como importante fator que altera os casos mencionados - nos quatro itens anteriores, mas inclusive o fato de que as medidas de abertura, realizadas à superfície dos maciços, dão valores maiores que aqueles realizados em galerias ou escavações profundas, face ao alívio de carga que ocorre na parte externa dos maciços - rochosos.

2.5-Preenchimento de Fissuras

O preenchimento de zonas fissuradas poderá provir de alteração "in situ" ou de material de outras zonas, até mesmo do solo sobrejacente ou das vizinhanças do maciço rochoso. A adequada determinação desse enchimento é extremamente útil principalmente para se concluir sobre as áreas de "alimentação" do lençol freático ou regiões de fraturamento suficientemente abertas para permitir a contaminação do maciço em zonas subjacentes ou vizinhas. Deve-se verificar, a extensão em que ocorre o enchimento dentro

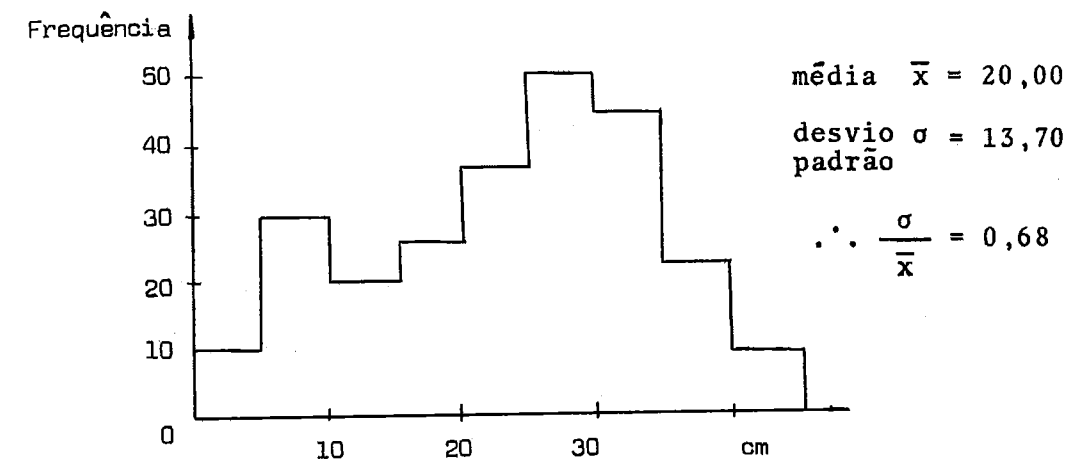


Fig. 75 - Espaçamento entre fraturas paralelas de direção média E-W, mergulho vertical.

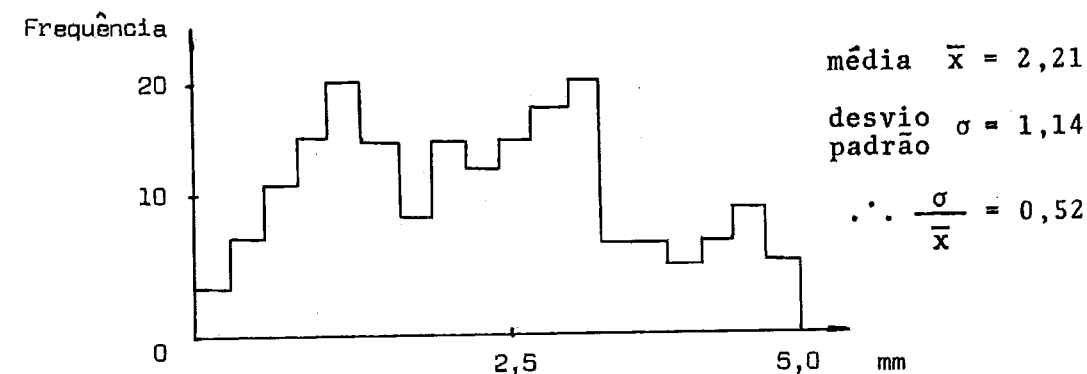


Fig. 76 - Abertura de fraturas paralelas de direção média E-W, mergulho vertical.

da fissura considerada relativamente a sua extensão total. Um enchimento plástico poderá significar uma relativa impermeabilização da zona fissurada, porém, poderá representar também uma camada de baixa resistência, permitindo recalques e possivelmente deslizamentos.

2.6 - Influência da Água Subterrânea

Dos levantamentos geotécnicos deverá constar ainda o comportamento do lençol freático, isto é, zonas de escoamento superficial (afloramentos do nível de água) ou profundo (poços) bem como, zonas de alta subpressão no maciço.

2.7 - Falhamentos e Estruturas de Rocha

Zonas de falha ou de contatos litológicos devem ser cuidadosamente investigadas e mapeadas. É importante verificar seu

relacionamento com zonas de alteração de rochas e com o lençol da água subterrânea.

2.8 - Tipos de Superfície de Fraturamento

Neste item são feitas considerações relativas às paredes ou superfícies das fraturas das zonas fissuradas, sendo que a natureza dessas superfícies determinam:

a) a resistência ao movimento dos blocos de rocha cortados pe

duladas, uma vez que, as lisas apresentam resistência, relativamente baixa as rugosas, uma resistência média e finalmente as onduladas tem maior resistência, porque o deslocamento dos blocos provocará uma ruptura do material rochoso (Fig. 77).

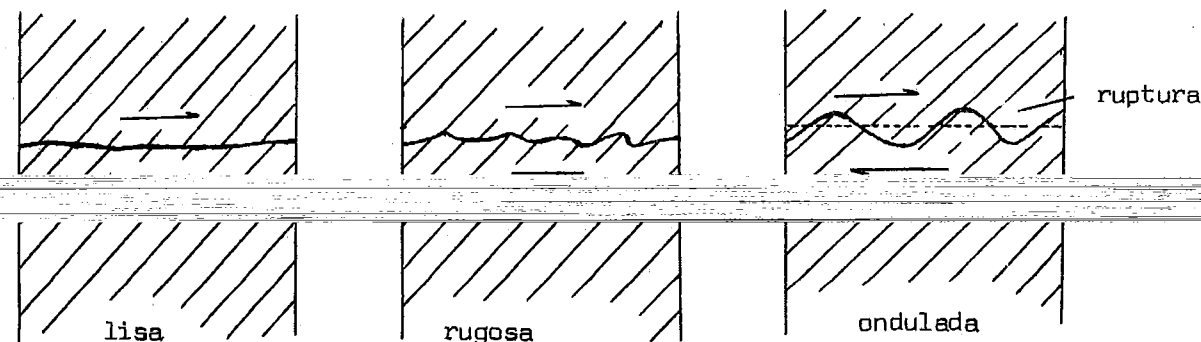


Fig. 77 - Tipos de superfícies de fratura e resistência ao movimento.

b) influência da distribuição das tensões no interior do maciço rochoso, sendo importante determinar as áreas de contato nos planos que separam blocos de rocha, uma tarefa, aliás bastante difícil; costuma-se usar papel carbono adequado (sensível) entre os blocos, para grafar as zonas de contato com a aplicação de diferentes pressões e os resulta-

gada).

PROSPECÇÃO GEOLÓGICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS

de uma obra de engenharia, ou melhor, antes de se escolher um lo-

prova guiando um carro cujas características desconhece.

Normalmente, os gastos com tais prospecções é da ordem de 2% relativamente ao custo total da obra. Muitos casos poderão ser citados em que os gastos foram superiores a 10% para corrigir certos defeitos do trabalho de engenharia que seriam facilmente evitados se a prospecção tivesse sido realizada adequadamente.

1. Levantamento Preliminar

Quando os trabalhos de engenharia a serem realizados, a prospecção do maciço rochoso é feita em caráter preliminar. Pode-se iniciar as investigações pelo exame de mapas topográficos existentes, cobrindo a área de interesse. O exame dessas plantas poderá ser realizado no escritório a fim de se verificar os aspectos gerais da região no que concerne a sua fisiografia. A medida que os estudos vão se desenvolvendo, maiores minúcias são requeridas e mapas ou plantas de maior detalhe deverão ser obtidos. Se possível, deverá também contar com dados e informações relativas à geologia da região capazes de fornecer alguma evidência geotécnica de importância.

O estudo de fotos aéreas da região é de grande valor para caracterizar certos aspectos geológicos, tais como: determinação de áreas alagadas, posição do lençol freático, áreas de erosão e de deposição; orientação de estruturas geológicas, etc.

Muitas informações úteis nessa fase dos trabalhos poderão ser obtidas em órgãos governamentais, tais como: universidades, municípios onde se localizam as regiões em estudo, Departamento Nacional de Produção Mineral, etc.

As investigações preliminares poderão ser complementadas por levantamentos geofísicos, eletro resistividade e sísmi-

ca no local provável da obra. Posteriormente e convenientemente uma investigação de maior detalhe com o uso de sondagens rotativas,

do lençol subterrâneo ou de vários níveis deverá ser determinada

no local de implantação e vulto da obra.

Em resumo, o padrão geral de trabalho é o seguinte:

- a) procura de todas as informações escritas relativas à matéria em estudo;
- b) investigação do local por foto aérea e por levantamento de campo, envolvendo as técnicas geológicas normais, bem como os meios correntes de geofísica aplicada;
- c) as investigações são conduzidas no sentido de se obter cada vez mais detalhes. Assim, há necessidade frequente de serem executadas sondagens e eventualmente abertura de trincheiras, poços e galerias.

O progresso dos estudos poderá exigir uma reformulação dos programas de investigação bem como um detalhamento ainda maior com o uso de métodos e ensaios especiais de reconhecimento geológico-geotécnico.

2. Fotointerpretação Geológica

2.1 - Definição

A fotografia aérea é um registro instantâneo dos detalhes do terreno, determinado por meio de papel fotográfico, distância focal da lente, câmara fotográfica, altura do aparelho portador da máquina fotográfica, etc. Pode-se defini-la também, como um conjunto de imagens do terreno em papel fotográfico adequado para interpretação.

Atualmente são usados fotos aéreas verticais e raramente fotos oblíquas.

2.2 - Fatores que influem na foto aérea

- a) fatores naturais, tais como: tonalidade do terreno, condições atmosféricas, etc.;
- b) fatores constantes, são aqueles que dizem respeito às características do aparelho fotográfico, tipo de filme, filtro usado com a máquina, etc.

2.3 - Distância focal e altura do vôo

A escala da fotografia é determinada pela relação altura do vôo e distância focal.

Portanto, a escala fotográfica pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$S = \frac{f}{H}$$

onde f = distância focal e H = altura do vôo

A sensibilidade do filme tem papel importante na aparência da imagem fotográfica.

Pode-se controlar a sensibilidade de um filme, permitindo-se que somente uma parte, ou todo o espectro visível seja fixado na imagem. Há casos, em que são usados filmes sensíveis a porções invisíveis do espectro.

Costuma-se determinar as fotos aéreas de qualquer tipo de sensores remotos, sejam elas sensíveis a um ou outro comprimento de onda luminosa.

O filme colorido é usado, quando se deseja grafar o espectro visível completo. Alguns filtros servem para realçar melhor determinadas cores e certos comprimentos de onda e são usados para acentuar certos aspectos específicos necessários para determinada interpretação aerofotográfica.

O ângulo da lente da câmara, isto é, o ângulo do vértice do cone de raios que passam através da lente, é indiretamente importante em relação às medidas de deslocamentos radiais e de paralaxe.

A distorção das imagens nas bordas das fotografias, tiradas com lente de grande ângulo (distância focal curta), pode ser maior do que nas fotografias tiradas com lentes de ângulo estreito (distância focal longa), e isto é considerado por muitos como prejudicial à fotointerpretação.

2.4 - Observações e Interpretações das Fotos Aéreas

As fotos aéreas podem ser observadas: uma por vez, agrupadas como mosaico, ou em pares estereoscópicos.

No que concerne à interpretação das fotos, obtém-se uma visão de duas dimensões muito deficientes, quando as fotos são observadas uma por vez ou então agrupadas em mosaico. No entanto quando a observação é feita em pares estereoscópicos (fotos sucessivas com recobrimento tiradas numa mesma linha de vôo) as informações obtidas são de grande valia. São visíveis contatos, linhas de fissuramento, texturas, estruturas, etc., elementos indispensáveis para quem deseja realizar uma interpretação correta.

Deve-se lembrar, que na estereoscopia, há um exagero excessivo do relevo, pelo aumento artificial da dimensão vertical, o que traz vantagens à interpretação. Às vezes, é útil produzir também uma inversão do relevo por pseudoscopia ou reversão na posição das fotos, de modo que as elevações aparecem como depressões e vice-versa.

A interpretação é de fato uma inferência, obtida a partir dos elementos visíveis na foto aérea, isto é, constitui uma interpretação idêntica àquela realizada pelo geólogo nas suas investigações de campo.

Ela envolve normalmente dois estágios. O primeiro - de coleta de dados, medição e identificação de certos aspectos. O segundo envolve processamento mental dedutivo e indutivo em termos geológicos.

As melhores interpretações são feitas por indivíduos de grande experiência de campo em geomorfologia e geologia, com noções de ciências naturais e possuidores de certos conhecimentos especiais próprios da aerofotointerpretação, que serão mencionados oportunamente.

A base primordial da fotogeologia é a identificação das formas fisiográficas, isto é, identificação das formas do relevo.

Outros fatores importantes são as tonalidades, os padrões de vegetação, padrões de solo, distribuição e orientação dos cursos de água, padrões de erosão, etc.

2.4.1 - Padrões de Drenagem Superficial

Podem ser definidos como arranjo detalhado dos caminhos seguidos pela água na superfície do terreno, numa certa área.

O padrão da drenagem fornece informações importantes sobre as características físicas do material (solo ou rocha) sobre o qual caminha.

Por meio da análise do padrão de drenagem pode-se inferir a espessura do solo, o grau de fraturamento da rocha subjacente ou exposta à superfície, etc.

Quando a chuva atinge o solo, uma parte se escoia pela superfície, outra se evapora e uma terceira se infiltra no solo. A parte que escoia pela superfície vai produzir o ravinamento, primeira fase erosiva do solo. A que se infiltra vai produzir o lençol subterrâneo, que algumas vezes influi na morfologia superficial do terreno, como veremos adiante.

2.4.2 - Análise da Drenagem Superficial - Justificativa

O padrão de drenagem superficial se desenvolve em função da relação escoamento superficial e infiltração, que caracteriza determinado solo ou rocha.

O escoamento superficial e a infiltração estão portanto condicionados à própria característica física dos materiais sobre os quais atuam. Outros fatores são: cobertura vegetal, teor de umidade natural do solo, condições especiais determinadas pelo clima que controla o mecanismo de alteração das rochas.

O escoamento é maior nos terrenos constituídos por solos de partículas finas que devido à sua menor permeabilidade, bloqueiam a infiltração da água no sub-solo, obrigando a água a se deslocar por gravidade na superfície do terreno. Nesse caso, a água produz um ravinamento todo especial de alta densidade.

Ao contrário, se a água da chuva atinge o terreno e encontra solo de granulação grossa, como por exemplo areia grossa e cascalho, toda a água irá se infiltrar, não havendo praticamente qualquer escoamento superficial. Consequentemente, a drenagem superficial aparecerá muito mal definida, com padrão totalmente diferente do primeiro.

Portanto, a justificação primária do estudo do padrão de drenagem superficial reside na possibilidade de tal investigação conduzir a inferência sobre a razão de infiltração e escoamento, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais em certa superfície do terreno.

2.4.3 - Outros dados importantes obtidos através da interpretação do padrão de interpretação de drenagem são:

Extensão e localização de materiais com diferenças significativas;

Grau de uniformidade dos materiais;
Localização de fatores de controle;
Profundidade do solo;
Tipo de horizonte litológico subjacente.

Face ao que foi discutido anteriormente, pode-se concluir que, numa determinada região, padrões diferentes de drenagem permitem definir áreas com características físicas diferentes (Fig. 95). Geralmente, após uma primeira análise deste tipo, essas áreas poderão ser mapeadas.

Tal análise indicará ainda qual o grau de uniformidade de de uma região de mesma padronagem, permitindo concluir sobre a uniformidade física do terreno investigado.

A maior ou menor uniformidade poderá indicar aproxima-

madamente as causas de tal padronagem, isto é, qual o elemento - que atua como contrôlo da drenagem e sua localização em área.

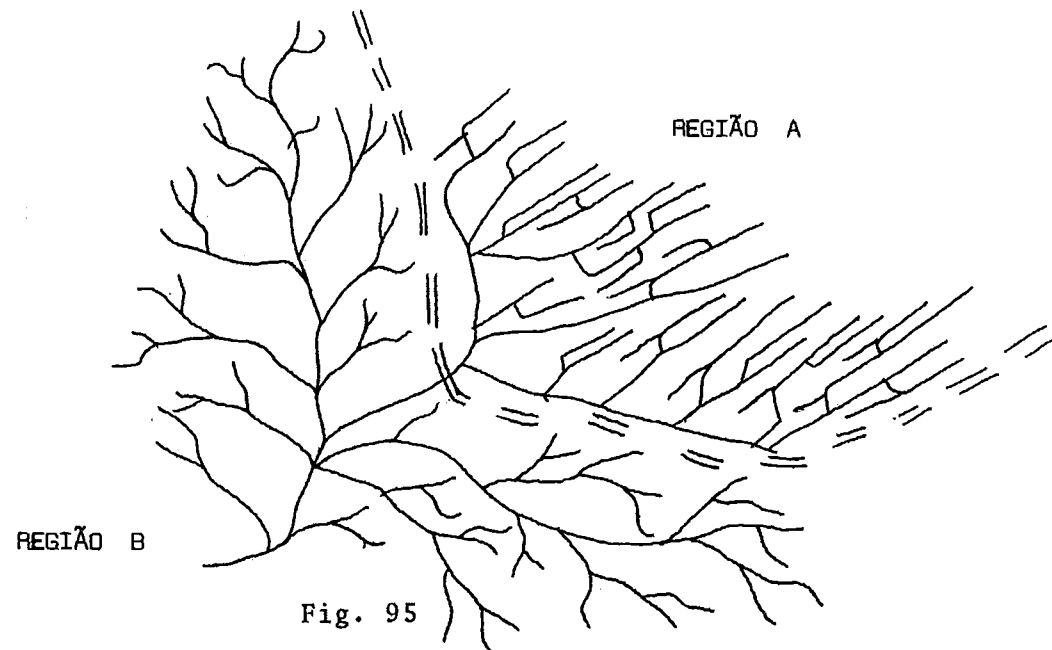


Fig. 95

A profundidade atingida pelo ravinamento do terreno indica aproximadamente qual a espessura do solo. O aparecimento e desaparecimento da padronagem numa certa área fornece subsídios importantes no que diz respeito a profundidade do manto de intemperismo. Geralmente, onde há controle da drenagem, a rocha se encontra perto da superfície.

A forma do padrão da drenagem nos fornece dados relativos ao tipo de litológico que se encontra numa determinada área de investigação. Por exemplo, numa área de rocha homogênea, como a de um granito pouco fraturado, a drenagem será do tipo dendrítico com ramificação unciforme (em gancho), como é representada na Fig. 96.

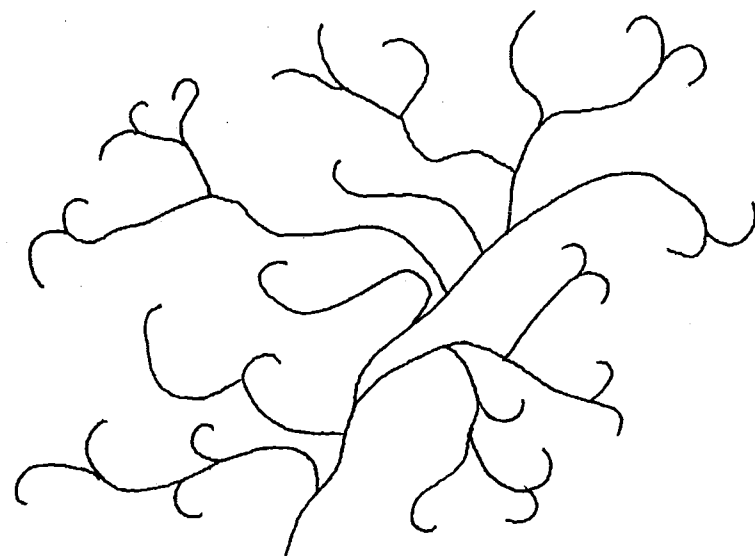


Fig. 96

2.4.4 - Drenagem construtiva e destrutiva

Quando se procede a uma análise de padrão de drenagem de uma determinada área, é importante que se verifique como os rios atuaram na região, isto é, se a drenagem atual e/ou pré-terita apresenta condições erosivas ou condições deposicionais.

Em literatura geológica, costuma-se referir ao primeiro caso como sendo de drenagem destrutiva e ao segundo como - de drenagem construtiva.

A drenagem destrutiva ocorre principalmente nas encostas montanhosas, onde a velocidade das águas é suficientemente grande para carrear partículas.

Como já sabemos, o perfil longitudinal dos rios segue aproximadamente uma função exponencial, havendo uma rápida - diminuição da velocidade das águas, quando passam da encosta para a soleira das elevações. Dessa forma, predominam, à montante, os processos erosivos (parte alta da drenagem) e, processos de - deposição, parte média e baixa.

2.4.5 - Características do padrão de drenagem

Todo padrão de drenagem poderá ser descrito em função de suas características mais importantes, ou seja:

- a. grau de integração
- b. densidade
- c. grau de uniformidade
- d. orientação
- e. grau de controle
- f. ângulo de junção
- g. tipo de drenagem

a. Grau de Integração. Nesta característica se refere ao grau de unidade da padronagem. Quanto mais integrada na região, mais fácil se torna estabelecer limites entre áreas de - padronagem diferentes.

b. Densidade. Densidade pode ser definida como o número de ramificações por unidade de área e nos fornece informações sobre o clima e a litologia.

Quanto mais próximas as ramificações, tanto maior será a densidade. Drenagem densa indica terrenos impermeáveis, com intenso escoamento superficial, o que caracteriza solos e rochas de granulação fina, tais como: argilitos, siltitos, folhelhos e xistos friáveis. Drenagem espaçada, indica terrenos permeáveis de granulação grossa.

Falta de drenagem em uma certa região poderá indicar clima árido ou drenagem subterrânea característica de rochas solúveis como os calcários e dolomitos. Neste caso, a drenagem superficial é substituída por escoamento subterrâneo, com a presença de dolinas (concauidades e aberturas na superfície por onde se escoam a água para o interior do terreno).

c. Grau de Uniformidade. Entende-se por grau de uniformidade a homogeneidade com que se apresenta o padrão de drenagem de uma certa região.

A uniformidade fornece indicações sobre as condições de homogeneidade erosiva, sobre os diferentes fatores geológicos atuantes em certa região e sobre os limites das áreas de diferentes condições geológicas em atividade.

d. Orientação. Diz respeito às direções tomadas pelos cursos de água no seu caminho descendente sobre o terreno. A orientação poderá ser ou não ser caótica. O primeiro caso indica drenagem desenvolvida sobre rochas ou solos homogêneos, sem qualquer controle. No segundo caso, o padrão de drenagem é determinado por fatores geológicos que poderão ser: tectônicos, de posicionais, erosivos, etc.

e. Grau de Controle. O grau de controle normalmente se relaciona com o domínio da orientação sobre a drenagem. Indica geralmente o tipo de material de sub-superfície, isto é, o fator determinante da orientação referida anteriormente.

f. Angularidade. Refere-se às mudanças bruscas de direção dos rios. A mudança brusca pode ocorrer em um rio ou em toda a drenagem de uma região.

Detalhes sobre a angularidade, tais como repetição, tipo de angulosidade na inserção, podem conduzir a detecção de falhas ocultadas, fraturas, zonas cisalhadas, estruturas subterrâneas, etc.

2.4.6 - Tipos de Drenagem

Nos cursos mais elementares de geologia fala-se em classes de padrões de drenagem, referindo-se aos tipos mais gerais de arranjos.

Entretanto, em aerofotogeologia deve-se estudar mais detalhadamente esses tipos de drenagem, a fim de se poder obter melhores resultados para a interpretação.

Certos padrões de drenagem são por isso característicos de determinados tipos de rochas ou de certas condições geológicas.

gicas. Entretanto, para um mesmo resultado, os fatores ou causas iniciais poderão ser diferentes. Por exemplo, uma drenagem dendrítica poderá ocorrer em diferentes tipos de rochas, tais como: folhelho, silte, arenito, xisto diferindo com densidade, integração e controle. Outro exemplo é o do padrão radial, que se desenvolve em domos intrusivos, podendo também ser encontrado em dobras de origem sedimentar ou em bacias de ablação eólica.

Portanto conclue-se não ser possível obterem-se regras gerais de diagnose baseadas exclusivamente no padrão de drenagem.

Somente a prática e a experiência de quem analisa fotos aéreas permitem obter uma interpretação adequada em aerofotogeologia.

Modernamente, certas escolas tem dado ênfase especial à detecção de linhas de mudança de declividade do terreno, que indicam com segurança a posição dos contatos entre diferentes litologias, destacando inclusive áreas estruturalmente perturbadas.

Em aerofotogeologia, linhas de mudança de declive são denominadas contatos fotolitológicos. As linhas delimitam degraus do relevo, separando zonas homólogas em textura, relevo e vegetação e constituem um excelente modo de detectar contatos entre formações geológicas, como referimos anteriormente.

Alguns tipos de drenagem, considerados básicos ou fundamentais, foram descritos por vários autores. O tipo mais comum é o dendrítico, semelhante aos galhos de uma árvore desfolhada. Trata-se dos casos em que o terreno apresenta granulação de média a fina, com caráter uniforme e inclinação moderada. É caso típico de folhelhos, argilas, siltes finos, margas, tufos argilosos e loess. Rochas homogêneas e resistentes a erosão, como os granitos, anfíbolitos e serpentinitos mostrarão o mesmo tipo de drenagem, porém com a textura mais aberta que a do caso anterior. Rochas ou solos arenosos homogêneos apresentam texturas mais espaçadas. Solos finos sílticos ou argilosos mostram espaçamento mais denso, principalmente nas regiões de chuvas torrenciais.

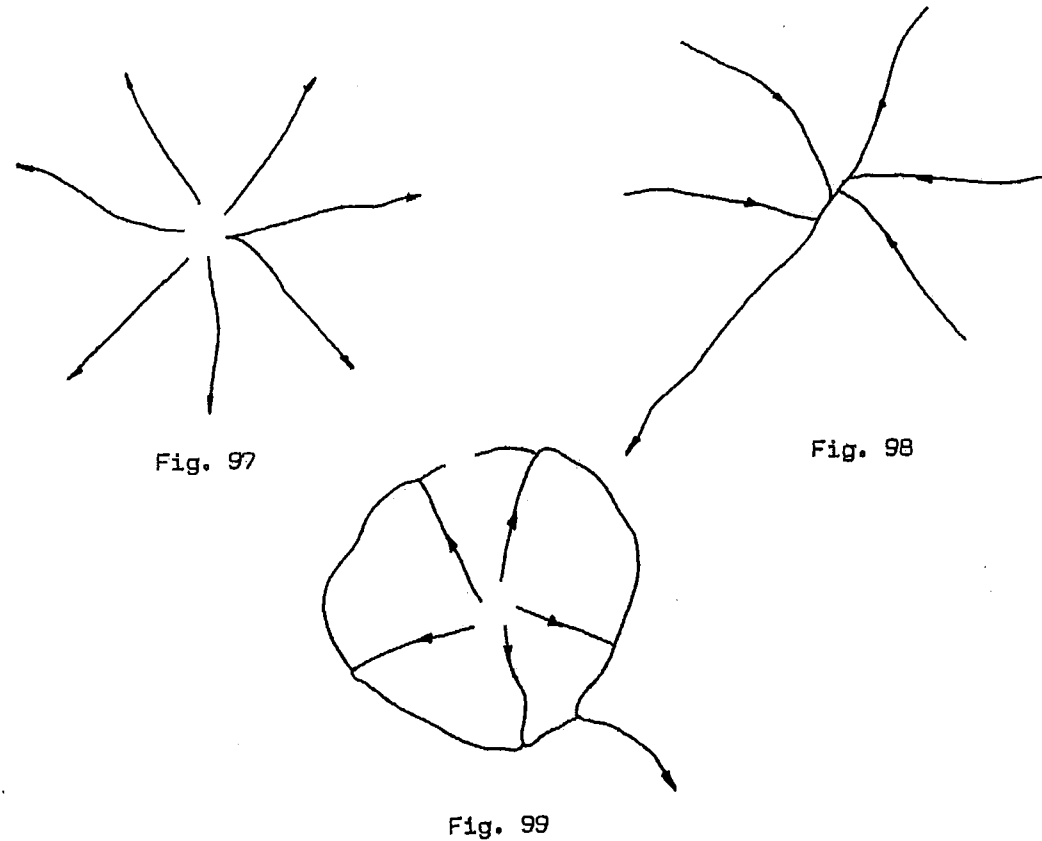
O tipo angular é aquele controlado pelas estruturas. O caso mais típico é o da drenagem treliça que acompanha fraturas e falhamentos, encontrado em rochas duras do tipo dos granitos, gnaisses e mesmo basaltos, em solos de granulação média e fina. Os rios principais apresentam um traçado reto com flexões abruptas em ângulos que dependem da geometria dos fraturamentos,

(Fig. 95, região A). Este tipo de drenagem é comum em rochas maciças granulares, como referido anteriormente.

A drenagem radial, constitui outro tipo básico de padrão de drenagem. Este traçado é similar aos raios de uma roda, Fig. 97. É um arranjo comum de escoamento que parte do topo de um domo ou flexura crustal, seguindo centrifugamento para a periferia.

Em bacias sedimentares, os rios convergem para o interior da bacia, saindo dela por um único ramo de drenagem ou raramente, por vários canais, Fig. 98. Esta drenagem é denominada centrípeta.

Uma consequência da drenagem radial é a drenagem anular que se forma por um escoamento perpendicular ao radial, envolvendo os domos ou bacias sedimentares, Fig. 99.



Outro tipo de padrão de drenagem que ainda deve ser lembrado é o denominado de drenagem interna que ocorre em rochas solúveis, tais como: calcáreo ou gipsita e rochas porosas como os arenitos grossos e conglomerados. O tipo básico dessa drenagem é a do sumidouro ou dolina que aparece na fotografia aérea - como num ponto ou marca circular, Fig. 100. As marcas circulares (dolinas) poderão se localizar em linhas, acompanhando uma fratura, ou ficarem dispersas no terreno (cárstico).

As dolinas mais regulares são encontradas nos calcários maciços, espessos em planaltos aproximadamente horizontais.

Em certas regiões, poderão ocorrer tipos especiais de padrões de drenagem. Exemplo: padronagem dicotômica encontrada nos cones aluviais ou deltas. Essa drenagem é controlada pelo próprio material depositado pelo curso d'água, Fig. 101. Outro tipo de drenagem controlado pela própria deposição é a drenagem areolar ou anastomosada, em que os rios se unem e se separam várias vezes, formando uma rede, Fig. 102.

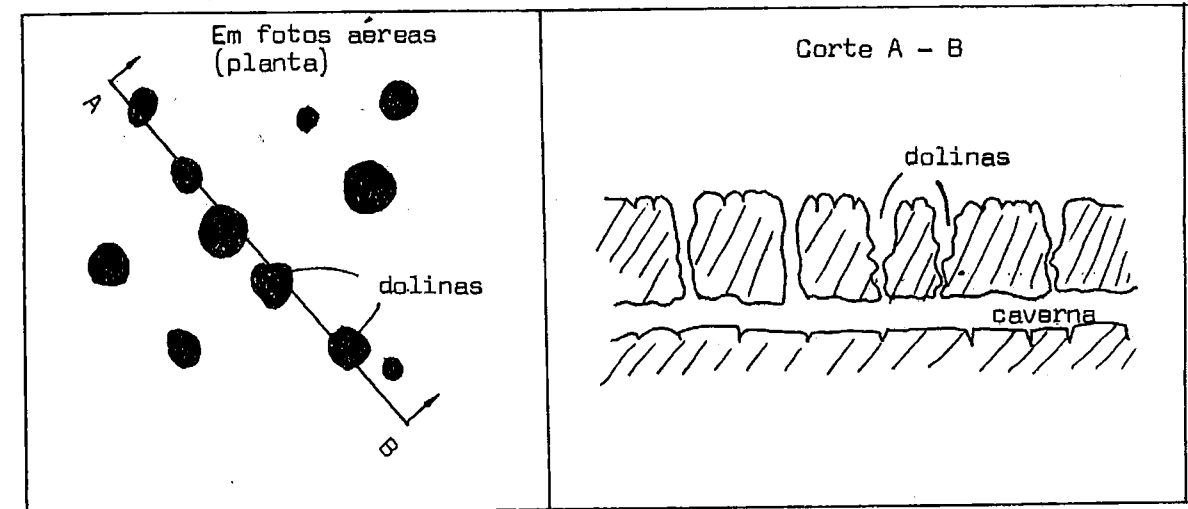


Fig. 100

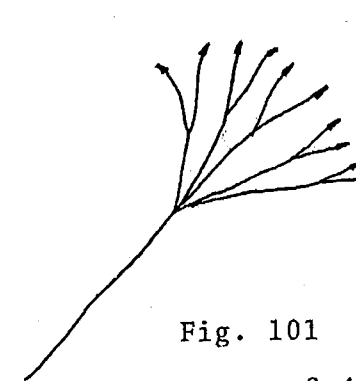


Fig. 101

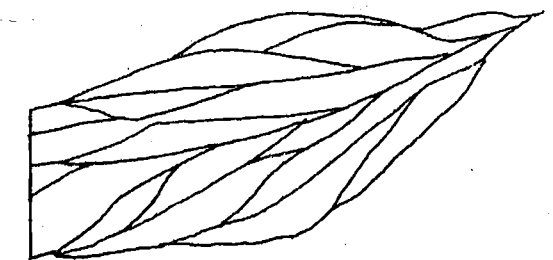


Fig. 102

2.4.7 - Análise da Tonalidade

Em fotos aéreas comuns, as tonalidades variam entre os dois extremos, preto e branco.

As tonalidades são importantíssimas nas interpretações geológicas.

A tonalidade é sempre relativa, porque depende das características técnicas da exposição, luz, reflexão das superfícies, cor da rocha, vegetação e filme usado.

A tonalidade varia de branco puro a preto, incluindo as tonalidades intermediárias de cinza.

A tonalidade depende do grau de reflexão do terreno e pode ser medida eletronicamente.

Considerando-se o branco da areia como fator igual a 100, o solo castanho teria um valor aproximadamente igual a 45,

as pastagens 36, capim verde claro 32, matas 25. Em regra geral, o solo seco é mais claro que o solo úmido. O solo rico em matéria orgânica é mais escuro que o solo isento de tal matéria.

A interpretação da tonalidade, relacionada com as características rochosas, deve sempre ser avaliada em função do controle de campo.

As tonalidades cinza de um só tipo de rocha, poderão variar em função dos seguintes fatores: topografia, sombra e luz, textura suave ou granular, vegetação, conteúdo de matéria orgânica e teor de umidade do solo.

Para uma avaliação perfeita das tonalidades do substrato rochoso e do solo, estas devem ser livres de vegetação. Tais condições são encontradas em regiões áridas. Em clima tropical - úmido, o solo é coberto pela vegetação, não podendo fazer esse estudo.

A tonalidade de um afloramento, depende em parte da composição mineralógica da rocha exposta. A tonalidade deverá sempre ser usada em combinação com outros dados da fotointerpretação para se chegar a um resultado adequado. Certos materiais, entretanto, apresentam sempre tonalidades características, como por exemplo, as areias das praias (sempre claras, com raras exceções).

Os terrenos que se apresentam manchados no que concerne a tonalidade, são relativamente comuns. Isto se dá devido a maior ou menor umidade em certos pontos.

2.4.8 - Análise de Continuidade e Definição de Limites em Fotos Aéreas.

A execução de um mapa aerogeológico está baseada na distribuição e atitude de unidades litológicas.

De modo similar aos mapas geológicos, as unidades nas fotos devem ser identificadas e demarcadas como as formações e grupos geológicos. O fotoanalista, familiar com os levantamentos geológicos, saberá traçar os limites entre as várias unidades, como por exemplo, entre os folhelhos, arenitos, calcários, etc., reconhecíveis nas fotos aéreas. Tais unidades são mais fáceis de se reconhecer na fotografia que no terreno. A construção de um mapa aerogeológico se apoia principalmente neste procedimento.

A análise da drenagem e da tonalidade, bem como a interpretação das formas do terreno, constituem auxiliares de impor-

tância na demarcação dos limites das unidades rochosas. Um dos projetos mais importantes dos procedimentos de mapeamento aerogeológico é a observância da continuidade de uma unidade litológica ou de uma unidade geomórfica. Esse procedimento é denominado "seguir contatos" ou "traçar contatos" entre camadas. Os limites entre uma ou mais unidades, observáveis nas fotos aéreas, poderão ser nítidos, indistintos ou inferidos.

Somente os contatos claros poderão ser mapeados. Os contatos sempre estão associados a concavidades do terreno e a habilidade em segui-las está na dependência da continuidade das depressões fotográficas. As camadas mais resistentes sejam elas - constituídas por rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas, chamam a atenção e normalmente são seguidas facilmente pela fotointerpretação, constituindo um ótimo meio de avaliação de estruturas de uma área.

Um arenito espesso com tonalidade constante, resistência uniforme, constituindo uma escarpa, cuesta ou platô, poderá ser seguido com facilidade. O mesmo se dá com relação a diferentes tipos de padrões de drenagem. Delimitar massas intrusivas resistentes, como domos graníticos, ou depósitos granulares como terraços, ou planos de inundação oferecem poucas dificuldades. Formas de relevo, tais como vulcões, dunas, aluviões, tão importantes para a engenharia constituem elementos facilmente reconhecíveis nas fotos aéreas.

A tonalidade é fator importante para a delimitação de contatos. Os limites de formações de baixa resistência são difíceis de serem mapeados devendo-se contar com a tonalidade e padrão de drenagem para tornar possível essa tarefa.

Para o engenheiro, é importante demarcar a linha de separação entre as áreas deposicionais e as áreas em que predominam condições de erosão.

Em certos casos é vantajoso delimitar as áreas onde poderão ocorrer os afloramentos, isto é, regiões que deverão ser percorridas no terreno pelo geólogo ou engenheiro, principalmente em áreas como as nossas, de clima tropical úmido, onde há escassez de boas exposições rochosas e o solo se apresenta com grandes espessuras.

O papel da vegetação também é de grande importância na demarcação dos limites das formações geológicas. Em regiões áridas a vegetação se distribui conforme o tipo de litologia em função da maior ou menos concentração de água no solo ou no pró-

prio maciço rochoso. Mesmo em clima úmido poderá se distinguir - entre certas formações geológicas por meio de vegetação.

O mapeamento aerogeológico se baseia frequentemente - em horizontes gerais que deverão se caracterizar pela uniformidade de decomposição, extensão, tipo de rocha e resistência à erosão.

Escarpas geralmente ocorrem quando unidades de diferentes resistências estão envolvidas. Em formações moles um truncamento de camadas poderá ter pouca expressão morfológica nos terrenos acidentados, sendo mais comumente representado por uma mudança de topografia ou padrão de drenagem.

Um falhamento é geralmente representado por uma linha aproximadamente reta.

2.4.9 - Análise e Intepretação

É de fundamental importância para o interpretador a identificação dos tipos rochosos em fotos aéreas.

Tanto o geólogo como o engenheiro e pedólogo, devem - estar familiarizados com os vários tipos rochosos que se possam identificar nas fotos aéreas.

Deve-se esclarecer entretanto, que só certos tipos litológicos poderão ser identificados nas fotos aéreas, isto é, somente os tipos principais de rochas tais como: arenitos, folhelhos, argilitos, calcários e certos tipos de rochas ígneas e metamórficas.

A seguir, resumimos as principais características apresentadas pelos tipos mais comuns de rocha.

A. Rochas Sedimentares

a) Arenitos

- pequena densidade de drenagem, tendendo para angular ou retangular
- normalmente se destacam na topografia
- pouca vegetação
- tonalidade clara, dependendo da umidade
- homogêneos, com estratificação pouco clara
- fraturas bem visíveis, espaçadas e regulares

b) Argilitos e folhelhos

- grande densidade de drenagem
- muito erodidas
- ravinamento típico
- muita vegetação em áreas úmidas

- tonalidade mais escura
- estratificação não perceptível por ser geralmente muito fina
- difícil ver juntas

c) Cascalheiras

- alta permeabilidade, portanto fraquíssima densidade de drenagem
- textura grossa, relativamente às areias
- não se observa juntas

d) Calcários

- em calcários maciços, apresenta vales abruptos, de fundo plano e com poucos afluentes
- drenagem subterrânea, dolinas, cavernas
- em climas áridos, destacam-se na topografia
- tonalidade cinzenta clara, com manchas referentes às depressões

B. Rochas Ígneas

- vulcânicas escuras apresentam tonalidade escura e, claras também tonalidade clara; além disso podem se associar a cones vulcânicos de fácil distinção.
- intermediárias, como diabásio, apresentam feições típicas como os diques que se reconhecem por serem salientes na topografia, cortando outras estruturas; quando decompostos, aparecem como trincheiras; pela coloração mais escura em comparação com as rochas encaixantes; vegetação mais intensa na faixa do dique.
- plutônicas - geralmente homogêneas e maciças
 - tonalidade mais ou menos uniforme e claras
 - baixa porosidade
 - resistência ao intemperismo
 - menos vegetação
 - matacões, por causa das juntas e do intemperismo
 - padrão geral de drenagem é radial

C. Rochas Metamórficas

Depende do metamorfismo e da rocha original. Os xistos por exemplo, apresentam:

- cristas alongadas
- xistosidade visível
- garganta muito próximas
- drenagem orientada

2.5 - Aplicação da Aerofoto à Engenharia Civil

As fotografias aéreas são utilizadas na resolução dos mais variados problemas de Geologia Aplicada à Engenharia. Na locação -

tos mais convenientes, onde os rios são menos largos, correndo em gargantas. Para a localização de túneis, represas, casas de máquinas, tubulações, etc., as características geológicas do terreno devem ser cuidadosamente estudadas para evitar sua implantação sobre rochas alteradas e fraturadas. Fraturas e falhas que produzem en-

das para que possam ser evitadas nas fundações e/ou tratadas adequadamente.

saicos revelam a presença de obstáculos naturais, podendo-se escolher, então, entre as diversas alternativas, a mais conveniente sob o ponto de vista de gradiente, distância, importância econômica da região percorrida, lugares mais propícios para atravessar cursos de água, etc., os problemas para a construção de ferrovias são semelhantes, apenas com limitações mais rigorosas em relação aos gradientes e curvas. Em ambos os casos é muito importante conhecer a direção das estruturas geológicas para evitar instabilidade de taludes, etc. Se o traçado de uma estrada for perpendicular ao rumo do mergulho de rochas xistosas, ocorrem frequentes escorregamentos que podem destruir grandes trechos dela. A presença de antigos escorregamentos verificáveis em fotos aéreas sugere a possibilidade de repetição do fenômeno devendo ser criteriosamente considerada.

O plano de voo deve ser traçado com base em mapa, quando existentes.

Os mapas topográficos mais comuns estão nas escalas de 1:25000 a 1:250000. Deve-se considerar alguns fatores, quando se define a linha básica entre o início e o fim da estrada:

- pontos de passagem obrigatória;
- serras e acidentes naturais a serem evitados;
- centros urbanos importantes na região;
- riquezas naturais.

Planeja-se a largura da faixa a ser coberta pelo voo, sendo mais larga para o anteprojeto (voo mais alto, escala menor, sendo mais usadas 1:25000, 1:40000 e 1:60000) e mais estreita para o projeto (voo mais baixo, escala maior, de 1:4000 a 1:8000).

A fotogeologia se desenvolve tanto na fase de anteprojeto, quanto na de projeto, necessitando sempre de uma confirmação de campo. Além disso, permite uma grande economia de tempo e trabalho.

Através dela obtêm-se não só dados sobre as formações geológicas regionais, mas também mapas de solos e de rochas, com finalidades de caracterização geotécnica. Assim, tais mapas devem conter informações, como:

granulometria média
índices físicos

- falhas
- estratificação
- xistosidade
- dobramentos

Escalas mais úteis:

para anteprojeto - 1:20000 a 1:30000

para projeto - 1:12000 ou maiores, para casos em que há características de difícil distinção.

Na maioria das vezes, é suficiente a escala 1:20000, pois permite observação de estruturas e afloramentos em torno de 100m.

Sequência de observações:

- a. Fotointerpretação preliminar rápida, quando se obtém:
 - rochas prováveis (ígneas, sedimentares, metamórficas)
 - espessura do solo
 - afloramentos
 - lineamentos
- b. Montagem de mosaico para uma visão global e planejamento do trabalho de campo.
- c. Trabalho de campo, utilizando mosaico, fotos e mapas.
- d. Trabalho de laboratório, com estereoscopia, para completar as observações de campo.
 - lançar dados geológicos;
 - lançar resultados de laboratório;

- localizar áreas possíveis de fornecerem material de empréstimo;
- localizar pedreiras;
- localizar zonas de possíveis problemas geotécnicos;
- nível d'água;
- erodibilidade;
- estabilidade de taludes;
- escavações, etc.

e. Na fase do projeto:

- detalhamento;
- amostragem;
- pesquisa de sub-superfície.

3. Métodos Geofísicos Empregados em Engenharia Civil

3.1 - Introdução

Quando se executa um levantamento geológico em áreas onde aparecem afloramentos de maneira que a sequência estratigráfica e as estruturas possam ser razoavelmente determinadas, torna-se necessário uma exploração de sub-superfície.

Entretanto, em regiões com poucos afloramentos, geralmente de relevo suave, as informações da sub-superfície só poderão ser obtidas através de perfurações ou por métodos geofísicos.

Nos trabalhos de Engenharia Civil, normalmente são usadas a sondagem direta e a exploração geofísica, pois, se requer conhecimentos detalhados das condições locais e esses dois processos empregados conjuntamente possibilitam a obtenção de excelentes resultados.

A exploração geofísica corresponde a medidas de certas propriedades físicas apresentadas pelo meio físico subjacente, realizadas na superfície.

Deve-se lembrar que os dados obtidos desse tipo de exploração só terão valor para engenharia, depois de traduzidos em termos geológicos, pois, para o engenheiro, interessa somente os dados geológicos.

São quatro os principais métodos de exploração geofísica; gravimétrico, magnético, sísmico e elétrico, sendo que o sísmico e o elétrico são os que mais se aplicam.

3.2 - Método Sísmico

3.2.1 - Introdução

Provocando-se um campo artificial na terra, por meio da detonação controlada de explosivos, resultam ondas elásticas que poderão ser detectadas na superfície, da mesma forma como são detectadas

dos os terremotos.

Os fatores que influem na propagação dessas ondas são os seguintes:

- a) quantidade de explosivo
- b) aplicação do explosivo adequado ao problema
- c) locação do ponto inicial
- d) locação do ponto de tiro
- e) locação dos pontos de observação

As ondas elásticas são refletidas e refratadas a partir de superfícies de contacto (interfaces) entre camadas de materiais de propriedades elásticas diferentes; tais superfícies são descontinuidades físicas do meio por onde se propagam as ondas elásticas.

A profundidade pode ser determinada quando se conhece o tempo necessário, para que uma frente de onda possa atingir a interface e retornar ao aparelho de observação.

Existem aparelhos e métodos de trabalho adequados para registrar ondas refratadas ou refletidas.

Dois são os métodos geofísicos: o de reflexão e o de refração. O método de reflexão é de grande penetração, sendo largamente empregado na pesquisa do Petróleo; é utilizado em profundidades superiores a 200m.

O método de refração é aplicado para estudos de baixa profundidade, sendo mais barato, requerendo pouco equipamento, razão porque é muito utilizado em trabalhos de Engenharia Civil.

Com esse método, determina-se a profundidade do embasamento rochoso, nos projetos de barragens e túneis; a profundidade de solo em projetos de ferrovias, rodovias e metrô; pesquisa em materiais de construção como exemplo cascalho.

3.2.2 - Fatores que afetam a velocidade de ondas elásticas nas rochas

a) Rochas Ígneas

Quanto maior a porcentagem de sílica, menor a velocidade; quanto maior a profundidade maior a velocidade; rochas intrusivas, maior velocidade que as extrusivas que poderão apresentar poros e líquidos.

b) Rochas Sedimentares

Sedimentos mais cimentados, maior velocidade; quanto maior a porosidade e a decomposição, menor a velocidade (assim camadas próximas à superfície geralmente mais alteradas são de baixa ve

locidade); quanto maior a presença de água em rochas inconsolidadas maior a velocidade.

c) Rochas Metamórficas

São as que apresentam maior velocidade, sendo que é maior na direção da textura.

3.2.3 - Instrumentos de Medidas

O que interessa medir é o tempo gasto para os impulsos elásticos chegarem do ponto de tiro aos pontos de observação.

Os equipamentos usados são: detectores, amplificadores e registradores que constituem o sismógrafo.

- a) Detectores: são enterrados parcialmente no terreno, recebem o impulso elástico e os transformam em impulsos elétricos, enviando aos amplificadores.
- b) Amplificadores: como os impulsos são de pequena grandeza, necessitam ser amplificados e selecionados por filtragem eletrônica. Tais sinais são enviados para os galvanômetros munidos de espelhos, os quais refletem luz.
- c) Registradores: os feixes de luz enviados pelos espelhos, são registrados num sistema de papel fotográfico, resultando os sismogramas.

São nesses sismogramas, que se determina o tempo e os detalhes das características das oscilações. Os equipamentos mais modernos, usam um sistema de registro em fita magnética.

3.2.4 - Resultados

Deve-se conhecer aproximadamente o valor da velocidade de propagação das ondas na rocha em que se está fazendo o levantamento. Existem tabelas com tais valores. Todavia, muitas vezes é necessário a determinação no local, existindo processos especiais para isso.

Os dados obtidos, são lançados em gráficos de tempo e distância, (DT), resultando gráficos de velocidade.

No método de sísmica de refração, interessa-nos o tempo (t) de percurso entre o momento da explosão PT (ponto de tiro) ao primeiro evento indicado em cada um dos detectores. Nesse método, o importante são as ondas que incidem em ângulo crítico na interface, caminhando ao longo do contato que se refratam (Fig. 103).

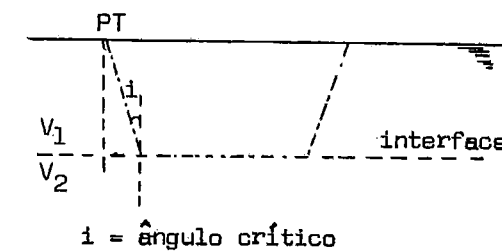


Fig. 103

3.3 - Métodos Elétricos

3.3.1 - Introdução

Dentre os inúmeros métodos elétricos que existem na pesquisa de sub-superfície, como: correntes telúricas, potencial espontâneo e resistividade, somente este último nos interessa, porque é o único que pode fornecer dados para a Engenharia Civil.

3.3.2 - Resistividade Elétrica

O método elétrico de resistividade, baseia-se na distribuição das linhas de corrente e de potencial na sub-superfície, em torno de eletrodos enterrados e, as deformações sofridas por elas, devido a corpos de diferentes condutividade. (Fig. 104).

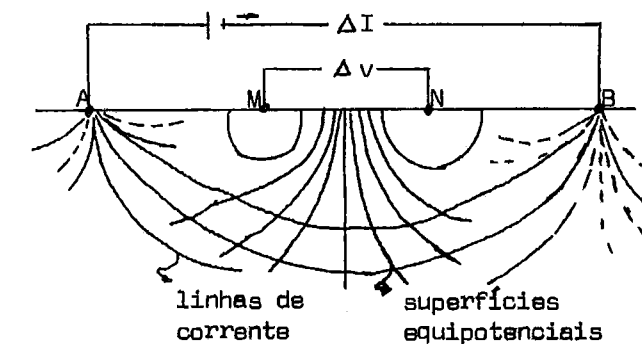


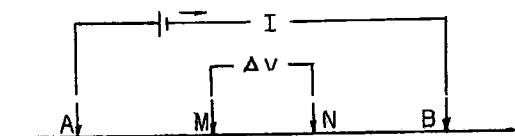
Fig. 104

A resistividade (ρ) é a resistência ôhmica que um condutor cúbico de aresta unitária oferece à passagem da corrente, segundo à normal e uma das suas faces.

$$\Delta V = \frac{I \rho L}{S} \quad \rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{S}{L} \quad \rho = R \cdot \frac{S}{L}$$

Quando se aplica corrente em dois eletrodos, é afetado o espaçamento entre as linhas equipotenciais, sendo que o valor da corrente depende da resistividade do meio.

Na prática, o que se faz é introduzir uma corrente, - por meio de bateria ou gerador, em dois eletrodos externos A e B. O que se mede é o ΔV entre dois eletrodos de potencial M e N colocados em linha entre os eletrodos A e B (Fig. 105).



A,B - eletrodos de corrente
M,N - eletrodos de potencial
Fig. 105

Conhecendo-se I, ΔV e o arranjo dos eletrodos M e N, pode-se calcular os valores de resistividade aparente, segundo a fórmula:

$$\rho_a = 2 \pi K \frac{\Delta V}{I}$$

Como geralmente o meio subjacente não é homogêneo, os valores de resistividade que obtemos, são valores de resistividade aparente.

3.3.3 - Profundidade de Observação

Ela varia com o espaçamento dos eletrodos, sendo que há dois processos de trabalho de campo:

- sondagem elétrica, em que se faz um aumento gradativo do espaçamento entre os eletrodos, mantendo-se fixo o centro do arranjo.
- caminhamento elétrico, em que se mantém constante um certo arranjo, o qual é deslocado ao longo de um perfil.

3.3.4 - Arranjo dos Eletrodos

Usa-se frequentemente, dois arranjos de eletrodos, para os quais já se acham desenvolvidos cálculos e âbacos, o que simplifica a interpretação geológica dos dados obtidos. São conhecidos como arranjos de Wenner e Schlumberger (Fig. 106 a e b).

A. M. N. B.

- a) WENNER - $\overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB} = a$

A. M. N. B.

- b) SCHLUMBERGER - $\overline{OM} = \overline{ON}$
 $\overline{OA} = \overline{OB} = \frac{\overline{AB}}{2}$

Fig. 106

3.3.5 - Resultados

a) Quando se trabalha com o processo de sondagem elétrica, são lançados os dados de resistividade aparente (ρ_a) na ordenada e o espaçamento ($l = AB/2$) dos eletrodos de corrente nas abscissas, em papel bilogarítmico, resultando um perfil de resistividade. Tal perfil diz respeito ao meio físico subjacente ao centro do arranjo dos eletrodos (Fig. 107).

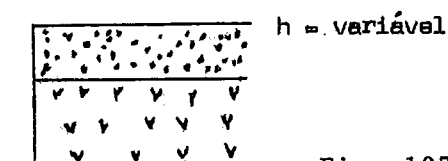
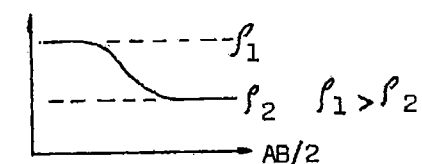


Fig. 107

b) Quando trabalhamos com o caminhamento elétrico, temos um perfil de profundidade $h = \text{constante}$; na ordenada, valores de ρ_a e na abscissa a distância do arranjo em relação à origem do perfil, lançados em papel com escalas naturais (Fig. 108).

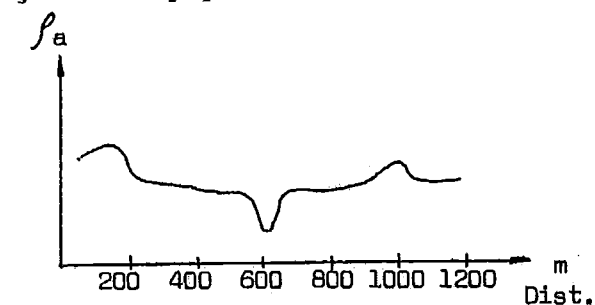


Fig. 108

$h = \text{cte.}$

Além dos perfis, outra forma de representar os resultados, é lançá-los em mapas com curvas de igual resistividade, o que

permite uma interpretação apenas qualitativa.

Os perfís de resistividade de sondagem elétrica, são utilizados para cálculos de profundidade de camadas de embasamento rochoso, de lençol freático, etc., fazendo uso de ábacos,

O caminhamento elétrico é de especial importância na determinação da profundidade do manto de intemperismo, principalmente em projetos de estradas.

4. Métodos Diretos de Investigações

O objetivo das investigações exploratórias para fundações é assegurar informações precisas sobre as condições geotécnicas no local das construções. A profundidade, espessura, área de ocorrência e composição de cada camada; profundidade de rocha e localização da água subterrânea, e em seguida a resistência e a compressibilidade são requeridas para se avaliar a segurança e os recalques das estruturas.

Um cuidadoso planejamento do programa de sondagens e amostragem se constitui na melhor maneira de obter informações específicas na obra, base de toda investigação exploratória. Muitos métodos diferentes foram desenvolvidos para a realização deste trabalho. Entretanto a exploração é muitas vezes mal planejada, mal executada, mal relatada e mal interpretada, conduzindo a resultados completamente falhos e irreais. As investigações mencionadas requerem planejamento, execução e interpretação cuidadosas necessitando de pessoal especializado e experiente em geologia de engenharia, mecânica das rochas e mecânica dos solos para uma correta análise e interpretação de resultados exploratórios.

4.1 - Espaçamento de Sondagens

Não é possível pré-determinar o espaçamento de sondagens antes do início das investigações de um determinado local, porque o espaçamento depende de vários fatores, tais como: da estrutura a ser construída, bem como, das irregularidades do maciço ou solo que se encontra nas fundações. O espaçamento é planejado preliminarmente e subseqüentemente diminuído ou ampliado conforme o maciço se mostra correspondentemente irregular ou correspondentemente homogêneo. As mesmas considerações poderão ser feitas relativamente às profundidades de sondagem. Entretanto em caráter geral poder-se-á empregar uma tabela que forneça dados de espaçamento médio para as obras mais comuns de engenharia civil (Tabela 18).

Obra	Espaçamento em m
Rodovia	300 - 600
Barragens de Terra	30 - 60
Áreas de Empréstimo	30 - 120
Edifícios Elevados	13 - 30
Edifícios Térreos	30 - 90
Observação	*

Tabela 18

Observação *: Para terrenos uniformes estes valores deverão ser dobrados. Para terrenos irregulares e anisótropos os valores deverão ser reduzidos à metade.

4.2 - Profundidades

Para se obter informações adequadas relativas a escorregamentos e recalques as sondagens deverão atingir profundidades tais que alcancem horizontes envolvidos em tais ocorrências. No caso de estruturas muito pesadas como grandes barragens, pontes, grandes edifícios, as sondagens pelo menos deverão penetrar na rocha. Para estruturas menores as profundidades deverão alcançar horizontes de resistência adequada previstas por levantamentos geológicos e dados obtidos de investigações realizadas anteriormente na área ou em áreas vizinhas.

4.3 - Amostragem de Sub-Superfície

Geralmente as rochas estão cobertas por um manto de intemperismo (regolito) que varia em espessura em função do clima da região, favorável ou não à ação do intemperismo acentuado. Principalmente no sul do país, o clima sendo quente e úmido, facilita os processos intempéricos resultando solos que atingem espessuras consideráveis.

Como a maioria das obras de engenharia são feitas na superfície é necessário que se conheça o comportamento geotécnico do solo próximo da superfície.

Quando as rochas não afloram, ou se deseja analisar as suas propriedades e características em profundidade, lança-se mão dos métodos geofísicos (já referidos) ou de sondagens mecânicas, poços de pesquisa, trincheiras e galerias.

- a) Sondagens mecânicas - os tipos mais usados são as sondagens a trado, percussão e rotativa.

Nas sondagens a trado, obtêm-se somente informações do tipo de material atravessado, existindo ainda o problema de contaminação pelo material mais próximo da superfície. Esse critério de investigação é muito utilizado na delimitação do topo da zona compactada do terreno.

Nas sondagens a percussão a penetração se faz com o impacto de um peso na coluna de hastes, podendo se recuperar fragmentos de rocha. Em engenharia é o tipo mais usado pelo fato de que as obras normalmente são feitas na superfície e a penetração das hastes se faz com relativa facilidade; acrescete-se a isso o fato de serem as menos onerosas. Através desses tipos de sondagens podem ser definidas características litológicas e de compactação.

As sondagens rotativas são mais sofisticadas, exigindo equipamento mais potente e conseqüentemente são as mais onerosas. Através dessa técnica obtêm-se testemunhos de sondagem que constituem amostragem ideal de sub-superfície, pois permitem obter dados texturais e estruturais completos sempre possíveis de correlação com suas profundidades exatas.

b) Poços - Trincheiras - Galerias - através dessa técnica, podemos observar o comportamento espacial das camadas no terreno, e também retirar blocos indeformados para caracterização geotécnica em laboratório. Esse tipo de prospecção é limitado pelo nível freático.

A descrição detalhada dos tipos de sondagem se encontra na apostila da disciplina optativa de Sedimentologia, ministrada nesse Departamento.

XIV - ÁGUA SUBTERRÂNEA

1. Generalidades

Água subterrânea se origina principalmente da infiltração de água meteórica. Contém geralmente sais dissolvidos e certa proporção de gases.

A uma certa profundidade do solo ocorre uma zona de saturação em que a água preenche praticamente todos os poros. Essa zona é denominada lençol subterrâneo ou lençol de água.

Poderão ocorrer vários lençóis numa mesma região. Aqueles situados acima do lençol inferior são denominados de lençóis - suspensos.

Geralmente o lençol subterrâneo é livre e se escoar por gravidade para pontos mais baixos da topografia. Uma parte da água

é retida por absorção às partículas do solo por forças maiores que a da gravidade.

No escoamento gravitacional partículas de solo consideradas isoladamente, são cobertas com filmes finos de água presos por forças moleculares.

Nos solos finos, mesmo arenosos, os filmes são tão próximos que interferem entre si, nem sempre deixando espaço para a percolação de água gravitativa entre as partículas. Poderá pois haver praticamente uma interrupção de escoamento em solos argilosos ou siltosos encharcados, tornando-os impermeáveis.

Água entre a superfície do terreno e o lençol de água chama-se água vadosa.

Aquífero é denominada toda a camada que é capaz de fornecer água.

O solo localizado acima do lençol de água possui uma certa capacidade de sucção que pode produzir movimento capilar da água do lençol freático para cima.

Pode haver completa saturação do solo por água capilar, quando o lençol é superficial. Essa é a forma em que se originam os alagadiços, pântanos, etc.

2. Lençol de Água

O lençol de água geralmente acompanha a topografia ou a superfície do terreno estando continuamente em movimento com exceção de certos locais, como por exemplo num lençol suspenso, Fig. 109.

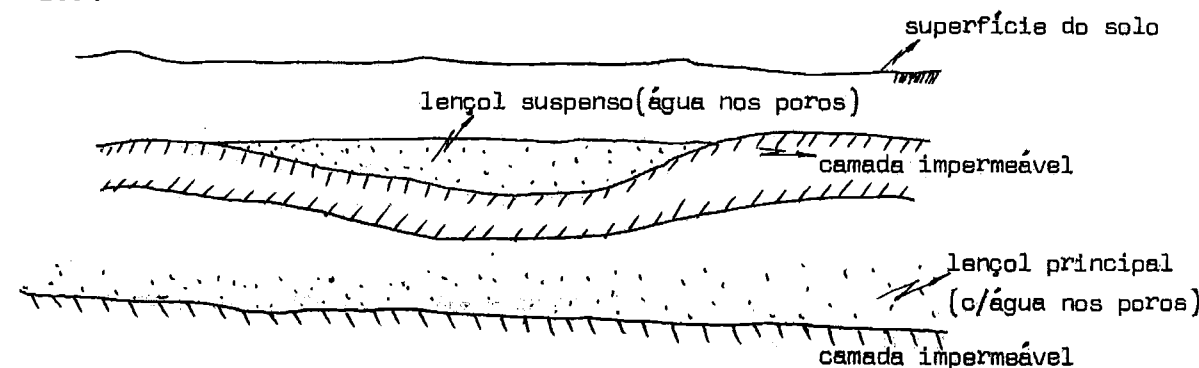
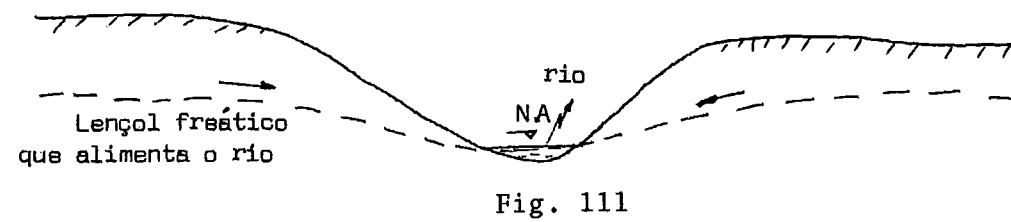
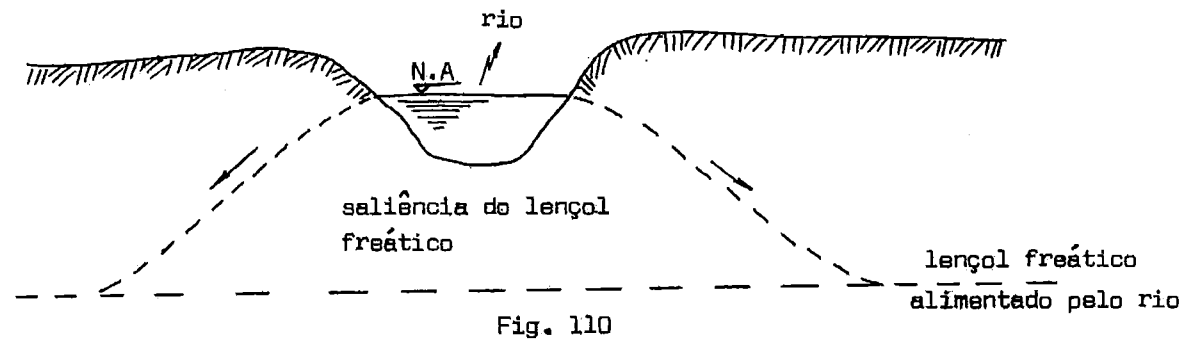


Fig. 109

O lençol de água é também denominado lençol freático (móvel).

3. Depressões e Elevações do Lençol Freático

Quando a água flui de um rio para baixo para alcançar o lençol freático (na época da seca) o lençol nesse ponto, forma uma saliência (Fig. 110). O lençol nesse caso é alimentado pelo rio. Caso contrário, como o da Fig. 111, o lençol alimenta o rio.



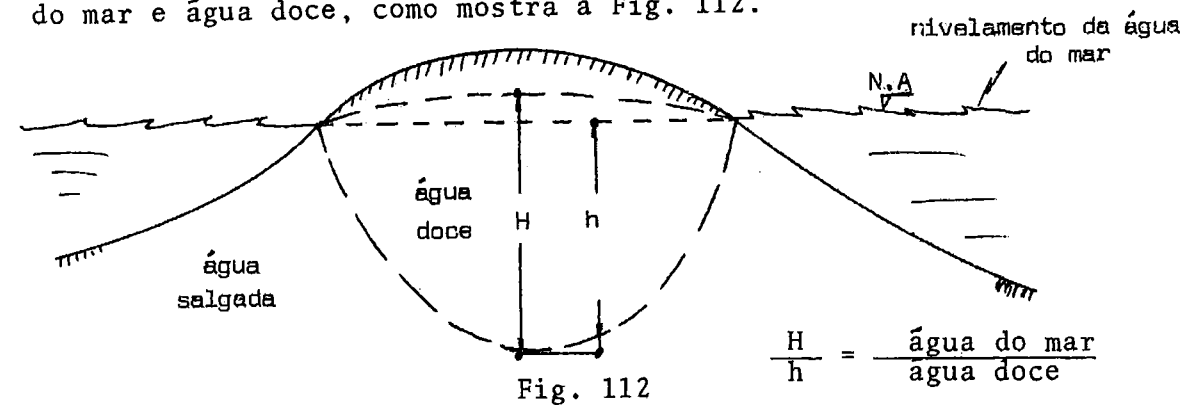
Atualmente há flutuações no lençol freático que dependem das precipitações e descarga dos rios.

Com aumento de precipitações meteorológicas, sobe o nível do lençol freático e ao contrário, na época da seca, o lençol freático sofre um rebaixamento.

Na proximidade do oceano a água doce do continente é

sa) geralmente se sobrepõe à água salgada flutuando sobre a mesma. A profundidade d'água salgada em qualquer ponto é função do reabastecimento por precipitação de chuva, da dimensão do terreno considerado e da permeabilidade.

A razão entre a profundidade do contato da água doce com a água do mar e do nível de água doce acima do nível médio do mar está em proporção direta com a razão entre a densidade da água do mar e água doce, como mostra a Fig. 112.



4. A Água Subterrânea na Engenharia Civil

4.1 - Introdução

Para a engenharia civil, a água subterrânea constitui de modo geral um fator deletério, principalmente em relação a estabilidade de taludes, infiltrações sob os maciços de barragens e mais especificamente, tais casos envolvem escorregamentos de taludes e sub-pressões elevadas nas bases dos maciços de terra.

As medidas necessárias para evitar ou diminuir tais males são citadas mais adiante.

A primeira tarefa do engenheiro no estudo da água subterrânea reside na execução de um levantamento do lençol subterrâneo localizando as curvas de nível do mesmo.

As determinações das elevações do lençol subterrâneo são feitas nos poços, nos furos de sondagem e através de leituras piezométricas.

Esses dados e leituras deverão ser obtidos periodicamente tanto em níveis elevados (época das chuvas) como na época em que o lençol se encontra rebaixado (época de seca). Os poços, furos de sondagem e piezômetros devem estar em perfeitas condições - para fornecer os dados de modo adequado e que sejam "acessíveis" - para coleta sistemática dos dados necessários às investigações.

Métodos de geofísica também são usados para investigações de água subterrânea.

Uma das primeiras tarefas a ser realizada é portanto, obter as curvas de nível do lençol subterrâneo e as direções de seu fluxo.

Tanto a água superficial como a água subterrânea fluem de modo aproximadamente normal às curvas de nível topográficas e também de modo aproximadamente normal às curvas de nível do lençol subterrâneo.

4.2 - Gradiente Hidráulico

O termo gradiente se refere à inclinação do lençol freático.

Dois pontos A e B afastados horizontalmente de uma distância l e uma altura h , terão como média de gradiente hidráulico o valor $i = h/l$. A velocidade laminar da água em escoamento laminar é dada pela fórmula de Darcy $v = ki$ sendo k o coeficiente de permeabilidade.

bilidade aparente. A velocidade é portanto proporcional ao gradiente hidráulico.

4.3 - Testes de Bombeamento

Testes de bombeamento são realizados principalmente - em certos projetos para a determinação do coeficiente de permeabilidade geral do solo ou da rocha, servindo também para determinar sua capacidade de recarga.

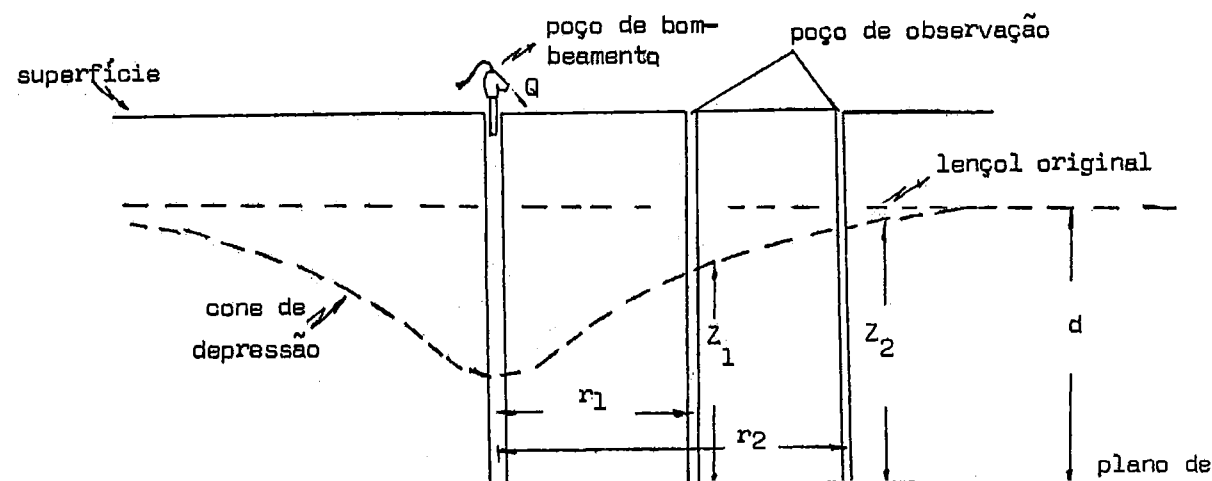


Fig. 113

Como exemplo, na Fig. 113 está representado um aquífero confinado em que se realiza o ensaio de bombeamento com dois poços de observação.

Quando a água é bombeada forma-se um cone de depressão em torno do poço de bombeamento, cujo comportamento poderá ser acompanhado nos poços de observação.

Conhecendo-se o volume de água bombeado do poço = Q

mento até os dois poços de observação (r_1 e r_2), bem como as alturas do cone de depressão (z_1 e z_2). Nos dois poços de observação pode-se obter o valor de k pela fórmula:

$$k = \frac{Q}{(z_1^2 - z_2^2)} (2.3 \log_{10} \frac{r_2}{r_1})$$

Correções devem ser introduzidas em referência a inclinação do terreno e viscosidade da água a diferentes temperaturas.

O coeficiente de permeabilidade poderá ser estimado - de modo rápido no campo abaixo do nível d'água (Fig. 114). É intro-

duzido um tubo no solo (até um ponto abaixo do nível d'água) e cheio d'água até um certo nível. Deve-se obter a diferença do nível h no interior do tubo e fora dele. Medindo-se o rebaixamento da água dentro do tubo Δh , num intervalo de tempo Δt , obtém-se k pela fórmula:

$$k = \frac{r}{h} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \times 1,76 \times 10^{-4}$$

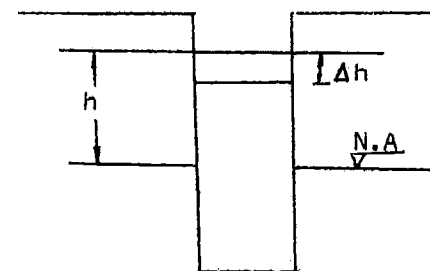


Fig. 114

O resultado geralmente é dado em cm/seg.

Para que os resultados tenham boa aproximação, é ne-

deveria ser da ordem de um minuto).

Os ensaios de permeabilidade no campo devem ser preferidos aos realizados em laboratório, pois estes nem sempre constituem amostras representativas que levam em conta o fissuramento do

Dessa forma, apesar de aproximados os métodos de campo, definem melhor as características de permeabilidade gerais do maciço, o que não se consegue no laboratório usando-se meios mais precisos.

Fontes são surgências de água à superfície do terreno. Ocorrem nos locais em que o lençol freático intercepta a topografia. Aparecem numa encosta montanhosa ou no fundo de um vale. Geologicamente as fontes aparecem geralmente nos locais onde camadas permeáveis como conglomerados, arenitos se apoiam sobre camadas impermeáveis. Fig. 115 a e b.

Fontes quentes estão associadas a áreas vulcânicas ou resultam da percolação de águas meteóricas a grandes profundidades.

Geisers são fontes quentes em que há ejeção de água - em certos intervalos de tempo.

6. Poço

É uma escavação praticamente vertical, com a finalidade de se obter fluidos, principalmente a água. Poços podem ser abertos de várias formas, em geral são escavados ou perfurados.

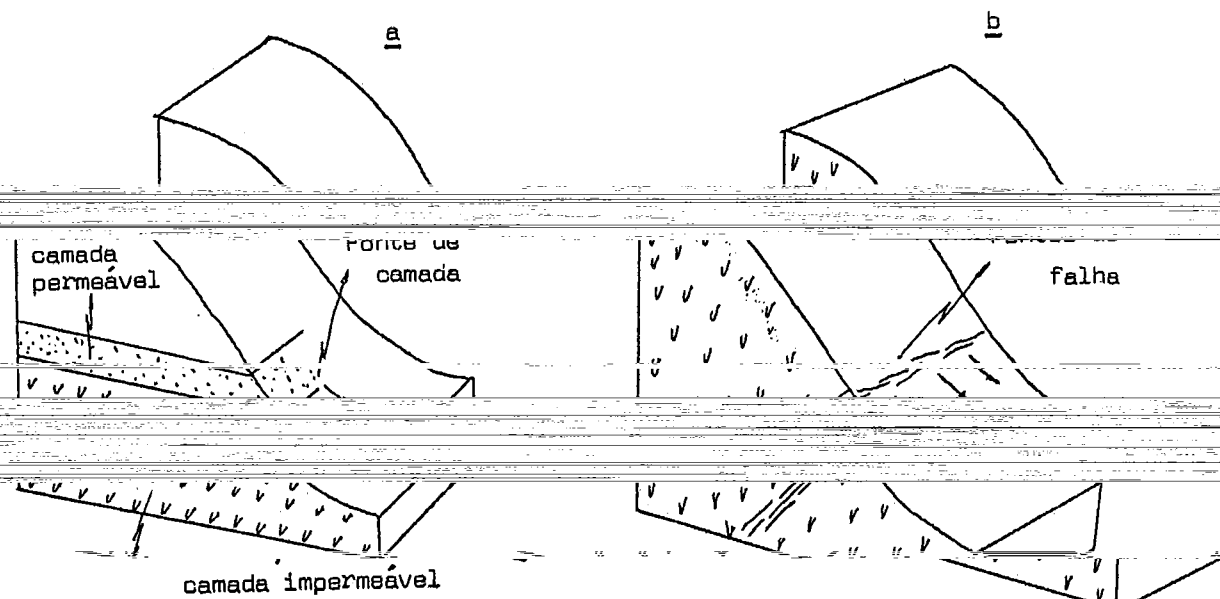


Fig. 115

ção de água em certos níveis, costuma-se revestir os poços com tubo metálico, alvenaria, etc. O revestimento poderá ter perfurações em certos níveis com a finalidade de permitir a observação das paredes do poço ou ainda permitir a infiltração de água que deve ser captada. As perfurações poderão ter também a finalidade de filtrar a água que penetra no poço, tendo nesse caso um diâmetro adequado.

7. Artesianismo

Água artesianas é água confinada entre duas camadas impermeáveis sob pressão.

Exemplo típico nosso é o Arenito Botucatu, que mergulha 13' aproximadamente em direção NW do lado E do Estado de São Paulo rumo ao rio Paraná.

7.1 - Poços artesianos

São aqueles em que a água jorra naturalmente para fora da boca do poço devido à carga hidráulica existente no aquífero.

petróleo.

8. Grupos Principais de Aquíferos e Aproveitamentos da Água Subterrânea.

Os principais aquíferos são constituídos por rochas permeáveis, arenitos e conglomerados, ao contrário dos sedimentos argilosos. Os processos de determinação da permeabilidade de rochas se encontram descritos na apostila de Ensaios de Laboratório de Geologia.

forme a quantidade, afastamento, abertura, ligação e preenchimento das fendas que contém. Em regra geral, constituem aquíferos menos importantes que as rochas sedimentares citadas anteriormente.

te do Estado de São Paulo, fornecem água em quantidade média da or

Os arenitos mesozóicos (Arenito Botucatu) são o melhor aquífero do Estado e talvez de todo o Brasil. Em Ribeirão Preto,

porventura existentes.

9. Drenagem

Antes das escavações em rocha ou solo, há necessidade de se rebaixar o lençol frático por drenagem. Geralmente, se usa para isso a gravidade, escavando valetas e deixando a água escoar para pontos mais baixos do terreno.

A escavação deve ser suficientemente seca e permitir a implantação das fundações em uma determinada obra de engenharia.

Há casos em que se tornou necessário executar bombeamento porque a escavação se encontra a profundidades muito grandes. Nesse caso toda a água é drenada para um poço e dele se processa o bombeamento.

A drenagem poderá ser feita em vários pontos por meio de ponteiros drenantes. Trata-se de tubos metálicos perfurados, introduzidos no solo, pelos quais se infiltra a água produzindo uma

terligadas por um tubo comum do qual se bombeia a água.

10. Água Subterrânea no Estado de São Paulo

a) Cenozóico

Estão agrupadas as bacias helocénicas (Zona Litorânica) bacia de São Paulo e do Paraíba. A espessura das mesmas é variável em Iguape 56m, Praia Grande 62m, Bacia de São Paulo de 100 a 150m, Paraíba, máxima 277m.

A variabilidade da espessura está condicionada ao relevo irregular do embasamento. A produtividade é variável devido justamente a litologia inconstante dos sedimentos e sua lenticularidade.

b) Formação Bauru

Os arenitos dessa formação são bons armazenadores. A produtividade varia de 5.000 a 20.000 l/h. Água dura, excesso de sais dissolvidos.

c) Arenito Botucatu

É o melhor aquífero do estado devido sua homogeneidade e boa permeabilidade de uma maneira geral. Vazões superiores a 20.000 l/h.

d) Basalto e Diabásios

A água é condicionada à presença de fraturas. O comportamento é imprevisível.

e) Grupo Passa Dois

Rochas praticamente impermeáveis - comportamento hidrogeológico desconhecido: águas algumas vezes sulfurosas.

f) Grupo Tubarão

Os arenitos são bons aquíferos. Vazões superiores a 20.000 l/h. Algumas vezes água salobra.

g) Grupo Paraná

Comportamento desconhecido. Único poço furado em Itapeva, teve vazão nula.

h) Embasamento

Comportamento relacionados à fraturas; estudos foto-geológicos às vezes permitem reconhecer áreas favoráveis; os poços, nessas regiões, apresentam profundidades que variam de 50 a 100m, em média.

XV. APLICAÇÕES DA GEOLOGIA ÀS PROBLEMAS DE ENGENHARIA CIVIL

Nos últimos anos o vulto das obras de Engenharia Civil tem aumentado tornando-se importante o estudo geotécnico dos terrenos onde são implantadas. O detalhamento desses estudos depende das próprias condições de fundação, do tipo das solicitações que ocorrerão bem como dos gastos que tais cuidados acarretarão.

Nos casos mais simples o estudo geotécnico se limita a um reconhecimento de superfície. Em obras costuma-se empregar técnicas mais sofisticadas. De uma forma ou de outra, pode-se garantir que a certeza do sucesso da realização da obra depende em grande parte do conhecimento dos maciços interessados. É principalmente importante em obras subterrâneas como túneis, galerias, escavações em geral e na fundação de grandes barragens. Secundariamente, é importante tal estudo em estradas de rodagem e vias férreas.

A Geologia de Engenharia, embora se constituindo em um dos ramos da Geologia Geral, possui características próprias como já nos referimos anteriormente. Entretanto, possui ligações com outros ramos da Geologia, como por exemplo: Geomorfologia, Tectônica, Estratigrafia, Geologia Econômica, Fotogeologia, etc. Liga-se também com a Engenharia Civil, principalmente à Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas. Pode-se entretanto afirmar que enquanto a Mecânica dos Solos e das Rochas estudam os problemas geológicos equacionando-os aos princípios da Mecânica, cabe à Geologia de Engenharia (Geologia Aplicada à Engenharia) o estudo das características geológicas de um dado maciço fornecendo os elementos mecânicos para determinar os parâmetros a serem usados por aquelas ciências. Para o geólogo exercer suas atividades corretamente, há necessidade, portanto, que ele tenha um conhecimento das ciências e tecnologias afins, bem como, uma longa experiência no campo da Geologia Aplicada, acompanhada de adequado bom senso.

1. Planejamento Urbano e Regional

Apesar dos progressos dos tempos atuais, há numerosos casos de desenvolvimentos urbanos importantes, sem planejamento adequado, sem consideração alguma às características geológicas e regionais dos terrenos em que são implantados. Felizmente, as consequências dessa condição nem sempre levam a situações desastrosas. Geralmente, o pior que poderá acontecer é regredir passando a um estado de marasmo ou inoperância, como veremos mais adiante alguns exemplos. A necessidade de um planejamento avançado para um desenvolvimento urbano e regional adequado está sendo finalmente aceito por todos os governos civilizados. Sendo assim, devemos entender no que consiste o planejamento.

Até o presente momento não se pode definir perfeitamente o que seja o planejamento urbano e regional, dada a complexidade dos elementos que entram em um projeto de planejamento e que variarão evidentemente conforme cada país ou cultura humana considerada.

Alguns dos elementos que não devem faltar no projeto são por exemplo: considerações sobre os aspectos sociais e populacionais, o uso da terra, a economia, transportes, as utilidades públicas, as construções, os aspectos estéticos, a administração e a legislação, as análises financeiras e os recursos disponíveis para levar a cabo os projetos mencionados; muito importante, na atualidade, é visualizar as medidas necessárias para evitar ao máximo perturbar o meio ambiente natural.

O papel da geologia de engenharia é de vital importância entre as demais ciências e tecnologias envolvidas no planejamento urbano e regional, uma vez que nenhuma construção poderá ser realizada sem um apropriado conhecimento das fundações.

A moderna cidade é tão complexa que somente é encarada sob todos os aspectos o seu desenvolvimento, tendo como cenário a região em que será implantada como um complicado sistema, formado por dezenas de paredes engrenadas entre si, que se pode visualizar o problema do seu planejamento de uma maneira mais perfeita. A arte de planejar, portanto, não é uma nova disciplina, mas antes uma hábil e efetiva coordenação e correlação de considerável número de funções individuais, todas relacionadas para o desenvolvimento da comunidade urbana e regional. Considerando o meio, a geologia é, portanto, uma das partes mais importantes desse complicado processo, uma parte sem a qual as operações de planejamento não poderão prosseguir sem qualquer grau de certeza ou verdadeira eficácia. Segura informação sobre os terrenos e horizontes da área a ser investigada no planejamento, bem como das áreas vizinhas que formam toda a região envolvida constituem os dados básicos a serem reunidos para uma visão panorâmica de conjunto, etapa inicial da realização do projeto de viabilidade. Isto significa conhecimento não só da superfície do terreno mas também do que se situa abaixo, o caráter dos terrenos sobre os quais vai se implantar a cidade e também a natureza e posição da água no sub-solo abaixo das obras a serem planejadas, pelo fato de terem uma profunda influência nas construções à superfície. Essas informações devem ser apresentadas de uma forma correta, de modo a serem coordenadas com outras informações importantes na formulação do plano geral. A forma mais apropriada de realizar essas tarefas é através de plantas e mapas que reúnem informações geológicas e geotécnicas de maneira resumida e condensada, permitindo uma visão do conjunto e pondo em evi-

dência áreas de maior ou menor importância para a realização do projeto.

Na falta desse mapa básico (o que é muito frequente), será de grande valia a própria planta topográfica de detalhe, geralmente produto da restituição aerofotogramétrica. Na falta de outros elementos, o geólogo que dispõe de uma planta topográfica adequada poderá realizar o seu próprio levantamento de campo, grafando diretamente na planta os dados do terreno, a litologia, os afloramentos, as diaclases, os contatos entre camadas, etc. O solo também é demarcado na planta, registrando-se seus tipos, variações, assim como as condições de ocorrência das águas superficial e subterrânea, das fontes, dos rios e alagadiços, etc. A própria vegetação é um grande auxiliar do geólogo, pois indica os tipos de solo e a posição do lençol freático relativamente à superfície do terreno.

A própria planta topográfica, nas mãos de um geólogo experiente, serve para indicar onde estão localizados os aluviões, as várzeas inundáveis, os alagadiços, os taludes íngremes com possibilidade de se instabilizarem, os taludes suaves sempre estáveis, etc.

A avaliação do terreno ainda é mais completa através da foto aérea, uma vez que constitui um certo tipo de planta geomorfológica extremamente detalhada. Pode-se, para fins de engenharia, considerar quatro parâmetros como importância primordial: a) características dos taludes; b) geologia (litologia); c) tipos de solo; d) tipos de vegetação. Atribuindo-se aos parâmetros considerados certas características que permitem subdividi-los em classes, às quais são atribuídos números, é possível quantificar propriedades do terreno viáveis de serem computadas, interpretadas e usadas quando necessárias a um projeto. Deve-se esclarecer, contudo, que a avaliação quantitativa do terreno realizada em fotos aéreas, não substitui a geologia de engenharia feita no campo, apenas a complementa.

Plantas Geotécnicas ou Plantas de Geologia de Engenharia

O desenvolvimento dado ao assunto nas páginas precedentes indica que se procura atualmente é obter mapas ou plantas especiais que apresentem detalhamento as informações comuns das plantas geológicas (litologias, contatos, estruturas, direções e inclinações, etc.) adequadamente tratadas e interpretadas de forma a serem usadas em trabalhos de engenharia. Para o planejamento são importantes as plantas que mencionem as propriedades do solo e da rocha que apresentam interesse para a engenharia, constituindo-se em mapas geológicos de engenharia ou mapas geotécnicos.

Por estranho que pareça, não se pode afirmar que as plantas geotécnicas tenham sido inventadas. Na realidade, elas foram surgindo face à necessidade de se ter uma sùmula de dados técnicos relativos ao terreno de implantação de uma ou várias obras. Tais plantas, portanto, tiveram a sua origem nos mapas geológicos e tem evoluído, de acordo com as necessidades e com o desenvolvimento do próprio planejamento.

Ao se preparar uma planta geotécnica, a quantidade e o tipo de informações são variáveis e dependem da finalidade a que se destina. À título de exemplo, cita-se as seguintes informações:

- a) unidades geológicas (nome das camadas, litologias);
- b) descrição e espessuras de solos e de camadas;
- c) estado de alteração e diaclasamento;
- d) formas topográficas e relevo;
- e) áreas de solo residual e áreas de solo transportado;
- f) condições de escavação;
- g) condições de drenagem e erosão;
- h) características hidrogeológicas;
- i) estabilidade de fundações;
- j) estabilidade de taludes;
- k) áreas de empréstimo de solo e de rocha e,
- l) localização de materiais de construção.

De uma forma geral, as plantas geotécnicas são executadas para certos fins específicos como por exemplo, mapeamento geológico específico para reconhecimento de túneis e obras subterâneas. Nesse caso, os elementos e dados existentes antes da escavação, complementados por um mapeamento geológico convencional, onde constarão: litologias, contatos, estruturas tectônicas, bem como dados de levantamentos geofísicos e de sondagens. Deverá conter dados relativos à infiltração de água (inclusive temperatura e composição) no maciço rochoso, em escavações já realizadas; ao grau de fraturamento do maciço; ao espaçamento e à abertura de fissuras, ao grau de alteração e pêsso específico das várias rochas e solos existentes.

2. Estudo de Taludes

2.1 - Mecanismo de Cisalhamento

O mecanismo do cisalhamento poderá ser melhor entendido comparando-se com o caso de um bloco de rocha apoiado sobre uma encosta inclinada conforme a Fig. 116.

w = peso do bloco

w sen β = força cisalhante

w cos β = força normal à superfície

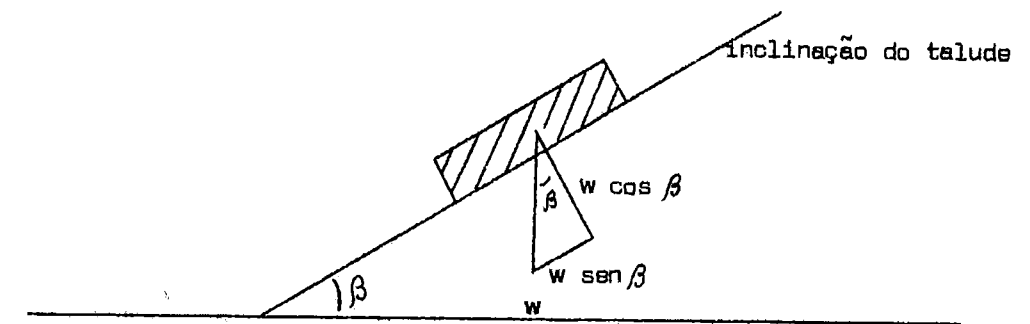


Fig. 116

Há numerosos tipos de escorregamentos e Terzaghi cita em seus trabalhos cerca de 19 tipos diferentes, todos tendo como causa primária a gravidade. Consideraremos apenas os casos de rutura plana em superfície regular.

O princípio do mecanismo é simples, devendo-se considerar as forças ativas no processo (w sen β) e as forças resistentes (tg φ . w cos β). Se β for menor que φ (ângulo de atrito), o bloco será estável.

É possível, portanto, introduzir um coeficiente de segurança F_S, tal que:

$$F_S = \frac{\text{Força resistente}}{\text{Força de rutura}} = \frac{CA + w \cos \beta \cdot \text{tg } \phi}{w \sin \beta} = \frac{CA}{w \sin \beta} + \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \beta}$$

Como se vê por esta equação o fator de segurança é independente do peso w.

As bases mecânicas da rutura de taludes de rocha estão apoiadas na teoria de Coulomb-Mohr, em que a resistência ao cisalhamento pode ser apresentada de forma mais completa pela expressão:

R = CA + w cos β . tg φ, onde CA corresponde ao produto da coesão pela área da base do bloco.

Se for levada em conta a influência da água na estabilidade (Fig. 117), há necessidade de considerar a distribuição de pressões ao longo da base do bloco (U) e na sua parte superior (V). Nessas condições, o equilíbrio previamente considerado entre as forças resistentes e solicitantes pode ser apresentado pela expressão:

$$w \sin \beta + V = CA + (w \cos \beta - U) \operatorname{tg} \phi$$

Então:

$$F_S = \frac{CA + (w \cos \beta - U) \operatorname{tg} \phi}{w \sin \beta + V}$$

conforme dados apresentados na Fig. 117.

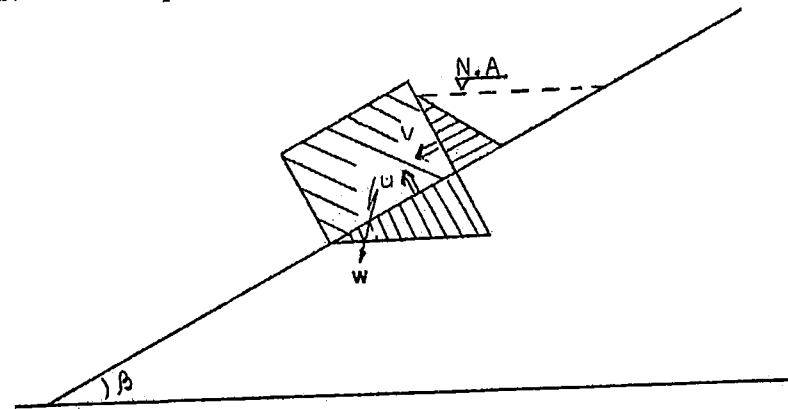


Fig. 117

Geralmente são usados métodos aproximados para cálculo de estabilidade de taludes, uma vez que os dados de que se dispõe e a qualidade da informação não justificam o emprego de métodos analíticos sofisticados. Assim, conforme idéia de E. Hoek, "Estimando a Estabilidade de Taludes Escavados em Minas de Céu Aberto" (Publicação da Associação Paulista de Geologia Aplicada, tradução nº 4 - 1972), pode-se enfocar o problema de uma forma mais prática, com a utilização de âbacos.

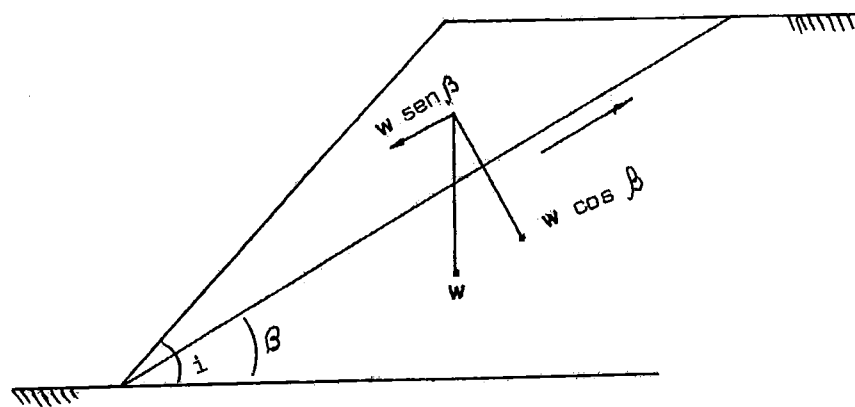


Fig. 118

Da geometria do talude apresentados na Fig. 118, a equação:

$$F = \frac{CA + w \cos \beta \operatorname{tg} \phi}{w \sin \beta} \text{ poderá ser apresentada sob a forma:}$$

$$F = \frac{2c \operatorname{sen} i}{\gamma H \operatorname{sen} (i - \beta) \operatorname{sen} \beta} + \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta} \text{ ou ainda:}$$

$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{2 \operatorname{sen} i \cos \phi}{\operatorname{sen} (i - \beta) (F \operatorname{sen} \beta \cos \phi - \operatorname{sen} \phi \cos \beta)}$$

ou ainda, no caso de $F = 1$.

$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{2 \operatorname{sen} i \cos \phi}{\operatorname{sen} (i - \beta) \operatorname{sen} (\beta - \phi)} \quad (I)$$

Nota-se que $\frac{\gamma H}{c}$, forma um grupo adimensional útil para ser empregado na elaboração dos âbacos propostos.

Da mesma forma, agrupando os vários elementos angulares:

i = ângulo do talude

β = ângulo do plano de escorregamento

ϕ = ângulo de atrito

O referido autor obteve expressão adequada para uso nas abcissas do âbaco:

$x = 2 \sqrt{(i - \beta) (\beta - \phi)}$, que corresponde a duas a média geométrica dos grupos $(i - \beta)$ e $(\beta - \phi)$ que aparecem na fórmula (I) já mencionada.

Desde que os ângulos i e ϕ não tem dimensões de comprimento, massa ou tempo, a função x pode ser vista como um grupo também adimensional e usada em gráfico contra valores de $\frac{\gamma H}{c}$ obtidos da equação (I). As curvas obtidas podem ser usadas como base para âbacos de projeto, estabelecendo-se uma correlação entre x , correspondente aos dados angulares do talude rochoso e y , correspondente a uma função proporcional à altura do talude $(\frac{\gamma H}{c})$, considerando-se taludes de diferentes configurações geométricas. Para uma aproximação mais adequada aos taludes reais, considera-se a influência das tensões neutras e das fendas de tração, o que se consegue mantendo ainda em forma adimensional os grupos de dados que servem para obtenção dos âbacos, através de artifícios relativamente simples, como a fórmula proposta pelo próprio Hoek:

$$Z_o = \frac{2c}{\gamma} \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \quad \text{onde}$$

$Z_o = \text{prof. da fenda}$
 $c = \text{coesão}$
 $\gamma = \text{peso específico}$

Entretanto, muitas vezes é possível medir no campo a profundidade da fenda referida e que, segundo Terzaghi, raramente ultrapassa H/2.

Seguem alguns esquemas de taludes (Figs, 119, 120 e 121), com as respectivas fórmulas para uso do âbaco da Fig. 122.

a. Talude "seco", sem fenda de tração

$$x = 2 (i - \beta) (\beta - \phi)$$

$$y = \frac{\gamma H}{c}$$

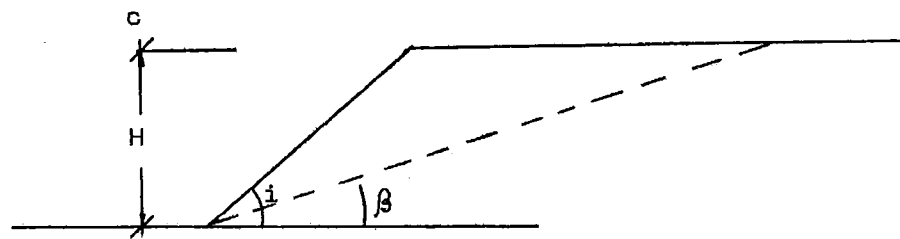


Fig. 119

b. Talude com fluxo normal, descendente ou horizontal

$$x = 2 \sqrt{(i - \beta) \beta - \phi \left(1 - 0,1 \left(\frac{Hw}{H}\right)^2\right)}$$

$$x = 2 \sqrt{(i - \beta) \beta - \phi \left(1 - 0,5 \left(\frac{Hw}{H}\right)^2\right)}$$

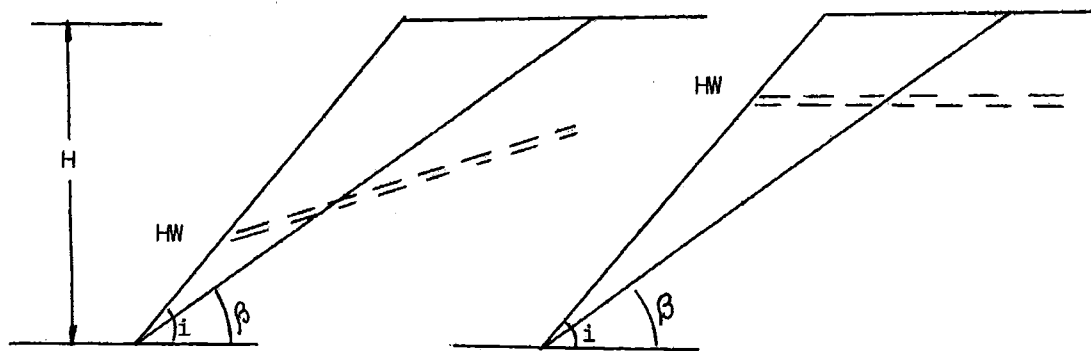
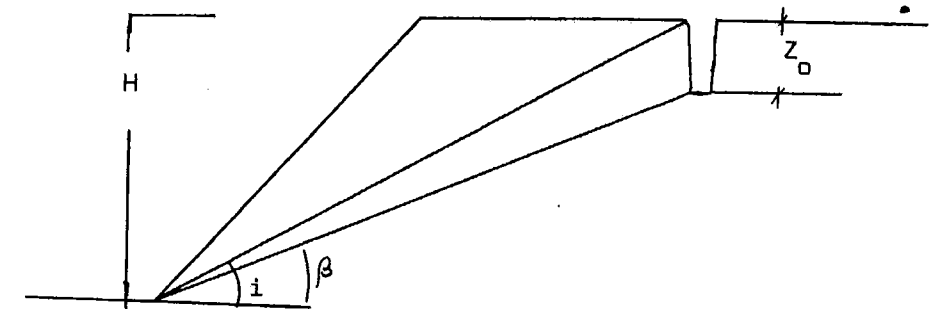


Fig. 120

c. Talude com fenda de tração



$$\text{Fenda de tração seca } y = \left(1 + \frac{Z_o}{H}\right) \frac{\gamma H}{c}$$

$$\text{Fenda de tração preenchida d'água } y = 1 + \frac{3Z_o}{H} \frac{\gamma H}{c}$$

Fig. 121

Foram feitas até agora considerações a planos de escorregamentos retos. Não mencionaremos os planos curvos, uma vez que normalmente sua ocorrência se restringe aos solos e portanto, são estudados em outras disciplinas.

2.2 - Procedimentos usados na Estabilização de Taludes em Rochas

A primeira questão que surge é o da urgência da estabilização e nocividade do escorregamento. De início a ação é impedir a perda de vidas humanas e em seguida evitar danos materiais.- As populações das áreas habitadas em perigo devem ser evacuadas. A segunda medida a ser tomada é impedir a saturação do maciço envolvido no escorregamento, desviando a água dos córregos e das adutoras rompidas. Da mesma forma, a água superficial e da chuva deve ser drenada e desviada da área de deslizamento. As rachaduras superficiais, na parte superior dos taludes rompidos, devem ser também, vedadas com argila ou outro material impermeável. Concomitantemente, deverá ser iniciada a drenagem da massa em escorregamento para rebaixar o nível de água, sendo úteis furos horizontais na frente do maciço, galerias pequenas, trincheiras, e demais escavações que facilitem o escoamento da água para fora da massa em escorregamento. Se a água já se encontra escoando em algum ponto, a introdução nesse local de um tubo drenante (cano de água comum), provavelmente aumentará a vazão de água. Mesmo se a face do maciço estiver seca, a introdução de um dreno em uma fratura poderá iniciar importante processo de drenagem por onde poderá escorrer grande -

quantidade de água. Para se verificar o efeito das medidas adotadas, há necessidade de se proceder a uma instrumentação adequada, principalmente implantando piezômetros e inclinômetros.

2.3 - Métodos de Estabilização

Basicamente, existem apenas três medidas a serem tomadas para uma estabilização efetiva: aumentar a resistência mecânica; abrandar os taludes e drenar o maciço afetado, sendo a escolha do método praticamente baseada no custo final das obras que se fizerem necessárias.

2.3.1 - Aumento da resistência mecânica

O aumento da resistência mecânica é obtido através de atirantamento e injeção de cimento.

a) Injeção de cimento: uma fratura ou diaclase aberta poderá ser injetada, entretanto não haverá aumento de resistência até que se processe a consolidação do material injetado. Mesmo após a consolidação haverá pouco aumento de resistência se as fraturas estiverem preenchidas de material mole (plástico) - não afastado pela argamassa. O material injetado, antes da consolidação, se comporta como uma massa plástica que diminui a resistência da fratura onde foi injetada. Isto significa que uma fratura paralela e próxima a uma face de escavação, não deve ser injetada, a não ser que o bloco limitado - por tal face seja previamente ancorado ou atirantado no maciço rochoso ao qual pertence. Por isso, a injeção de cimento no maciço rochoso ao qual pertence. Por isso, a injeção de cimento é de valor limitado na estabilização dos taludes.

b) Atirantamento: é um método muito usado em túneis e escavações rochosas para sustentar as paredes compostas de blocos afrouxados pelas detonações. Consiste de hastes em geral de dois a vários metros de comprimento, introduzidas em furos - de percussão no fundo dos quais são fixados por um dispositivo de expansão e/ou por argamassa. Externamente a haste é rosqueada recebendo uma porca que nela é parafusada. Juntamente com a porca é parafusada, frequentemente, uma placa - que aumenta a superfície externa sobre a qual atua o tirante. O parafusamento geralmente produz uma certa protensão da haste. Esse método poderá ser usado para estabilizar encostas, mas em geral é necessária uma maior protensão do que aquela usada normalmente nos tirantes (também chamados de chumbadores).

c) Tirantes Protendidos: em princípio tem o mesmo comportamento que os tirantes comuns, entretanto podem ser pretensionados consideravelmente. Com isto é possível aumentar n de uma diaclase ou plano de contato entre camadas aumentando a resistência ao cisalhamento. Esta técnica tem sido usada em Engenharia Civil para muitos fins diferentes. Vergalhões de aço ou cabos de aço são fixos em furos profundos no interior da rocha e depois protendidos, usando-se macacos. O efeito é aumentar a pressão normal através da junta ou fratura aumentando assim a resistência de atrito. Com isso aumenta o fator de segurança. Se a fratura possui um enchimento com um valor baixo de ϕ o método mencionado não é tão eficiente. Mas para fraturas em que o contato é rocha-rocha, em que $\phi = 30^\circ$, o método é muito eficiente.

Já foi visto anteriormente que $F_s = \frac{\text{Força resistente}}{\text{Força de rutura}}$

ou $F_s = \text{tg } \phi \cdot \frac{w \cos \beta}{w \cdot \text{sen } \beta} = \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \beta}$. Esta expressão é independente do peso w do maciço deslizante. Portanto, F_s não muda com alterações do peso do maciço.

Entretanto se o bloco de peso w é "amarrado" ao restante do maciço com uma força P , por meio dos cabos protendidos w não mudou, mas a resistência sim, conforme a expressão abaixo:

$$F'_s = \frac{\text{tg } \phi \cdot w \cos \beta + P}{w \cdot \text{sen } \beta} > \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \beta} \text{ e } F'_s > F_s$$

O custo do atirantamento em geral é elevado. Em combinação ou não com os tirantes podem ser usados outros meios denominados de contenção, tais como muros de arrimo. É assunto de outra disciplina.

2.3.2 - Abrandamento de Taludes

É óbvio que um talude de pequena inclinação é mais estável que um talude de forte inclinação.

A remoção de rocha acima de um plano de escorregamento poderá abrandar o talude e torná-lo mais estável, inclusive, o material removido poderá em certos casos ser colocado no pé do talude servindo de apoio para o mesmo. Fig. 123.

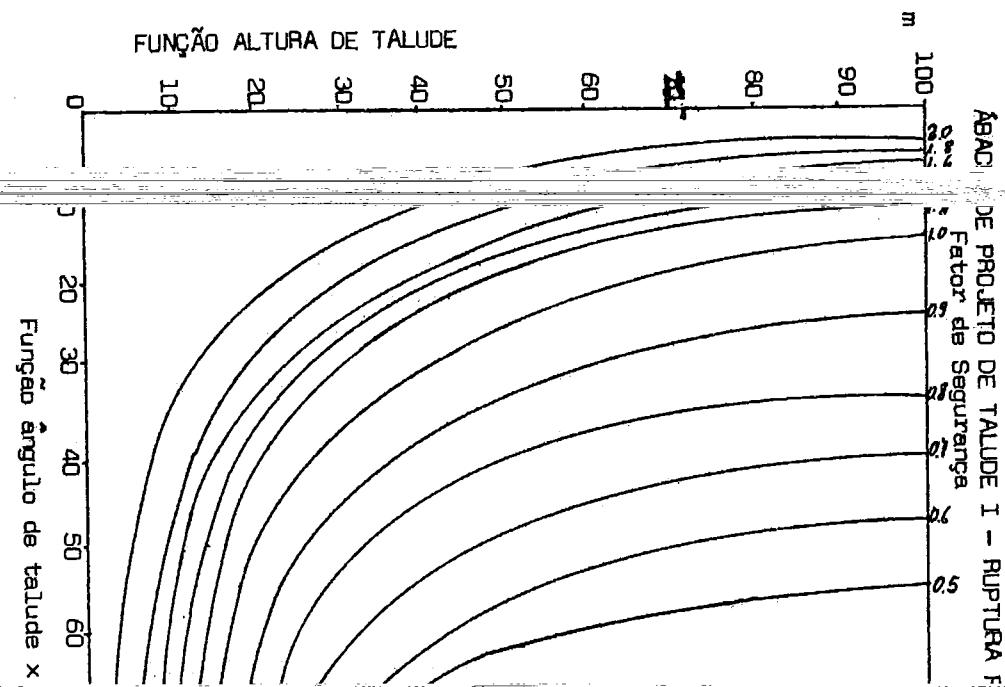


Fig. 122

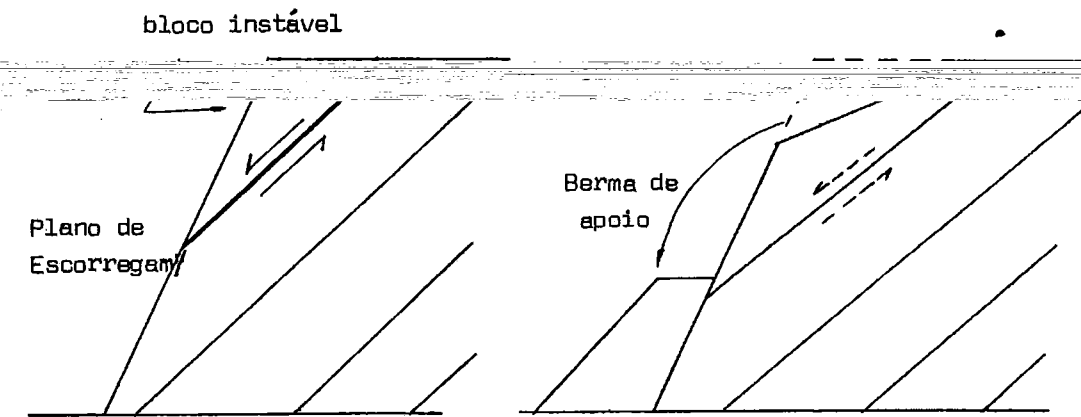
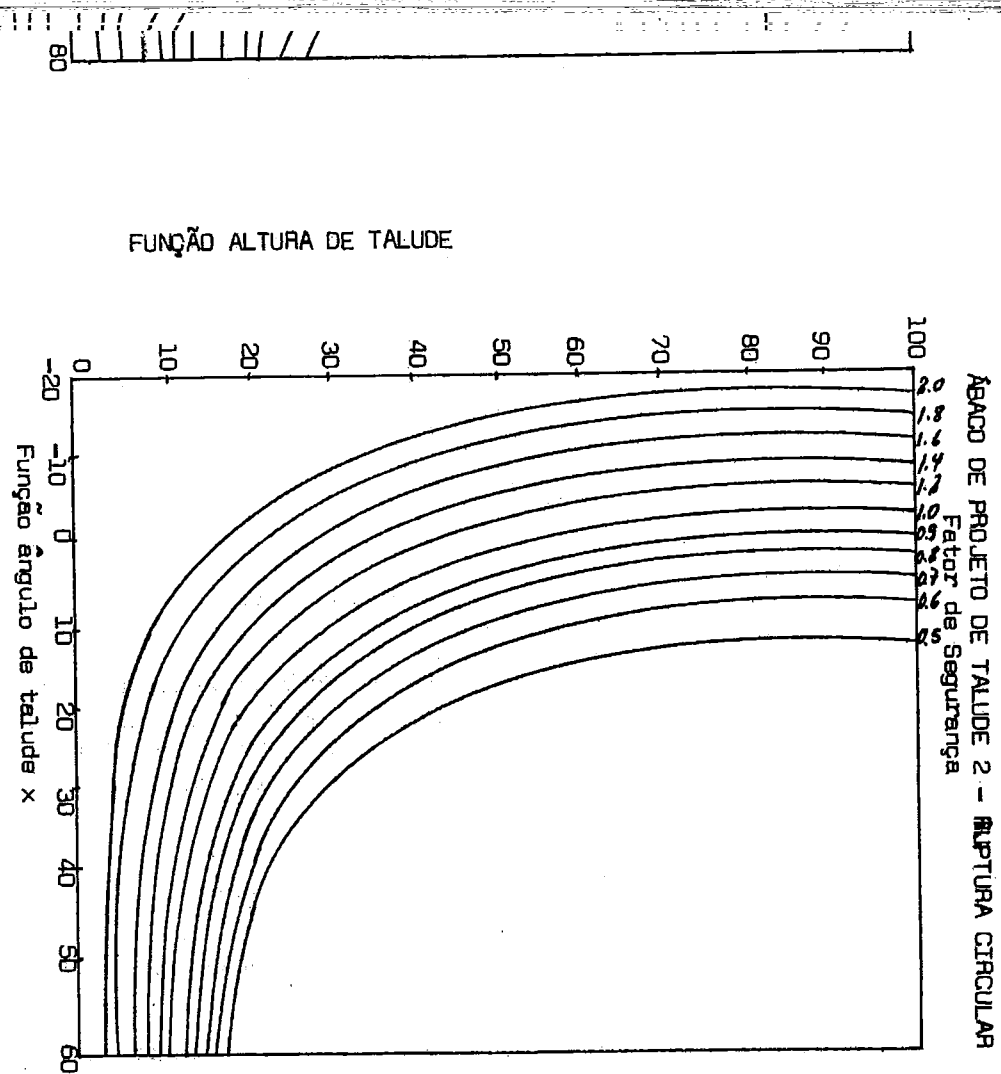


Fig. 123

2.3.3 - Drenagem

dos para aumentar a estabilidade. Entretanto, é óbvio que, isto

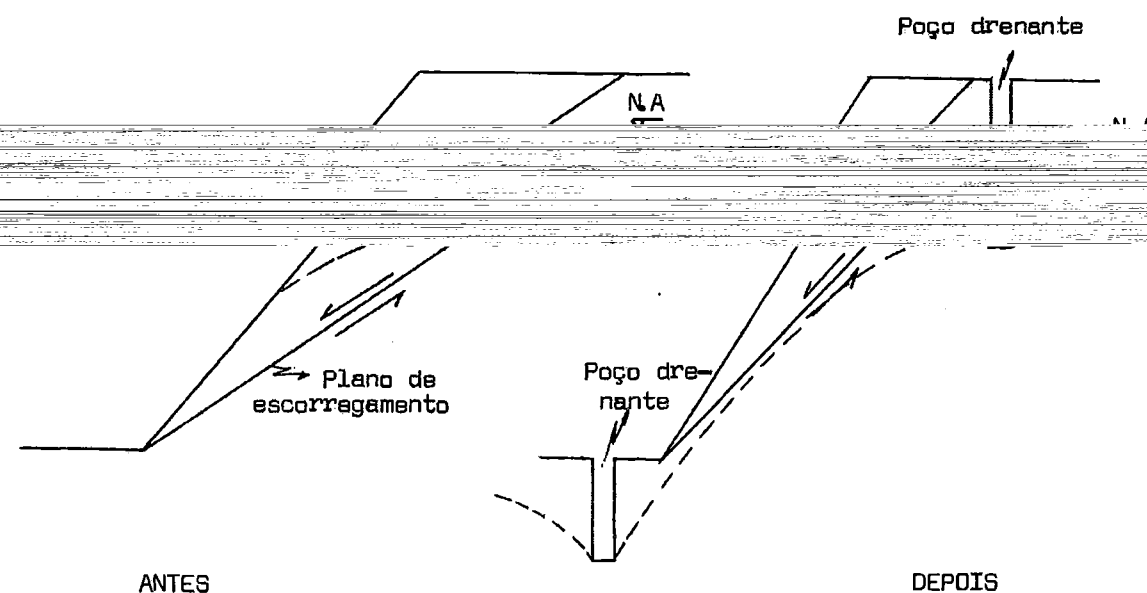
só será possível, se as massas rochosas tiverem água nas suas fissuras. Cumpre lembrar que superficialmente o maciço poderá estar seco havendo água somente em pontos profundos. Neste caso, em geral, a água está sob alta pressão confinante. É interessante lembrar também, que o pequeno volume de água que escoar por uma fina abertura no pé de um talude nada indica sobre as sub-pressões no interior do maciço, que poderão ser elevadíssimas.

A drenagem do maciço tem por finalidade reduzir tais pressões.

a) métodos de drenagem

- a₁) poços drenantes
- a₂) drenos horizontais
- a₃) galerias drenantes

a₁) A implantação de poços drenantes em uma área produzirá o rebaixamento do lençol freático diminuindo as sub-pressões e portanto melhorando as condições de estabilidade, Fig. 124.



zado dos maciços geológicos. Em ligação com os aspectos geomorfológicos da área, há necessidade de se fazer considerações relativas aos seguintes problemas:

- a) condições de fundação do pavimento, estabilidade e caracterização das respectivas formações geológicas.
- b) atravessamento de zonas baixas de grande extensão por aterros e de linhas de água por obras de arte, de acordo com as respectivas dimensões.
- c) materiais necessários à construção (britas e material terroso) de aterros, camadas de fundação, etc.

Quanto ao item (a) estão associadas várias outras particularidades, como a drenagem dos taludes de escavação e do pro-

pontes de grandes dimensões.

nenham um canal similar aos drenos horizontais em escala maior.

2.4 - Medidas de Campo

Após terem sido tomadas medidas de estabilização há necessidade de se verificar os resultados.

Como proceder nas medidas e a extensão dos gastos na verificação proposta acima, depende do vulto da obra e do fator de segurança.

Sequência das medidas a serem realizadas para o controle referido:

- 1º) Posição do N.A. em vários pontos
- 2º) Vazão nos drenos
- 3º) Movimentos superficiais
- 4º) Movimentos no interior da massa rochosa
- 5º) Medidas da abertura das fissuras
- 6º) Permeabilidade dos furos de sondagem

de extensão, é necessário localizar várias zonas de pedreiras.

O estudo geológico e geotécnico de uma estrada deve ser conduzido por fases devidamente integradas.

A primeira fase do trabalho, que constitui o estudo prévio ou preliminar, consistirá na análise das diversas soluções possíveis e culminará com a seleção de uma faixa, em regra de algumas centenas de metros de largura, onde se localizará a estrada, - nesta fase, o estudo geológico consta essencialmente da análise de todos os elementos topográficos, geológicos e geotécnicos, num sumário reconhecimento de superfície.

Assim, o mapa geológico apresentado no final desta fase de estudo prévio, será sempre acompanhada de um relatório onde se localizam e se analisam as implicações do traçado da estrada. Deverão figurar indicações quanto à eventuais zonas a serem evitadas pela passagem da estrada, quanto à influência das descontinuidades geológicas importantes na estabilidade de taludes. Igualmente faz-se considerações relativas aos materiais de construção necessários

a respeito da hidrogeologia dos maciços.

Depois de se definir a faixa de implantação da estrada, inicia-se a segunda fase de estudos geológicos e geotécnicos, com a preparação de um programa de trabalhos de prospecção e de ensaios que permitirão elaborar o anteprojeto da estrada. Os trabalhos de prospecção desta segunda fase definirão uma faixa de algumas dezenas de metros de largura, onde será mais conveniente localizar a estrada.

Os trabalhos de prospecção também serão convenientes nas zonas de obras de arte, com vista à definição das respectivas condições de fundação. O anteprojeto é que vai fixar as características geométricas da estrada. Deve-se começar os trabalhos de prospecção na faixa selecionada no estudo prévio por uma prospecção geofísica (por métodos sísmicos) localizada nos trechos em escavação, nas zonas aluvionares, e de depósitos de vertentes.

A prospecção por meios diretos (mecânicos) consistirá de sondagens ao longo do eixo, nas pedreiras e nas zonas de empréstimo. Os trabalhos, ao longo da faixa onde se localizará a estrada, serão realizados segundo a morfologia de cada tipo de estrutura e dos movimentos de terra previstos. As sondagens serão mais espaçadas na fase do anteprojeto e mais próximas nas áreas em que se faz necessário um reconhecimento detalhado, muitas vezes nos talves.

Deve-se prever a necessidade na fase do projeto, de realizar mais de uma sondagem ao longo de um perfil transversal.

Frequentemente, o cruzamento dos cursos d'água e vales exigem a construção de obras de arte, tornando-se assim necessária uma prospecção mais detalhada de tais locais.

Finalmente, investiga-se as características hidrogeológicas dos terrenos onde se instalará a estrada, com vistas essencialmente ao projeto dos trabalhos de drenagem necessários à sua estabilidade ou às implicações que o rebaixamento provocado pelas escavações possa causar nas captações de água das imediações. É necessário equipar todos os furos realizados na fase de anteprojeto e projeto com piezômetros, anotando-se os níveis periodicamente.

Quanto aos ensaios mais frequentemente realizados na caracterização dos respectivos materiais amostrados cita-se no caso de maciços de terra, os ensaios visando a sua classificação geotécnica (classificação unificada ou AASHO), ensaios de compactação e CBR e, no caso de pedreiras para fornecimento de britas e agregados, os ensaios normais de caracterização de material de construção (Gandolfi; Paraguassu, Rodrigues, Marino e Mattiello, 1975; "Ensaaios de Laboratório em Geologia").

4. Barragens e Aproveitamentos Hidráulicos

4.1 - Implantação de Barragens

Dentre as obras civis mais onerosas encontram-se as grandes barragens, que exigem um estudo geológico-geotécnico bem detalhado considerando-se as elevadas solicitações geralmente impostas à fundação.

Na implantação de uma barragem são consideradas três etapas:

- a) Projeto de viabilidade
- b) Ante-projeto e Projeto básico
- c) Projeto executivo

a) A primeira fase consta de estudos gerais da região escolhida como local provável de implantação. São executados levantamentos geológicos gerais, das áreas favoráveis sob o ponto de vista hidráulico. Inclui-se neste trabalho, aspectos geomorfológicos da região, procurando-se localizar no eixo do rio, zonas estreitas (gargantas), onde a implantação da barragem apresentará um volume menor de material de construção, tornando o projeto menos dispendioso.

Neste estudo, intervém também, outro elemento geológico importante, a Tectônica. Isto ocorre, porque justamente, as gargantas e estreitamentos fluviais correspondem normalmente a anomalias geológicas, tais como: zonas de maior grau de fraturamento, contatos litológicos, regiões mais alteradas, etc. Os trabalhos preliminares são realizados através do exame de mapas geológicos e cartas topográficas na escala 1:100.000 a 1:50.000, bem como, em fotos aéreas geralmente na escala de 1:25.000. Completa-se esta primeira fase com levantamentos preliminares de campo contando inclusive com trabalhos geofísicos de resistividade e de sísmica de refração.

O objetivo deste levantamento inicial é escolher a posição aproximada do eixo da barragem em que as fundações sejam adequadas.

Em resumo, procura-se determinar a espessura do manto de intemperismo, as camadas ou zonas mais alteradas e mais fraturadas, a localização aproximada das áreas de empréstimo, definindo-se também de modo aproximado, os pontos mais importantes a serem verificados nas etapas seguintes. Para este fim, é elaborado programa de investigações do sub-solo por meio de sondagens em solo e rocha e programas geofísicos complementares de regiões críticas. Fazem parte dos trabalhos de sondagem os ensaios de permeabilidade (executados normalmente em estágios descendentes de 3 em 3 metros)

e coleta de testemunhos. Estes são usados como material de ensaio de laboratório (ensaios de compressão simples, triaxiais, ensaios de cisalhamento direto, etc.), bem como servem para a contagem de fraturas/ e/ou R.Q.D. (Rock Quality Designation).

b) No Ante-projeto e Projeto Básico, a partir dos dados fornecidos pelos levantamentos iniciais é escolhido o local definitivo da barragem e são investigadas áreas críticas em maior detalhe usando-se novas sondagens, poços, galerias (túneis) e eventualmente trincheiras (valas em solo ou rocha).

Nesta fase algumas das sondagens devem ser realizadas com a amostragem integral com a finalidade de caracterizar discontinuidades de importâncias para a obra, tais como: grau de abertura, preenchimento de fraturas, zonas alteradas do maciço, etc. As sondagens em geral, devem atingir profundidades que variam de 1,5H a 2H (sendo H a altura de maior estrutura de concreto). As galerias e poços devem ser executadas para servirem na prospecção do maciço e eventualmente para drenagem das fundações. No primeiro caso, servem para execução de ensaios "in situ": cisalhamento direto, ensaio de carregamento, ensaios com macaco plano, etc.

O levantamento nesta fase deve permitir a execução de plantas e perfis geotécnicos que incluam permeabilidade, deformabilidades, cotas de fundação e demais dados mecânicos de interesse para o projeto. Nesta fase, devem estar perfeitamente definidas as áreas de empréstimo, suas características geotécnicas e volumes, incluindo materiais granulares e de escavação. Incluem-se ainda estudos referentes à desagregabilidade dos materiais a serem utilizados na obra, bem como daqueles que expostos por escavação poderão sofrer alteração "in situ". Durante esta fase são também realizados ensaios de injeção de cimento à superfície ou nas galerias.

c) No Projeto Executivo deve-se contar com os resultados de todos os elementos de investigação programados previamente fazendo-se uso destes para otimizar e detalhar o projeto final. Entretanto, a escavação do maciço para implantação da Barragem, possibilitará um exame direto de suas características, permitindo ainda, em certos casos, uma adequação do projeto às condições reais.

Nesta fase, ou mesmo em fase anterior, desde que possível, será feita a instrumentação das fundações e da própria estrutura da Barragem visando-se controlar o comportamento mecânico das mesmas.

O tipo de barragem mais comum no Brasil para aproveitamento hidráulico é o misto (concreto e terra-enrocamento). Isto

se deve ao fato de que geralmente as barragens são implantadas em caudais de vales abertos não sendo possível construí-las (por razões econômicas) usando-se somente o concreto.

4.2 - Solos Usados Como Material de Construção de Barragens

Muitos tipos de solos servem como material para construir barragens de terra e também para aterros de ferrovias, rodovias e aeroportos.

As regiões de onde é retirado tal material são denominadas áreas de empréstimo.

As principais áreas de empréstimo de solo, localizam-se nos terraços atualmente abandonados dos grandes caudais; por exemplo, no Estado de São Paulo, ocorrem nas proximidades dos rios Tietê, Pardo, Mogi, etc. As elevações aplainadas que se encontram próximas a estes rios são seus terraços e sobre eles encontram-se geralmente finas camadas de solo transportado (3 a 5 metros de espessura em média, em certos locais poderão ultrapassar uma dezena de metros).

O solo é normalmente do tipo areno-siltoso de textura homogênea (sem estratificação) com seixos finos disseminados em sua massa.

É solo do tipo alúvio-coluvionar (portanto, de origem híbrida) formado dos materiais trazidos das cabeceiras dos rios e remobilizados conjuntamente com material erodido dos taludes existentes nas redondezas.

Dessa forma, em razão de seu caráter aluvial e também coluvionar, apresenta na sua composição a influência das litologias existentes nas vizinhanças, próximo aos basaltos os referidos solos tem cor castanha e um certo teor em argila; junto aos afloramentos do Arenito Botucatu mostra-se mais arenoso, com teor baixo e, argila.

Uma das características importantes é que na parte basal desses solos ocorre de maneira geral uma camada ou raramente duas de seixos junto ao contato com a camada de rocha subjacente. Os seixos mais comuns nessa parte do solo são compostos geralmente de quartzo ou de limonita (Fe).H₂O).

De forma geral, os referidos solos transportados não sofreram compactação sendo facilmente escaváveis.

4.3 - Terremotos Artificiais Causados por Implantação de Barragens

4.3.1 - Introdução

Em épocas recentes, tem ocorrido muitos terremotos, a

tribuídos indiretamente a causas artificiais ou seja, à atividade humana.

É ponto pacífico, que os abalos sísmicos tem como origem primária, deslocamentos de blocos crustais que se atritam em regiões falhadas. Portanto, os terremotos estão condicionados a regiões fraturadas, de reconhecida fraqueza, onde a crosta terrestre é mais delgada e onde há também atividade vulcânica.

Os núcleos dos continentes, formados de rochas antiqüíssimas, Pré-Cambrianas, são geralmente isentos de sísmos, bem como de modernas atividades vulcânicas, pois a crosta nessas áreas é muito espessa. Tais áreas são denominadas escudos cristalinos.

Praticamente todo o território brasileiro se situa sobre um escudo desde tipo, o que também acontece com parte do território africano, indiano, canadense, etc.

Atualmente, mesmo sobre áreas estáveis como estas, tem havido abalos de média a grande magnitude, cuja causa se atribue - ao enchimento de reservatórios ou imjeções de líquidos nas profundezas do sub-solo. Este assunto merece atenção especial, se considerarmos que enormes reservatórios de água estão surgindo ao longo de caudais brasileiros, como consequência da execução de projetos hidroelétricos de vulto.

4.3.2 - Exemplos de Abalos Sísmicos Deflagrados pelo Homem em Áreas Geologicamente Similares às Nossas.

O progresso, obtido no campo da sismogênese artificial, resulta em grande parte da coleta de dados, dos estudos e das contribuições científicas, obtidas de observações de laboratório e de campo, em áreas onde já se tenham verificado tais fenômenos.

Entretanto, deve-se lembrar que muitas controvérsias ligadas ao assunto da sismogênese só serão superados, quando for possível estabelecer uma teoria quantitativa geral que equacione todos os dados relativos a essa matéria.

Citamos a seguir alguns exemplos históricos, que poderão ser considerados como macro experimentos sismogênicos, a fim de esclarecer a ocorrência de terremotos associada a vários projetos de engenharia.

a) Barragem de Boulder (Hoover Dam)

Este exemplo clássico é relatado por Carder (1945) no Bull. Seism. Soc. Am., v. 35, 175-192).

Em 1935, iniciou-se o enchimento do reservatório Mead, devido ao fechamento da barragem Hoover, sobre o rio Colorado. Du-

rante os 15 anos anteriores ao fechamento, não havia sido notado nenhum abalo sísmico. O primeiro ocorreu em setembro de 1936, depois que o nível d'água do reservatório atingiu a cota de 100m de altura. Em 1937, centenas de abalos foram registrados, quando a carga no reservatório e a cota atingida pelo nível d'água correspondiam respectivamente a 20.000 toneladas e 120m de altura. A maior atividade sísmica ocorreu em 1939, quando foi atingido o máximo nível d'água do reservatório, 145m de altitude.

Cerca de 10 anos após o enchimento do reservatório, numa área de cerca de 8.000 km³, ocorreram localmente 6.000 abalos, que foram de baixa intensidade (da ordem de 2). Já em 1939 ocorreu um choque de magnitude 5 e em 1942, dois abalos de magnitude 4, quando o nível do reservatório, temporariamente, havia atingido a altura aproximada de 150m.

As condições geológicas locais são complexas. Há na região granitos, gnaisses, xistos pré-cambrianos, rochas paleozóicas e rochas vulcânicas terciárias.

Várias falhas foram detectadas na região, uma delas ao norte, nas proximidades da barragem. A opinião de Carder é de que pode haver uma correlação definitiva entre a atividade sísmica local e a carga do reservatório. Entretanto, os terremotos podem ser considerados como uma recorrência de atividades Pliocênica ou Pós-Pliocênica, deflagrada ou estimulada pelo carregamento repentino do reservatório. Esta carga unicamente se aproveita do mecanismo já estabelecido por orogenia prévia.

b) Barragem de Kariba

Localiza-se na garganta do Zambese (a 16°32'S, 28°46'E) e foi construída sobre um ganisse biotítico foleado, pertencente ao escudo cristalino e sobre quartzitos de granulação média. O lago formado pela barragem é um dos maiores do mundo, com capacidade de 160 bilhões de m³. Sob o reservatório ocorreram numerosas falhas.

O enchimento do lago teve início em dezembro de 1958, sendo atingida a altura de 110m, em março de 1962.

Os primeiros abalos sísmicos, pouco numerosos, ocorreram em maio de 1959 e os abalos importantes, em julho e setembro de 1961. A atividade aumentou grandemente a partir de março de 1962. Importantes abalos ocorreram em 1962 e 1963. Notou-se que a magnitude e a frequência dos abalos aumentaram com a subida d'água do reservatório, cujo nível máximo foi atingido em 1963 (120m de altura em relação ao leito do rio) coincidindo com os maiores abalos -

sísmicos da região (magnitude acima de 6). Daí por diante houve um arrefecimento dos abalos, registrando-se entretanto alguns de certa magnitude: um de 4,1 em 1966 e outro de magnitude 5,5 em 1967.

Antes da construção da barragem, a região era considerada asísmica.

c) Barragem de Koyna

A barragem de Koyna (17° 23'N e 73° 45'E) está situada em região pré-cambriana (escudo cristalino) coberta pelos basaltos que formam os planaltos do Decan. Trata-se de região praticamente asísmica, apesar de alguns raros tremores ocorrerem espaçadamente neste território. A formação basáltica pe constituída por alternância de corridas de lava basáltica compacta, camadas finas de cinza, tufos e brechas com intercalações de argila. Os autores, que estudaram a matéria, não reconheceram falhamentos na região.

A barragem tem 103m de altura, com capacidade máxima do reservatório, de aproximadamente 3 milhões de m³. Em 1962, alguns meses após o início do enchimento do reservatório, a região - começou a manifestar certa sismicidade.

O volume do reservatório foi aumentado progressivamente até próximo do seu limite máximo. Em 1965, ocorreu um abalo de grande magnitude, com epicentro na região da barragem. As causas foram atribuídas a um reajustamento do maciço rochoso, devido a carga da água, tanto sobre a barragem em si, como também em uma zona a 10km à montante, considerada como tectonicamente fraca.

Em setembro de 1967, Mane, estudioso da região concluiu que os abalos sísmicos decresceriam dentro de alguns anos, para depois cessarem completamente. No mesmo mês foram registrados dois abalos importantes e em dezembro de 1967, um abalo de magnitude - 6,4 produziu o fissuramento da barragem e aproximadamente 200 mortes. Numerosos choques se sucederam, destacando-se um de magnitude 5,4 em 29 de outubro de 1968. Determinados os epicentros, constatou-se estarem eles sob o reservatório ou nas proximidades da barragem.

As conclusões sobre a origem desses abalos foram contraditórias. Autores há que eliminam o fator reservatório, acreditando tratar-se exclusivamente de fenômeno tectônico. Outros são de opinião que os abalos menores teriam como causa o preenchimento do reservatório e que os abalos maiores, estariam mais ligados a causas tectônicas (UNESCO). Ainda há aqueles que correlacionam o enchimento do reservatório com o recrudescimento das manifestações sísmicas da área.

4.3.3 - Considerações Gerais

Atualmente a opinião corrente é:

- a) os numerosos exemplos existentes mostram que a atividade sísmica deve estar associada a preenchimentos de reservatórios d'água.

Os sismos resultantes podem atingir magnitude 6,0 e conseqüentemente prejuízos importantes, inclusive a própria destruição da barragem.

- b) a atividade sísmica atinge magnitudes elevadas, quando o nível do reservatório sobe aproximadamente a 100m de altitude. A altura da coluna d'água tem papel mais importante que o volume do reservatório.
- c) contrariamente ao que ocorre com os sismos naturais, os abalos artificiais vão gradualmente aumentando de magnitude até atingir um máximo. Quanto mais asísmica a região, tanto mais demorado o processo. Após um máximo, a sismicidade sofre diminuição marcante após alguns anos.
- d) há indícios de que a ocorrência de sismos provocados artificialmente exigem condições geológicas especiais, pois nem todos os reservatórios d'água elevados (acima ou igual a 100m) produzem terremotos. O fissuramento do maciço de fundação - parece ter importância na deflagração de abalos sísmicos, quando permite a circulação de água sob pressão em zonas profundas.

5. Perfuração e Desmonte de Rochas: Trincheiras e Túneis

5.1 - Perfuração

A perfuração era efetuada inicialmente atritando-se - rochas duras sobre materiais mais brandos.

As ferramentas mais usadas eram as metálicas que permitiam, com a aplicação de cunhas, talhar grandes blocos de rocha. Modernamente perfura-se os maciços rochosos com ferramentas apropriadas constituídas de aços especiais.

A necessidade de extração volumosa de blocos de rocha, exigiu a utilização de explosivos o primeiro dos quais foi a pólvora. Com o passar do tempo foi substituída pela dinamite e outros tipos de explosivos. As ferramentas de perfuração foram sendo aperfeiçoadas introduzindo-se as máquinas perfuratrizes com brocas especiais (duríssimas) com ponta de carbetto de tungstênio.

Atualmente as perfurações são feitas também com jato

de chama, ultra-som, jato d'água, etc.

O maior progresso obtido na máquina perfuratriz ocorreu a cerca de 50 anos, quando foi possível desligar a broca do pistão, diminuindo, dessa maneira a perda de energia das peças "mortas" aumentando grandemente o rendimento.

5.1.1 - Perfuratriz de Percussão

As partes mais importantes da perfuratriz de percussão são as seguintes:

- a) sistema de percussão
- b) sistema de rotação e de limpeza
- c) avanço

a) Sistema de Percussão

Consta principalmente do cilindro dentro do qual se desloca o pistão. A alternância dos movimentos desta peça é obtida por intermédio de válvula que dirige o fluxo de ar. Foi possível simplificar este mecanismo tornando mínimos os movimentos recíprocos, por meio de uma válvula oscilante. Consta de um disco que oscila, estando apoiado sobre uma base em ângulo. Outro tipo muito usado, principalmente para perfuratrizes de pequeno diâmetro, é da válvula tubular, em forma de carretel e que se desloca segundo seu eixo. Entretanto, sua manutenção é muito complicada.

A velocidade de perfuração numa mesma rocha varia muito, dependendo do diâmetro da broca, do tipo de perfuratriz, da pressão do ar, etc.

Os melhores projetos de perfuratrizes que consideram todas as variáveis, inclusive o custo final de perfuração, custo de mão de obra, etc., dão um valor ideal de 83.000 golpes por metro de furo de 32mm de diâmetro. Perfuratrizes de 20kg podem perfurar 30 a 40 cm por minuto, as maiores de 30kg, chegam a perfurar 50 a 60 cm/min.

Tomando como índice = 1 o granito, a perfurabilidade de outras rochas poderá ser estabelecida conforme a Tabela abaixo.

Rochas duríssimas	hematitas, certos tipos de quartzitos. Índice = 0,5
Rochas duras	basaltos, granitos, intrusivas de granulação média a fina, gnaisses, Índice = 0,6 - 1,0
Rochas de dureza média	xistos, calcários, filitos, Índice = 1,0 - 1,5
Rochas brandas	calcários porosos, xistos e filitos alterados.

b) Sistema de Rotação e Limpeza

Tanto a rotação como a limpeza, facilitam a perfuração. As perfuratrizes de passo curto tem rotação mais rápida, com menos desgaste em solo não abrasivo. As perfuratrizes com passo longo tem a rotação mais lenta, sendo preferíveis para a perfuração de horizontes mais abrasivos.

A limpeza dos detritos do furo deve ser a mais perfeita e a mais rápida possível para se obter a máxima velocidade de penetração. Os dois sistemas básicos de limpeza são: ar e água.

c) Avanços

O avanço poderá a mão ou através de dispositivos especiais. Usa-se o avanço pneumático que substitui em parte a ação do marteleiro, melhorando a operação.

O avanço pneumático propriamente dito, consta essencialmente de um pistão de ar comprimido ligado à perfuratriz e que possibilita a ação do operador.

5.1.2 - Tipos de Perfuração

As perfuratrizes mais antigas são as que usam toda a energia para a percussão. Atualmente as mais usadas são as rotativas percussivas que consomem cerca de 80% de energia na rotação e o restante na percussão. Outros tipos de perfurações como: jato d'água, vibração e térmica são usadas em casos especiais.

A perfuração por jato d'água é utilizada em materiais muito brandos como carvão. No caso de materiais duros como cerâmicas especiais pode ser usada perfuração por vibração, que entretanto é de baixo rendimento. A perfuração térmica tem modernamente obtido certa aceitação. Baseia-se no fraturamento da rocha submetida a elevadas temperaturas. Na prática usa-se um bico queimador que produz temperaturas superiores a 2000°C, ligado ao bico há um dispositivo com jato d'água de refrigeração.

5.2 - Desmonte de rochas

O desmonte de rochas na construção civil é efetuado quase que exclusivamente por meio de explosivo. Para isto é necessário usar perfurações adequadas com um certo distanciamento.

A forma mais correta de se desmontar a rocha é feita por meio de uma bancada.

Dá-se o nome de bancada à forma que é produzida na rocha por meio dos fogos sucessivos e constantes, em três planos,

5.3 - Abertura de Valas

Segue-se em linhas gerais os mesmos princípios que aqueles do desmonte de bancadas. Escolhida a profundidade, a largura deverá ser a mínima no caso de servir para a implantação de adutora. Utilizando-se espoletas com intervalo de detonação de alguns milisegundos diminui-se o abalo nos edifícios próximos à escavação. Por outro lado, dessa forma, o material não é lançado a muita distância e inclusive observa-se melhor o cronograma da obra. A posição e distribuição dos furos devem seguir o esquema das Figuras 130 e 131.

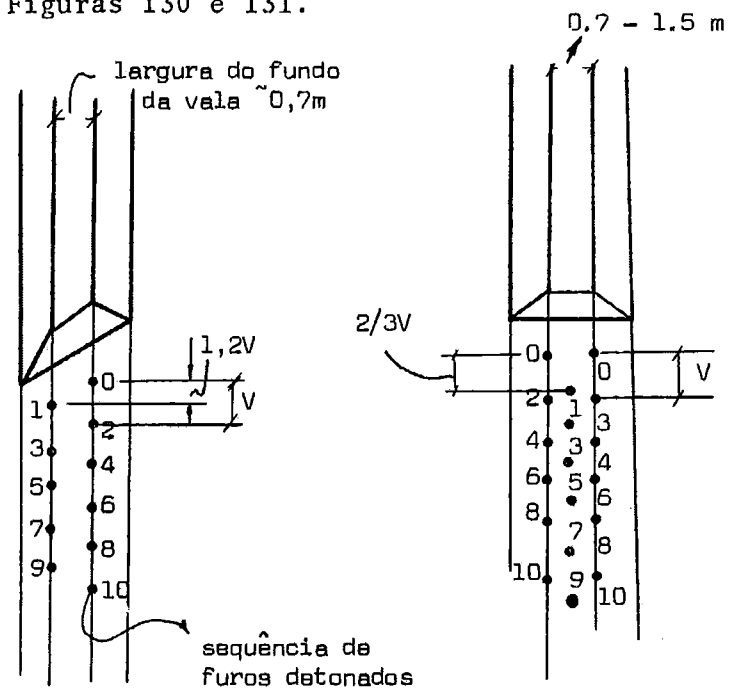


Figura 130 - Disposição dos furos e sequência de fogos.

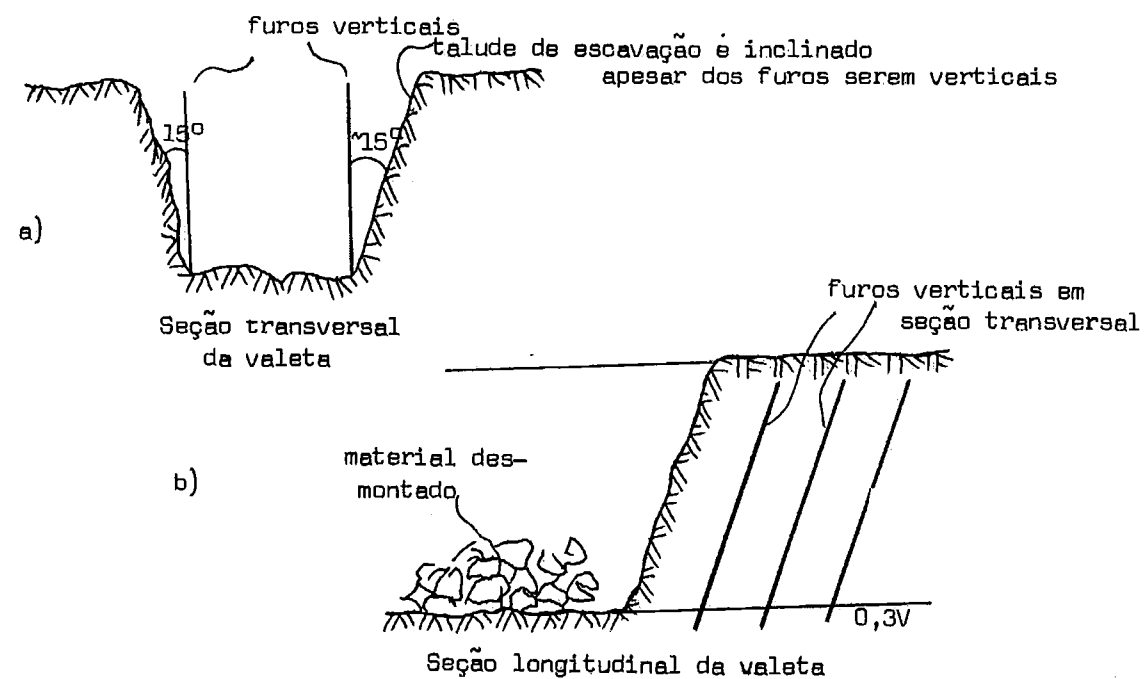


Figura 131 - Disposição dos furos

Para a abertura de valas em rochas, o carregamento será maior no fundo e menor na coluna conforme a tabela 20.

d mm	Carga fundo kg/m	Carga coluna kg/m	Tampão
32	1	0,25	0,6
50	2 a 2,5	0,60	0,9
62	3 a 3,9	0,90	1,1

Tabela 20

Devem ser tomados cuidados especiais com relação ao perigo que as pedras lançadas pelas detonações possam representar às construções vizinhas. Para evitar o lançamento de blocos à distância são usadas redes de cordas ou redes de aço bem entrelaçadas cobrindo a área de desmonte antes da explosão.

Na perfuração usam-se perfuratrizes manuais (de baixo rendimento) ou Wagon Drill (maior produção), ou ainda duas, três ou mais perfuratrizes sobre um Wagon Drill ou sobre uma armação, dispostos de forma a seguir o esquema de perfuração (jumbo).

A tabela 21 tem os elementos necessários para se definir um plano de fogo para abertura de valas.

Prof. vala m	Prof. furo m	Avanço (V) m			Carga de fundo				Carga de coluna em kg		
		d=32mm	50mm	62mm	d = 32mm d=50mm d=62mm				d=32mm	50mm	62mm
					B=0,7	B=1,5	B=1,1	B=1,4			
0,3	0,5	0,4	-	-	0,05	0,05	-	-	-	-	-
0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,10	0,10	0,25	0,35	-	-	-
0,9	1,1	0,8	0,9	1,0	0,12	0,20	0,30	0,50	0,08	0,10	-
1,2	1,4	0,8	1,1	1,2	0,15	0,25	0,40	0,50	0,15	0,20	0,75
1,5	1,8	0,8	1,2	1,5	0,20	0,30	0,50	0,80	0,25	0,45	0,40
1,8	2,1	0,8	1,2	1,5	0,25	0,35	0,60	0,80	0,30	0,60	0,70
2,4	2,7	0,8	1,2	1,5	0,30	1,40	0,80	1,00	0,40	0,90	1,00
3,0	3,5	0,8	1,2	1,5	0,40	0,55	0,90	1,25	0,60	1,35	1,80
3,6	4,2	0,8	1,2	1,4	0,50	0,70	1,10	1,50	0,70	1,70	2,30
4,2	4,8	0,7	1,1	1,4	0,60	0,90	1,40	1,75	0,80	2,00	2,80
4,8	5,4	-	1,1	1,3	-	-	1,00	2,00	-	2,30	3,20

Tabela 21 - Plano de fogo para abertura de valas por perfuração e detonação segundo forma convencional.

5.4 - Abertura de Poço em Rocha

A fim de se verificar diretamente as condições em que se encontra um maciço rochoso é frequentemente necessária a abertura de um poço ("Shaft").

Os poços de seções retangulares proporcionam maiores facilidades de operação requerendo menos escavação por área útil e melhores condições de escoramento. Os poços de seção circular tem maior resistência às deformações e oferecem melhores condições de aeração.

À título de exemplo, é apresentado um poço de seção quadrada de aproximadamente 1,5m de lado.

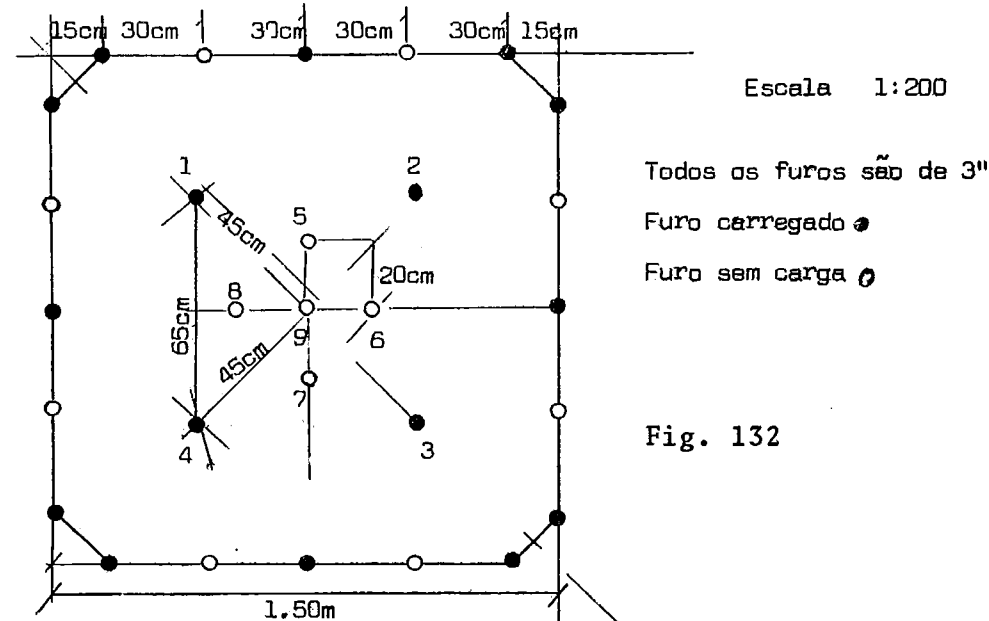


Fig. 132

Plano de fogo:

A fim de se obter superfície regular nas paredes da escavação é utilizado o pré-fissuramento ou "pré-splitting", isto é, os furos da borda são carregados alternadamente, conforme mostra a Fig. 132.

Sequência de passos para a escavação do poço mencionado:

- a) todos os furos são perfurados em toda a extensão (profundidade) do poço;
- b) todos os furos tem 3" de diâmetro (7,6cm);
- c) é realizado o ré-fissuramento em toda a periferia e em toda a profundidade do poço. Razão de carregamento = 250 a 300g/cm³;
- d) a escavação é feita em trechos de 2, no início (3 primeiras detonações) e em seguida em trechos de 3m;
- e) três cargas de gelatina são usadas em cada avanço, 2 no fundo e 1 na coluna.

Observações:-

- a) os furos centrais 5, 6, 7, 8 e 9 permanecem abertos e são cheios de areia e devem ser soprados (eliminada a areia) nos trechos de cada avanço.

- b) eventualmente ao invés de se carregar um dos furos 1, 2, 3 e 4, carrega-se um dos furos centrais mais próximos (5, 6, 7 ou 8).
- c) em cada furo usa-se três banas de gelatina (GE) de 2 1/4 x 12" em cada furo, sendo 2 no fundo e 1 na coluna.
- d) explosivo utilizado é Gelatina Especial a 40%.

5.5 - Túneis

5.5.1 - Introdução

A escavação de túneis, bem como, qualquer escavação subterrânea, apresenta sempre dois problemas: a perfuração em si, isto é, o desmorte propriamente dito e a construção de revestimento (quando necessário). Tais trabalhos são realizados por etapas progressivas e avanços restritos. Procura-se multiplicar os avanços em curto espaço de tempo para obter um rendimento adequado. Assim, nos túneis procura-se avançar nas duas extremidades e, quando possível, abrem-se outras frentes de ataque (túneis laterais secundários) denominados janelas para um progresso mais rápido de escavação. Para o mesmo fim poderão ser abertos poços que ainda servirão como elementos de aeração das galerias.

5.5.2 - Escavação propriamente dita

A seção inicial do túnel terá maior ou menor área - conforme a constituição do maciço que será escavado. Quando o terreno é de baixa coesão, a seção é reduzida a poucos metros quadrados e quando em rocha sã a seção poderá ter várias dezenas e até excepcionalmente centenas de metros quadrados. Em terrenos moles são usados os "shields", escudos especiais que permitem o avanço da escavação sem que haja colapso das paredes.

Para definir os vários métodos de trabalho é importante usar uma classificação dos terrenos a serem perfurados. Uma classificação simples e prática é mencionada a seguir:

- I. Rocha sã emprego de explosivos. Nessa classificação se enquadram as rochas pouco alteradas (ígneas ou metamórficas) pouco fraturadas e intactas. O avanço poderá se realizar a grande seção, sem escoramento.
- II. Rocha alterada ígnea ou metamórfica e/ou sedimentos rijos e compactos (pouco fraturados) não exigindo o uso de explosivos.
- III. Terreno de rocha ígnea ou metamórfica excessivamente alterado e/ou excessivamente fraturado ou de rochas sedimentares com baixa coesão.

IV. Terrenos de material mole, orgânico, ou argiloso, ou silto-
sos, ou arenoso, saturado ou seco, de sedimentos marinhos,
lagunares ou fluviais, ou ainda eólicos e glaciais.

Caso I:

O avanço se faz a plena seção sem escoramento. Entretanto, em certos trechos poderão ocorrer zonas mais fraturadas, falhadas ou até mesmo bolsões de material dissolvido ou muito alterado. Nesta situação é corrente o uso de escoramento, metálico ou de madeira. O primeiro é mais eficiente pois poderá ser incorporado ao concreto de revestimento com um melhor aproveitamento da seção escavada. Para este fim são usadas cintas metálicas de perfil adequado (geralmente em I) para se obter uma resistência às pressões que as paredes deverão suportar.

Nos casos em que se pretende reter blocos capazes de se desprender das paredes em razão da descompressão no interior das galerias, poder-se-á utilizar chumbadores ou tirantes que fixam placas ou rede metálica. O comprimento dos tirantes deverá sempre ultrapassar a zona de descompressão das paredes da escavação. Os tirantes comuns possuem um comprimento de 2,5 a 3m, entretanto poderão eventualmente serem mais longos com comprimentos de 6 até de 10m.

Casos II e III:

Galerias de seção transversal de 10 a 15m² são usualmente abertas a seção reduzida ou seção plena de degraus de avanço, a começar de cima para baixo conforme mostra a Fig. 133. (a. seção longitudinal; b. seção transversal).

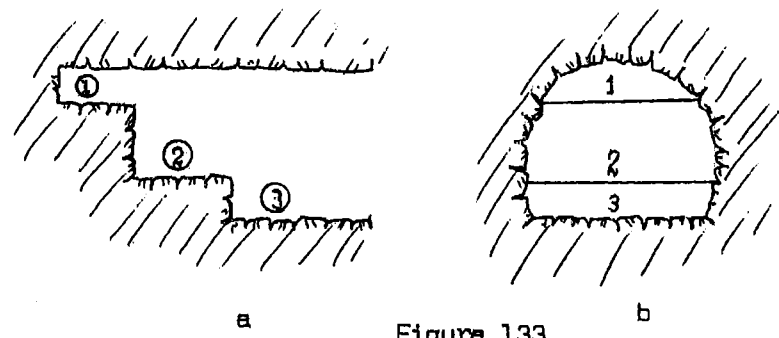
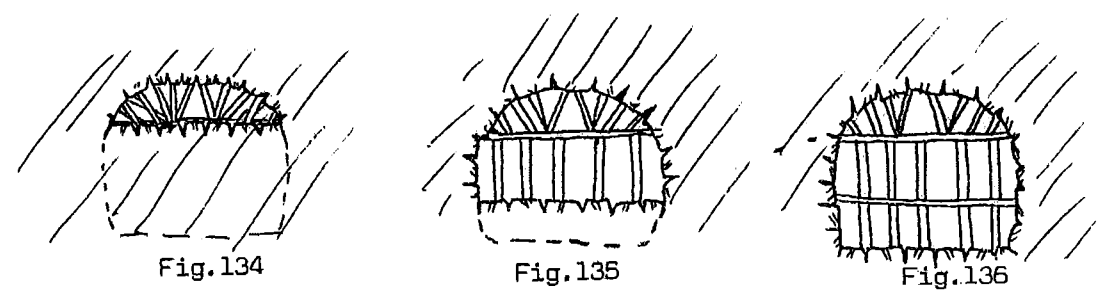


Figura 133

Da mesma forma o escoramento deverá ser colocado de cima para baixo em etapas apoiando a parte superior.



Trecho de escavação frontal Trecho de escavação média Trecho de escavação recuada
na parte média e inferior como mostram as Figs. 134 a 136.

Nas galerias de maior seção, para facilitar a remoção do material escavado sem perturbar as frentes de escavação - dos degraus inferiores, poderá ser aberta uma pequena galeria auxiliar, g, na soleira da escavação conforme mostra a Figura 137 (a e b).

Pelo poço p o material escavado em l, é lançado em g.

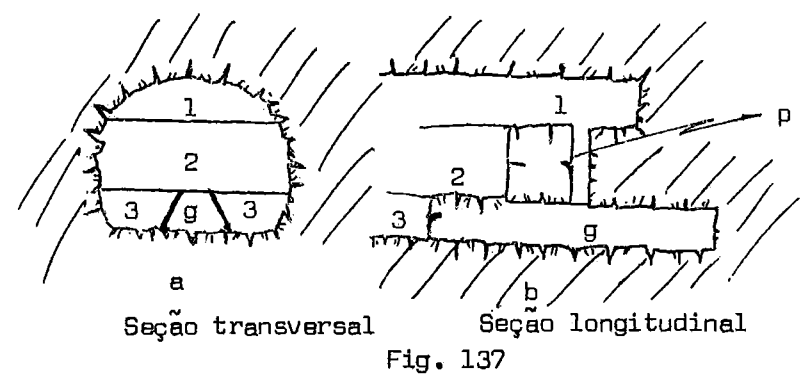


Fig. 137

O revestimento é executado ao contrário do escoramento, e em seqüência a este, de baixo para cima, começando com o pé direito e terminando na abóbada. Pode-se às vezes executar em uma só operação todo o revestimento tanto do pé direito como da abóbada, por túneis metálicos. Isto só é possível quando o terreno é suficientemente resistente sem necessidade de escoramento.

Há outros tipos de escavação de túneis que são mencionados em trabalhos especializados.

Caso IV:

Os terrenos moles são assunto da Mecânica dos Solos.

5.5.3 - Escavação de Túnel em Rocha

A escavação do túnel em rocha segue aproximadamente o mesmo esquema que a escavação de poço já mencionada.

Geralmente os furos de dentro da escavação são inclinados e convergentes (pilão) os restantes são normais à parede de escavação. Os melhores resultados do desmonte, são obtidos com a escolha adequada do diâmetro, comprimento e inclinação dos furos, bem como da carga. O princípio, idêntico ao empregado no caso das trincheiras e dos poços reside em obter as detonações - numa certa sequência usando espoletas de micro-retardo, partindo do centro e caminhando para a periferia da escavação. Após vários desmontes de rocha, numa certa região, poder-se-á escolher adequadamente um plano de fogo a ser utilizado na escavação da galeria que ofereça melhores condições de avanço e economia. Certos pilões possuem na parte central furos sem carga com a finalidade de descomprimir o maciço e facilitar a expulsão do pilão ao ser iniciado o desmonte na frente de escavação.

6. Materiais de Construção

6.1 - Introdução

Nos nossos dias, com o crescente avanço da tecnologia, os materiais naturais vem sendo cada vez mais empregados nas obras de engenharia e na indústria de transformação. A aplicação das diversas matérias primas está condicionada às suas propriedades mecânicas e químicas, cujo conhecimento é necessário quando se deseja selecionar materiais para um determinado fim.

O material pode ser empregado diretamente como é extraído ou depois de submetido a beneficiamento. No primeiro caso, encontramos os depósitos superficiais usados como material de empréstimo para aterros em estradas e na construção de barragens de terra, areia e cascalho; no segundo caso, temos: as britas, as rochas trabalhadas na forma de lajes e blocos e as matérias primas para as indústrias de cerâmica e de cimento, etc.

Os materiais para serem utilizados devem ser identificados, empregando-se para isso, métodos que variam de acordo com a natureza e o fim a que se destinam. Como tais materiais geralmente são constituídos de uma mistura de diversas partículas menores - (cristalinas ou não), ora devem ser analisadas as partículas separadamente e ora como um todo. Por exemplo, quando analisamos a granulometria de uma areia para uso em filtros, obtem-se resultados como um todo. Todavia, a sua utilização para esta finalidade dependerá de uma análise específica das características de solubilidade dos minerais encontrados na areia, pois constitui uma propriedade de indesejável nos materiais para tal aplicação.

As propriedades dos materiais são determinadas pelos ensaios de laboratório efetuados em amostras que deverão ser representativas de uma jazida ou maciço rochoso. A amostragem pode ser efetuada tanto em superfície como na sub-superfície e segue técnicas padronizadas, que variam de acordo com o tipo de rocha e a finalidade a que se destina.

Dentre todas as matérias primas extraídas da crosta terrestre, as empregadas na construção civil ocupam o primeiro lugar em tonelagem. Para se formar uma idéia de quantidade, entre brita, areia e cascalho usados para diversos fins, só nos Estados Unidos foram consumidos perto de 1,8 bilhões de toneladas em 1967.

Os materiais de construção podem ser classificados em dois grupos: materiais naturais e materiais industrializados.

Materiais Naturais: Rochas para revestimentos e Agregados.

Materiais Industrializados: Cimento, cal, gesso, vidro e materiais que empregam argilas. Não se tratará desse assunto neste ítem, pois é um capítulo a parte que necessita, além dos conhecimentos geológicos, conhecimentos de processos industriais complexos, para obtenção dos materiais segundo as especificações exigidas.

Tratar-se-á, pois, dos Materiais Naturais não industrializados que são as rochas para revestimento e os Agregados.

6.2 - Materiais Naturais

6.2.1 - Rochas para Revestimento

Nesta classe, enquadram-se todas as rochas extraídas na forma de blocos, lajes, etc., que são empregadas em revestimentos, ornamentação e pisos, devendo portanto possuir como qualidades básicas, beleza e durabilidade. Mármore, granitos, quartzitos, gnaiesses e arenitos constituem os principais tipos de rochas de construção.

A extração dessas rochas tem que ser feita com cuidados especiais para se obter blocos e lajes com dimensões adequadas. No maciço rochoso a ser explorado, necessita-se fazer um estudo prévio do sistema de fraturamento e estratificação, porque justamente essas discontinuidades servirão como planos de desmontes. No caso dos quartzitos estratificados, a extração se faz através de cunhas e alavancas aplicadas nestes planos e muitas vezes com explosivos de baixa potência. No caso dos granitos, os blocos podem ser retirados através de uma série de furos verticais e horizontais alinhados e estreitamente espaçados, e também com o uso de explosivos de baixa potência.

Emprega-se procedimento semelhante, ou então usam-se cabos e serras especiais para rochas, para extrair blocos de mármore, que posteriormente são serrados em várias placas.

Para uso em Cantaria, os materiais devem ter:

- a. Trabalhabilidade: a rocha deve apresentar facilidade de afeição, isto é, pode ser reduzida a formas e dimensões adequadas para o uso em um determinado fim. Influem na trabalhabilidade as discontinuidades estruturais, físicas e a dureza da rocha.
- b. Durabilidade: a rocha deve apresentar características que lhe permitam uma grande dureza e manutenção das condições es

téticas que recomendam o seu emprego.

- c. Resistência Mecânica: este fator é secundário uma vez que as rochas normalmente usadas em cantaria apresentam resistência compatíveis com as exigidas para este uso.

No tocante à aparência, esta é influenciada pelas preferências dos consumidores, o que, aliado aos fatores anteriormente mencionados, consagraram certos tipos de rocha para utilização em cantaria.

Os agentes que normalmente afetam a durabilidade e a aparência das pedras de cantaria são de natureza física, química e biológica ou a interação destes.

O principal agente físico é a variação da temperatura que agindo sobre minerais de diferentes coeficientes de dilatação levam ao enfraquecimento da pedra.

Os agentes químicos principais são aqueles contidos no ar e na água que entram em contato com os minerais constituintes da pedra. Ex.: SO₂ do ar, proveniente da queima de combustíveis dissolve-se na água da chuva formando ácido sulfúrico que ataca os carbonatos dando sulfato de cálcio, que se cristaliza com o aumento de volume produzindo tensões internas que levam ao enfraquecimento e posterior desagregação da pedra.

Os agentes biológicos comuns são bactérias e musgos que se fixam nos poros e fissuras das pedras e eliminam substâncias que reagem com os minerais colaborando na desagregação.

6.2.2 - Agregados

Entende-se por agregados o material granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil

a. Classificação dos Agregados

Os agregados podem ser classificados do ponto de vista da sua origem e, neste caso, podemos dividi-los em naturais e artificiais.

São naturais aqueles que já se encontram na natureza sob a forma de agregados. Ex.: areias de jazimentos naturais e cascalhos.

Denominam-se artificiais aqueles que necessitam de um trabalho de afeição pelo homem para preencher as condições de uso como agregado. Ex.: areias e pedras obtidas pelo processo de britagem.

Percebe-se, pelas definições acima, que o termo artificial é aqui empregado quanto ao modo de obtenção e não com relação ao material em si.

Outra classificação é a que leva em consideração a massa específica aparente, de onde temos: agregados leves (pedra pomes, vermiculita, argila expandida, etc.); agregados pesados (barita, magnetita, limonita, etc.), e agregados normais (areias, cascalhos e pedras britadas).

Para fins de utilização, a classificação mais importante, entretanto, é aquela que leva em consideração o tamanho dos agregados, independentemente de sua natureza ou origem. Assim temos:

1. agregado graúdo: aquele cujo diâmetro mínimo é superior a 4,8 milímetros, com tolerância de 15%;
2. agregado miúdo: aquele cujo diâmetro máximo é igual ou inferior a 4,8 milímetros.

Dentre os agregados temos: rocha britada, areia e cascalho.

1º) - Rocha Britada

Os blocos de pequena dimensão são retirados com explosivos potentes, e em seguida transportados para britadores (geralmente de mandíbula) que os trituram em fragmentos de várias dimensões e logo após selecionados granulometricamente através de peneiras. As rochas comumente usadas são: basalto, diabásio, granito, calcário, dolomitos e alguns gnaisses. O emprego dessas rochas como brita numa determinada região, além das características de qualidade, depende da proximidade do local de consumo, que é um fator econômico fundamental devido ao alto custo do transporte.

2º) - Areia e Cascalho

São materiais detritícos resultantes da decomposição de rochas que sofreram processo de intemperismo e que se acumularam em depósitos sedimentares pela ação de agentes transportadores naturais.

Como areia e cascalho constituem materiais detritícos, são muito resistentes aos processos normais de intemperismo. Salvo condições especiais, geralmente são constituídos de granulos de quartzo (areia) e fragmentos de quartzo, de arenitos silicificados e de quartzitos (cascalho).

A areia é extraída diretamente do depósito, através de pás, máquinas escavadeiras ou ainda com dragas.

A aplicação da areia é muito ampla, sendo determinada principalmente pela sua distribuição granulométrica e pureza. Como exemplo de suas aplicações, além da construção civil, citamos: fundição (moldes), filtros e abrasivos.

Na construção civil, a aplicação da areia está em função do tamanho dos grãos, da distribuição granulométrica e dos tipos de impurezas. As areias grossas com pouco teor de argila são usadas em concretos; areias finas com relativo teor de argila são empregadas em argamassas. As areias usadas em concreto, entre outras especificações, não podem conter grande quantidade de feldspato, de calcedônia, de sílica amorfa, etc., pois reagem com o cimento alterando suas propriedades.

Nos filtros, as propriedades mais importantes são: seleção granulométrica, arredondamento e ausência de materiais solúveis (sais).

b. Características dos Agregados em Função da Aplicação

Os agregados tem o objetivo, na maioria das obras, de contribuir para a redução do custo, resistir aos esforços solicitantes (mecânicos e químico), reduzir as variações de volume de quaisquer naturezas, etc.

Dentre as finalidades a que se destinam os agregados - cita-se aqui apenas quatro, que se considera de maior importância, que são: concretos para edificações, pavimentação betuminosa, enrocamento de barragens e lastro de ferrovias.

1º) Para emprego em concreto de cimento Portland os agregados devem:

1. ser resistentes mecanicamente para superarem as solicitações de atrito e impacto, que sofrem na mistura em betoneira e no adensamento, que se faz por meio de soquetes e vibradores, de modo a não produzirem quantidade de finos capaz de reduzir a resistência do concreto;

2. suportar satisfatoriamente as solicitações de tração e compressão sofridas pelo concreto em obras de grande vulto. Ensaio de compressão simples, com amostras de pedreiras de basalto e diabásio macroscopicamente são da região, deram valores de resistência à ruptura entre 1.600 kg/cm² e 3.000 kg/cm², de acordo com o microfissuramento e a incipiente alteração, na maioria das vezes observáveis apenas em microscopia petrográfica;

3. provirem de rochas inertes, isto é, não conterem determinados minerais em quantidade tal que possam provocar reações com álcalis do cimento, evitando, portanto, expansões excessivas capazes de levar o concreto à destruição. Nos basaltos é comum encontrar amígdalas de zeólitas. Esse mineral reage com os álcalis do cimento, resultando um gel de sílica com a propriedade de absorver grandes quantidades de água e por conseguinte, sofrer expansão que torna quebradiço o concreto. Este fenômeno aparece depois de algum tempo, meses ou anos, como no caso da barragem de American Falls (Idaho, EUA), onde apareceu gel esbranquiçado nas rachaduras, depois de 11 anos de construída. Basaltos com estrutura vítrea-cristalina reagem também. Areia com opala e calcedônia reagem com a sílica. Como exemplo cita-se areia de um porto do Rio Mogi-Guaçu, que deu problemas na construção da Estação de Tratamento de Água de São Carlos, tendo sido embargada a extração da mesma;

4. serem duráveis, isto é, não se alterarem com facilidade quando expostos ao ar, a água e às variações de temperatura; devem, portanto, apresentar baixa porosidade, para evitar a ação destruidora da água de adsorção, e não conter minerais que apresentem expansões excessivas pela ação da água, para evitar sua desagregação e, por consequência, não destruir o concreto com eles confeccionados; basaltos com incipiente alteração produzem uma camada superficial de montmorilonita, que absorve água e se expande;

5. estarem isentos de impurezas tais como: a) matéria orgânica em teores tais que inibam a hidratação do cimento, impeçam a cura adequada e provoquem a queda da resistência mecânica e durabilidade do concreto. Areias de alguns portos de extração do Rio Mogi-Guaçu, ficam contaminadas quando na época da moagem da cana para fabricação de açúcar, as usinas lançam o resíduo no rio. Observando-se a areia não se vê matéria orgânica através da coloração, como era de se esperar. Todavia, ela reveste os grãos com uma película transparente, imperceptível e para determiná-la deve-se fazer o ensaio específico para matéria orgânica. b) sulfetos ou sulfatos que em presença de água e cimento provocam expansões levando a um empobrecimento das características e à desintegração dos concretos; algumas areias da cidade de São Paulo, próximas aos rios Pinheiros e Tietê, podem conter marcassita que se oxida rapidamente, quando exposta às intempéries, dando manchas escuras no concreto. c) materiais pulverulentos, que aderidos à superfície, do agregado impedem uma melhor aderência da pasta, além de exigirem aumento do consumo de água, baixam a resistência do concreto pela queda de sua densidade;

6. apresentar forma a mais equidimensional possível para diminuir o consumo de areia e cimento e aumentar a trabalhabilidade e resistência do concreto.

2º) Os agregados que se destinam a finalidades rodoviárias - devem:

1. ter boa resistência à abrasão e ao impacto para superarem as solicitações sofridas pelo avanço das rodas dos veículos; os calcários são rochas que não se prestam para esta finalidade, porque se desgastam e ficam lisos rapidamente, tornando o pavimento escorregadio, muito embora apresentem bons índices de resistência à abrasão e ao impacto.

2. ter boa resistência à compressão para suportarem o peso dos veículos e distribuírem as forças, com eficiência, para as camadas inferiores do pavimento;

3. ser duráveis, resistindo, portanto, às ações intempéricas e apresentar inércia química aos ligantes, bem como baixo coeficiente de expansão;

4. apresentar boa adesividade a ligantes betuminosos, isto é, ser constituída de minerais com características hidrofóbicas (básicas) que evitam a criação de película de água nas suas superfícies impedindo uma melhor adesão do betume;

5. apresentar formas as mais equidimensionais possíveis, para diminuir o consumo do ligante e resistir melhor às solicitações mecânicas de impacto ou compressão.

3º) Os agregados que se destinam ao emprego em enrocamento de barragens devem:

1. apresentar boa durabilidade, para resistirem satisfatoriamente aos ciclos de saturação e secagem a que estarão submetidos e nem serem solubilizadas em presença de água; os basaltos compactos tem sido usados em enrocamento, constituindo-se em boa rocha para esta finalidade;

2. ser resistentes aos impactos das ondas na face montante dos aterros;

3. apresentar formas equidimensionais de modo a não diminuir a resistência ao cisalhamento a que estarão submetidos.

4º) Para aplicação em lastros de ferrovias os agregados devem:

1. ter boa resistência ao impacto, para resistir aos instrumentos de compactação no processo de nivelamento da pista;
2. apresentar elevada resistência à abrasão, para evitar a moagem consequente da passagem dos veículos e da movimentação horizontal dos trilhos pelo efeito da dilatação devido às variações de temperatura;
3. ter boa resistência à compressão, para resistirem aos esforços verticais, provocados pelo peso dos veículos, e distribuí-los para o sub-leito da estrada;
4. serem duráveis, pois ficam expostos ao ar, para resistirem às ações intempéricas, impedindo a formação de finos (que também podem se formar por ações mecânicas) evitando assim, a obstrução dos espaços vazios entre os grãos, necessários para uma boa drenagem.

6.3 - Exploração de Materiais Rochosos de Construção

O desenvolvimento dos trabalhos de prospecção de materiais rochosos de construção dependem das características das jazidas, as quais podem ser resumidas em condições geológicas e situação geográfica.

As características geológicas implicam na reserva e qualidade tecnológica da rocha, topografia do local, espessura do regolito ou cota do topo do maciço, posição do lençol freático, presença de discontinuidades físicas e mineralógicas no maciço, etc. Estes fatores definirão a viabilidade técnico-econômica da exploração.

A situação geográfica implica na distância fonte-consumidor e facilidade de acesso, pois haverá o custo adicional do transporte, fator que pode interferir nas características de projeto de uma obra.

A reserva deve, obviamente, satisfazer às necessidades do consumo que se prevê para uma obra ou para o atendimento de um mercado. Por exemplo, a Barragem de Capivara necessitou 7,5 milhões de m³ de terra e 200.000 m³ de areia.

As características tecnológicas devem ser adequadas ao uso que se pretende com o material e, portanto, não basta que as amostras coletadas tenham uma boa qualidade mas, também, que esta seja homogênea na jazida.

A topografia deve ser de tal forma que permita uma fácil extração e um rápido escoamento do material, pois uma topografia muito elevada dificulta a extração e a circulação dos equipamentos de lavra e transporte, outrossim, uma topografia muito baixa levaria à necessidade de extração abaixo do nível de base topográfico o que é inviável técnica e economicamente para materiais do tipo em questão.

A espessura do regolito ou cota do topo do maciço - incide no custo dos trabalhos de remoção do capeamento e na determinação da reserva.

A posição do lençol freático deve ser levada em consideração, pois, uma vez atingido no processo de extração pode dificultar ou mesmo paralisar os trabalhos.

As discontinuidades físicas ou mineralógicas tem sua influência no processo de extração. Presença, por exemplo, de diaclases adequadamente espaçadas pode facilitar a extração dos blocos que se destinam à cantaria ou que serão levados ao britador para produção de agregados. As discontinuidades para a cantaria e meios-fios e paralelepípedos para calçamentos.

6.4 - Pesquisa, Prospecção e Relatório Informativo

Menciona-se a seguir uma sugestão de procedimento - geral para pesquisa e prospecção de material rochoso de construção e, em linhas gerais, os dados que devem conter o relatório - informativo.

6.4.1 - Pesquisa

A pesquisa deste tipo de material deve ser antecedida de uma análise de fotografias aéreas. Em seguida pode-se traçar um círculo em torno do local da obra ou do centro urbano consumidor, assinalando-se as ocorrências de interesse, efetuando-se uma amostragem para ensaios preliminares (análise petrográfica e um ensaio mecânico, por exemplo: resistência à abrasão). Caso não seja viável sua exploração aumenta-se o raio do círculo, estudando-se a nova área acrescentada.

6.4.2 - Prospecção

Uma vez definida uma ocorrência que se mostre promissora a partir das análises preliminares sobre amostras representativas, procura-se determinar a espessura do capeamento a ser removido e a determinação da reserva. Um processo que tem sido aplicado com resultados satisfatórios e de baixo custo, nesta fase, é a prospecção geofísica. A partir dos dados dela obtidos po

de-se estipular o número e a melhor distribuição das sondagens - mecânicas.

As sondagens mecânicas rotativas permitirão uma apreciação qualitativa do material (estrutura, textura, cor, fraturamento, estado de alteração, perturbações tectônicas, etc.). O diâmetro das sondagens variará segundo o tipo litológico; para rochas basálticas e gnáissicas, pois estas são mais homogêneas estruturalmente. A profundidade das sondagens vai depender do volume de material desejado e também do tipo litológico pois, por exemplo, deve ser mais profunda em basaltos do que em granitos e gnaisses devido aos problemas estratigráficos e de fraturamentos mais intensos nos basaltos.

As sondagens mecânicas poderão, em linhas gerais, seguir as proposições da A.P.G.A.; que se seguem:

- a) execução de sondagem com trado cavadeira e ensaio de penetração;
- b) execução de sondagem com trado espiral e ensaio de penetração;
- c) execução de sondagem à percussão e lavagem com ensaio de penetração;
- d) sondagem rotativa.

Estas sondagens fornecerão elementos que permitirão:

- a) correlação com as sondagens geofísicas;
- b) cubagem de jazida;
- c) determinação do volume de estéril;
- d) evidenciar a homogeneidade da rocha;
- e) obtenção de amostras para ensaio de laboratório.

6.4.3 - Relatório Informativo

Após a execução dos trabalhos deve-se efetuar o relatório informativo contendo principalmente as seguintes informações:

- a) geologia da região em questão;
- b) registro e localização das ocorrências da região;
- c) características essenciais da rocha a ser explorada, tais como:
 - estrutura (gnáissica, xistosa, maciça, estratificada)
 - textura (dimensão e arranjo dos grãos)

- fraturamento (número de fraturas/metro) e sistema de fraturamento
- alteração
- contatos e perturbações tectônicas

- d) dificuldades de escavação e possibilidades de desenvolvimento de desmoronamentos;
- e) nível d'água (posição do lençol freático);
- f) tamanho máximo dos fragmentos de rocha a serem obtidos no desmonte.

6.4.4 - Ensaio de Caracterização Tecnológica

Antes de se utilizar os agregados numa construção - civil deve-se proceder a uma caracterização tecnológica dos mesmos para determinar suas propriedades e, em função dos dados obtidos, aprovar ou rejeitar a sua aplicação para uma ou outra finalidade.

As propriedades cujos conhecimentos são necessários para uma perfeita avaliação da qualidade do material, são:

1. Químicas

- a) composição química
- b) reatividade potencial
- c) durabilidade

2. Físicas

- a) pesos específicos
- b) porosidade
- c) permeabilidade
- d) absorção d'água
- e) dilatação térmica
- f) dureza
- g) coeficiente de Poisson
- h) módulo de elasticidade

3. Petrográficas

- a) composição mineralógica
- b) estrutura e textura
- c) forma dos fragmentos

4. Mecânicas

- a) resistência à compressão
- b) resistência à tração
- c) resistência ao desgaste ou abrasão

BIBLIOGRAFIA

- (1) "Engineering classification of jointed rock masses" - Z.T. Bieniawosky - 1973 - The Civil Engineering in South Africa, dec. p. 335-343.
- (2) "Classificação de Maciços Rochosos" - C. M. Nieble e F.O. Francis - 1976 - Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - ABGE.
- (3) "Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks" 1976.
- (4) "Rock Mechanics in Engineering Practice"- K.G. Stagg e O. C. Zienkiewez - 1968 - John Wiley and Sons.
- (5) "Mecânica das Rochas" - Manuel Rocha - 1971 - Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal - LNEC.
- (6) "Principles of Engineering Geology and Geotechnics" - D. Krynine & W. Judd - 1957.
- (7) "Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica" M. Ricci e S. Petri - 1965 - Ed. Nacional.
- (8) "Diretrizes para execução de sondagens" - A.P.G.A. - 1971.
- (9) "Amostragem e Reconhecimento do Sub-solo" - J.B. Nogueira - 1977 - Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- (10) "Introductory Soil Mechanics and Foundations" - G.B. Sowers and G.F. Sowers - 1970 - MacMillan Co. New York.
- (11) "Principles of Applied Geophysics" - D.S. Parasnis - 1962 - Methuen and Co.
- (12) "Hydrogeologie" - G. Bogomolov - 1950 - Ed. de La Paix. Russ.
- (13) "Água Subterrânea e Poços Tubulares" - 1969 - Organização Pan-Americana de Saúde - FE-UFP - Tradução.
- (14) "Estudo de Águas Subterrâneas" - 1972 - DABE-SP.
- (15) "Iº Simpósio de Recursos Hídricos Subterrâneos" - São Carlos-1972.
- (16) "Environmental Geoscience" - A.N. Strahler & A.L. Strahler - 1973.
- (17) "Cities and Geology" - by Robert F. Legget - 1973 - McGraw-Hill, Inc.
- (18) "Condicionamentos Geológicos em Obras Cíveis" - Ricardo Oliveira - 1973 - Curso da Escola Politécnica da USP-

- (19) "Principles of Engineering Geology" - by P.B. Attewell & I.N. Farmer. John Wiley & Sons.
- (20) "Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação" - G. Guidicini & C. Nieble - 1976 - Ed. Edgard Blücher Ltda.
- (21) "Técnica Moderna de Voladuras de Rocas" - V. Langefors e B. Kihlström - 1963 - Urmo Editora.
- (22) "Manual de Desmonte de Rochas da Atlas" - COPCO.
- (23) "Swedish Blastof Technique" - Rune Gwstafsson - 1973 - SPI-Sweden.
- (24) "Contribuições ao Conhecimento das Características Tecnológicas de Materiais Rochosos" - Yoshida, R. - 1973. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da USP.
- (25) "Sugestão de Roteiro e Escolha de Ensaios Tecnológicos em Materiais Rochosos" - Yoshida, R. e outros - 1972 - Anais da 4ª Semana Paulista de Geologia Aplicada, Tema VIII, São Paulo.
- (26) "Características Tecnológicas de Rochas do Estado de São Paulo" - 1966 - I.P.T., Bol. nº 50.
- (27) "Ensaio de Laboratório em Geologia" - Gandolfi N. e outros-1975.
- (28) "Materiais de Construção no Estado de São Paulo" - Departamento de Engenharia de Minas, EPUSP - 1971.

Capítulos:

- XI. DESCRICÃO GEOLÓGICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS
(1), (2), (3)
- XII. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MACIÇOS ROCHOSOS
(4), (5), (6)
- XIII. PROSPECÇÃO GEOLÓGICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS
(7), (8), (9), (10), (11)
- XIV. ÁGUA SUBTERRÂNEA
(6), (12), (13), (14), (15)
- XV. APLICAÇÕES DA GEOLOGIA A PROBLEMAS DE ENGENHARIA CIVIL
(16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27) e (28)