

	<p style="text-align: center;">PROJETO GEOTÉCNICO</p> <p style="text-align: center;">Procedimento</p>	<p style="text-align: center;">02.432</p> <p style="text-align: center;">NBR 8044</p> <p style="text-align: center;">JUN 1983</p>
---	--	--

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Normas complementares
- 3 Definições
- 4 Desenvolvimento do projeto
- 5 Investigações geotécnicas
- 6 Escavações a céu aberto
- 7 Aterros
- 8 Fundações de estruturas
- 9 Escoamentos e arrimos
- 10 Drenagem, esgotamento e rebaixamento
- 11 Estruturas enterradas
- 12 Túneis em solo e em rocha
- 13 Barragens e estruturas anexas
- 14 Pavimentos
- 15 Estabilização de taludes naturais
- 16 Desempenho de obras
- 17 Apresentação dos resultados

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis a serem observadas nos estudos e serviços necessários ao desenvolvimento de projetos geotécnicos, em especial daqueles integrantes de projeto de obras de engenharia civil em que a interação estrutura-terreno (ou geometria-terreno) seja relevante no desempenho das referidas obras.

1.2 Não se incluem entre aquelas condições, critérios de estudo, de cálculo ou de projeto, nem diretrizes específicas. Sempre que o estado da técnica tornar conveniente, a presente Norma pode ser complementada por normas particularizadas aos tipos de estruturas envolvidas.

Origem: ABNT — 02:004.01-001/82

CB-02 — Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:004.01 — Comissão de Estudo de Projeto Geotécnico

<p style="text-align: center;">SISTEMA NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL</p>	<p style="text-align: center;">ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS</p> <p style="text-align: center;">©</p>
<p>Palavras-chave: projeto geotécnico.</p>	<p style="text-align: center;">NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA</p>

CDU: 624.131

Todos os direitos reservados

58 páginas

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 6121 - Prova de carga em estacas - Procedimento

NBR 6122 - Projeto e execução de fundações - Procedimento

NBR 6458 - Determinação da absorção e das massas específicas aparentes e dos grãos de pedregulhos retidos na peneira de 4,8 mm - Método de ensaio

NBR 6459 - Determinação do limite de liquidez dos solos - Método de ensaio

NBR 6484 - Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos - Método de ensaio

NBR 6489 - Prova de carga direta sobre terreno de fundação - Procedimento

NBR 6490 - Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização da ocorrência de rochas - Procedimento

NBR 6491 - Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia - Procedimento

NBR 6502 - Rochas e solos - Terminologia

NBR 6508 - Determinação da massa específica de grãos de solos - Método de ensaio

NBR 7180 - Determinação do limite de plasticidade de solos - Método de ensaio

NBR 7181 - Análise granulométrica de solo - Método de ensaio

NBR 7182 - Ensaio de compactação normal de solos - Método de ensaio

NBR 7183 - Determinação do limite e relação de contração de solos - Método de ensaio

NBR 8036 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios - Procedimento.

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições 3.1 e 3.2, complementadas pelas definições constantes das normas relacionadas no capítulo 2.

3.1 *Terreno*

Todo maciço natural caracterizado por condições geocronológicas e estratigráficas, incluindo assim, em termos práticos, solos, rochas e materiais intermediários, como solos residuais, rochas moles, etc.

3.1.1 A parte desse maciço, em extensão e profundidade, de interesse para a obra e seu projeto geotécnico é correntemente chamado de subsolo.

3.2 *Projeto geotécnico (conceito)*

Trabalho representado pelo conjunto de documentos que encerram análises, interpre

tações, e conclusões de investigações de campo e laboratório, estudos, cálculos, desenhos, especificações e relatórios conclusivos necessários para enfocar e caracterizar, quantitativamente, os aspectos geotécnicos envolvidos nas obras previstas, bem como os necessários para permitir o dimensionamento das mesmas obras, no grau de detalhamento exigido nas várias fases do projeto geotécnico.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto geotécnico deve adotar fatores de segurança compatíveis, em cada fase de projeto, considerando:

- a) eventual majoração das cargas, levando em conta o grau de conhecimento das solicitações;
- b) coeficientes de redução das resistências, levando em conta o conhecimento do terreno, dados disponíveis e sua dispersão;
- c) complexidade das condições geotécnicas;
- d) dificuldade dos projetos;
- e) os riscos envolvendo danos materiais e humanos.

4.1 Fases do projeto

Basicamente, as fases do projeto geotécnico incluem: viabilidade, projeto básico e projeto executivo. Estas fases, por sua vez, tem grau de detalhamento variável com o tipo e característica de cada obra.

4.1.1 Fase de viabilidade

Nesta fase, os trabalhos técnicos devem ter o nível de detalhamento suficiente para permitir a previsão de custos e prazos das alternativas de projeto.

4.1.1.1 Dependendo da finalidade, grau de complexidade e vulto da obra, dos recursos e prazos disponíveis, fatores estes que determinam o grau de detalhamento, esta fase pode ser subdividida em etapas a seguir caracterizadas.

- a) etapa de reconhecimento preliminar,
 - no reconhecimento preliminar procura-se tomar contato direto com as condições físicas dos locais de implantação da(s) obra(s) utilizando-se como apoio, dados eventualmente disponíveis (fotografias aéreas e restituições expeditas, mapas geológicos, etc). Esse reconhecimento é necessário para a verificação dos dados disponíveis e para a programação das investigações necessárias nas fases seguintes do projeto;
- b) etapa de inventário,
 - ao nível de inventário, os trabalhos técnicos devem ter o grau de detalhamento suficiente para permitir comparações sumárias entre al

ternativas de projetos e esquemas integrados dos mesmos, tendo como objetivo a seleção daqueles cuja economia permita sua inclusão numa relação geral (inventário) de obras a nível regional, indicadas preliminarmente como técnica e economicamente viáveis;

c) etapa de pré-viabilidade;

- nesta etapa, os trabalhos técnicos devem ter o nível de detalhamento suficiente para permitir a elaboração de planos e programas gerais de obras e dos investimentos correspondentes (Planos diretor), que melhor atendam à economia do setor, tendo em vista a seleção e a fixação de prioridades das obras;
- esta etapa constitui, muitas vezes, uma segunda etapa de triagem, consecutiva à etapa de inventário, em que as obras mais promissoras são selecionadas e submetidas à análise de sistemas para otimização dos parâmetros de projeto mais importantes;

d) etapa de anteprojeto,

- conjunto de desenhos e relatórios que apresentam e justificam as soluções técnicas da alternativa selecionada em estudo de viabilidade anterior, com dimensionamentos que possam servir de base a análises estruturais, detalhamentos, especificações do projeto básico e orçamentos preliminares.

4.1.2 *Fase do projeto básico*

Consiste no conjunto de todos os elementos que fixam e definem claramente os diversos componentes da obra, incluindo memoriais descritivos, cálculos estruturais, desenhos, especificações técnicas, quantificações, planilhas de orçamento, cronograma básico e outros documentos necessários à execução das obras e aquisição dos equipamentos previstos.

4.1.3 *Fase do projeto executivo*

4.1.3.1 Consiste no detalhamento ou revisão do projeto básico ou anteprojeto, sem contudo modificar o tipo, natureza e parâmetros básicos fixados em etapa anterior. Inclui detalhamentos dos desenhos básicos, complementação dos cálculos estruturais, tratamento das fundações, elaboração de instruções, normas e especificações construtivas complementares, detalhamento de instalações diversas, de drenagem provisória e definitiva, projeto detalhado da instrumentação de controle do comportamento das estruturas e suas fundações, adequação dos desenhos aos equipamentos.

4.1.3.2 De acordo com a característica e vulto da obra, podem existir, além da etapa de projeto executivo propriamente dita, as etapas a seguir caracterizadas:

- a) acompanhamento da execução da obra projetada,
 - todos os orçamentos para realização de obras de engenharia civil, que envolvam projeto geotécnico, devem prever dotações necessárias a um acompanhamento ou supervisão da execução a ser realizada, de preferência, pelo projetista, capaz de detectar, oportunamente, discrepâncias entre a natureza real do terreno e a sua representação em projeto e consequência de outros fatores imprevistos, permitindo promover as necessárias adaptações de projeto, no mais curto prazo possível;
 - sempre que o vulto e a complexidade da obra o aconselhar, deve ser prevista a existência de um Conselho de Consultores, composto de especialistas de experiência reconhecida, um de cada especialidade importante envolvida, capaz de assessorar o dono da obra e a supervisão em caso de dúvidas, mantida a responsabilidade do projetista;
- b) documentação do projeto "como-construído" ou "como-executado",
 - durante a construção, devem ser elaborados desenhos que registrem, com precisão, as dimensões da obra como efetivamente executadas, as etapas de construção, as eventuais substituições de materiais e equipamentos e quaisquer outras modificações significativas;
 - além dos desenhos, é conveniente o registro fotográfico de fases e pormenores construtivos que ilustrem as condições "como-construído" e possam auxiliar numa eventual análise do desempenho da obra;
 - esses desenhos e fotografias devem ser acompanhados de um relatório final, comentando e justificando as modificações executadas.

5 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Este capítulo relaciona as atividades de campo e laboratório a serem realizadas no reconhecimento do subsolo, na classificação e na determinação dos parâmetros geomecânicos dos materiais e das camadas constituintes do solo. As investigações, segundo a etapa do projeto e características da obra, compreendem um ou mais dos serviços seguintes:

- a) levantamento de dados gerais existentes sobre,
 - cartografia;
 - geologia, pedologia e geomorfologia;
 - hidrologia e hidrografia;
 - geotecnia;
- b) reconhecimento topográfico;
- c) reconhecimento geotécnico;
- d) prospecção geofísica;

- e) sondagens mecânicas;
- f) ensaios "in situ";
- g) ensaios de laboratórios.

Nota: A terminologia utilizada nas investigações geotécnicas é a da NBR 6502.

5.1 *Levantamentos dos dados gerais existentes*

Todos os dados cartográficos, geológicos, hidrológicos e geotécnicos existentes devem ser pesquisados, analisados e selecionados segundo sua aplicabilidade ao projeto em estudo. Estes elementos podem ser obtidos em bibliotecas e arquivos técnicos existentes, preferivelmente de órgãos públicos ou privados que tenham participado de estudos ou levantamento anteriores na área em questão.

5.1.1 *Cartografia*

Os dados cartográficos devem ser compatíveis, em escala e precisão, com o projeto a ser desenvolvido. Mapas desde 1:500000 a 1:100000 para estudos regionais e de planejamento podem ser supridos por compra de edições oficiais. Para projetos específicos requerem-se plantas em escala de 1:2000 até 1:200 que podem eventualmente ser obtidos de levantamentos aerofotogramétricos anteriores.

5.1.2 *Geologia*

Devem ser levantados os dados existentes em mapeamentos pedológicos, geológicos e geomorfológicos executados na área, por entidades públicas ou privadas. Os elementos assim obtidos são importantes tanto na otimização da programação de sondagens como na interpretação final.

5.1.3 *Hidrologia e hidrografia*

Condicionante básico da maioria dos projetos geotécnicos, o lençol freático natural ou provocado por obras existentes ou a serem executadas, deve ser conhecido em seu comportamento global. Assim, devem ser procurados dados existentes sobre a pluviometria, regime dos rios, outros tipos de drenagem superficial e subterrânea, e comportamento do lençol, se possível com as suas variações sazonais.

5.1.4 *Geotécnica*

5.1.4.1 Todos os dados geotécnicos disponíveis devem ser tomados em consideração, analisados e utilizados na medida que couber.

5.1.4.2 Informações de técnicos experimentados na área são importantes e devem ser coletadas sempre que possível.

5.2 Reconhecimento topográfico

Os dados cartográficos e topográficos existentes devem ser complementados por um reconhecimento topográfico de campo em grau de detalhamento compatível com o projeto. A geodésia, a aerofotografia e o sensoramento devem ser utilizados na medida das necessidades.

5.3 Reconhecimento geotécnico

5.3.1 Os dados existentes coletados segundo 5.1 devem ser complementados por um reconhecimento geotécnico de campo até alcançar um grau de detalhamento compatível com o projeto. Como referência pode ser tomada a escala topográfica do projeto.

5.3.2 Como resultado destes estudos deve ser obtido um conjunto de dados que possibilitem, no mínimo a execução de:

- a) mapa geotécnico;
- b) seções geotécnicas;
- c) classificação geotécnica dos materiais;
- d) reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrências de rocha susceptíveis de serem utilizadas como material de construção, de acordo com a NBR 6490;
- e) reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de jazidas de pedregulho e areia susceptíveis de serem utilizadas como material de construção, de acordo com a NBR 6491.

5.3.3 A partir dos resultados de sondagens e ensaios que forem sendo executados durante o projeto e construção, os elementos até então considerados devem ser revistos e atualizados.

5.4 Prospeção geofísica

5.4.1 Os métodos de prospeção geofísica permitem a obtenção, a curto prazo, de informações sobre o subsolo, servindo principalmente, como importante elemento de interpretação de dados entre sondagens, poços de inspeção ou afloramentos.

5.4.2 Os elementos obtidos em prospeções deste tipo devem ser sempre interpretados face aos resultados de sondagens ou outras investigações diretas, não devendo ser utilizados isoladamente, a não ser em casos particulares, devido aos erros de interpretação a que podem levar.

5.5 Sondagens mecânicas e amostragem

5.5.1 *Generalidades*

5.5.1.1 As sondagens de simples reconhecimento do solo devem ser executados de a cordo com a NBR 6484, enquanto que as sondagens de outros tipos devem ser executa das com equipamentos adequados às condições geológicas e utilizando-se a melhor prática.

5.5.1.2 O espaçamento entre sondagens e sua profundidade dependem da complexibi lidade da geologia local, da importância da obra e da influência das característi cas do subsolo no comportamento da obra e vice-versa. No caso de fundações de e- difícios elas devem obedecer às prescrições da NBR 8036.

5.5.1.3 Independentemente dos tipos de sondagens executadas, as amostras devem ser classificadas e identificadas por profissional habilitado em geotecnia.

5.5.2 *Tipos de sondagens*

As sondagens são dos seguintes tipos:

- a) poços exploratórios e trincheiras,
 - são, em geral de pequena profundidade, executados, comumente, acima do lençol d'água. Entretanto, é possível atingir profundidades apre ciáveis com o auxílio eventual de escoramento e, se necessário, medi ante rebaixamento do lençol freático;
 - possibilitam um exame detalhado do perfil do subsolo e permitem obter blocos indeformados dos materiais existentes, assim como a realização de ensaios "in situ", se for o caso;
- b) sondagens a trado cavadeira,
 - são de baixo custo utilizadas em cubagem de jazidas de solo ou como informação de condições de fundação em casos especiais;
 - geralmente só podem ser executadas acima do nível d'água;
 - fornecem amostras deformadas de solos e podem ser utilizadas para cra vação de tubos amostradores ("Shelby", "SPT", etc.);
- c) sondagens de simples reconhecimento,
 - são destinadas essencialmente à determinação do perfil do subsolo; re sistência à penetração dos materiais atravessados, obtenção de amos tras deformadas dos mesmos e medida dos níveis d'água subterrânea, de acordo com a NBR 6484;
- d) sondagens para extração de amostras pouco deformadas e indeformadas,
 - são destinadas à obtenção de amostras pouco deformadas de solos coesi vos, de consistência mole a média, utilizando amostradores de parede fina (tipo "Shelby") de diâmetro pouco inferior ao do tubo de revesti mento da sondagem;

- para obtenção de amostras indeformadas de solos coesivos, de consistência mole a rija, são necessários amostradores de diâmetro superior a 76,2 mm (3"), o que exige a execução de sondagens de maior diâmetro. A extração de amostras indeformadas por meio de sondagens requer o emprego de amostradores e técnicas especializadas e só devem ser executadas por especialistas;
 - no caso de solos duros ou contendo fragmentos de rocha, em que amostras não podem ser extraídas por amostrador de parede fina, devem ser empregados amostradores especiais (tipo "Denison" ou similar);
 - dependendo do diâmetro da sondagem, a mesma pode ser utilizada para outros ensaios "in situ", como bombeamento, de palhetas ("Vane test"), etc;
- e) sondagens rotativas,
- são executadas em solo e rocha. Em solo permitem a extração de amostras pouco deformadas, indeformadas, ensaios de penetração, etc. Em rocha são executadas com recuperação de testemunhos. O objetivo é, em geral, determinar tipos e distribuições da litologia, estágios de alteração, estruturas (canais de dissolução, falhas, xistosidades, diaclasas, estratificações), permeabilidade, etc.

5.6 Ensaios e medidas "in situ"

Nestes ensaios o material é ensaiado no próprio local, sem necessidade de extração de amostras.

Nota: Quando não estiverem normalizados, a metodologia desses ensaios deve ser sucintamente apresentada junto aos respectivos resultados.

5.6.1 Piezômetros (PZ) e indicadores de nível d'água (INA)

5.6.1.1 Os instrumentos que permitem verificar o comportamento do lençol freático e de lençóis confinados, podem ser constituídos de tubos cravados no solo, perfurados ou com ponta aberta, chamados indicadores de nível d'água (INA) ou piezômetros (PZ), de tipos comprovados, convenientemente distribuídos.

5.6.1.2 É indispensável que seja aguardada a estabilização do NA após a instalação, antes do início das leituras. Para solos permeáveis o período usual de 24 h é suficiente. Para solos pouco permeáveis deve-se aguardar prazo maior, não inferior a 48 h.

5.6.2 Ensaios de permeabilidade "in situ"

5.6.2.1 Estes ensaios permitem uma medida grosseira de permeabilidade através do

bombeamento d'água para dentro ou para fora de um furo de sondagem. A permeabilidade de um aquífero pode ser melhor determinada através de bombeamento em poços, de preferência totalmente penetrantes no aquífero que vai ser ensaiado. Para que os dados obtidos sejam significativos é preciso que os poços sejam construídos e operados com técnica já comprovada em ensaios anteriores.

5.6.2.2 Os cálculos da permeabilidade devem ser feitos a partir de fórmulas comprovadas.

5.6.2.3 O rebaixamento do nível produzido pelo bombeamento do poço é medido por uma série de indicadores de nível d'água localizados a várias distâncias do poço. Este deve ter diâmetro adequado para permitir a instalação de uma bomba apta a assegurar o rebaixamento. O poço deve ser bombeado a duas outras velocidades. O bombeamento, em cada velocidade, deve continuar até que sejam obtidas condições estacionárias.

5.6.2.4 Com os resultados obtidos devem ser relatados a aparelhagem e método utilizados no ensaio e a fórmula adotada nos cálculos.

5.6.3 *Ensaio de perda d'água*

São executados, geralmente, em sondagens rotativas, através de injeção de água sob pressão, para determinação da perda específica em l/m min Pa ou da permeabilidade equivalente em cm/s , do maciço. Com os resultados devem ser relatados os métodos de ensaios e a fórmula adotada para cálculo da permeabilidade equivalente.

5.6.4 *Ensaio de penetração estática*

5.6.4.1 São ensaios que se constituem na cravação de uma haste e cone no solo, por meio de macaco hidráulico, medindo-se as forças necessárias para cravar o conjunto haste e cone e depois cone isoladamente. São executadas segundo especificações e regras bem conhecidas na literatura geotécnica. São ensaios denominados de penetração estática, de cone, "deep-sounding" ou "deep-soondering".

5.6.4.2 Com os resultados do ensaio devem ser relatados a aparelhagem e o método utilizado.

5.6.5 *Ensaio de palheta ("Vane test")*

5.6.5.1 São ensaios que determinam a resistência ao cisalhamento de argilas e moles e médias "in situ", através da medida do momento de torção de quatro palhetas na extremidade de uma haste, cravadas no solo, abaixo do tubo de revestimento de uma sondagem especialmente feita para o ensaio. Os ensaios devem ser executados segundo especificações e regras bem conhecidas na literatura geotécnica.

5.6.5.2 Com os resultados dos ensaios devem ser relatados a aparelhagem e o método utilizados.

5.6.6 *Provas de carga direta e sobre estacas*

5.6.6.1 São ensaios que determinam as pressões admissíveis em fundações diretas, as cargas admissíveis em estacas de fundações, os coeficientes de recalques de estacas e os coeficientes de recalques do solo, para fins de cálculo de fundação direta ou pavimentos.

5.6.6.2 As provas de carga à compressão de estacas verticais devem ser executadas segundo a NBR 6121.

5.6.6.3 As provas de carga direta sobre terrenos de fundação, devem ser executadas segundo a NBR 6489.

5.7 *Ensaio de laboratório em amostras de solos*

5.7.1 Para o caso de amostras de solo os ensaios de laboratório podem ser os constantes das NBR 6458, NBR 6459, NBR 6508, NBR 7180, NBR 7181, NBR 7182, NBR 7183 e ainda os de:

- a) análise mineralógica;
- b) análise microestrutural;
- c) determinação da natureza e teor da matéria orgânica;
- d) adensamento vertical e radial;
- e) permeabilidade a carga constante e a carga variável;
- f) compressão simples;
- g) compressão triaxial, a saber,
 - ensaio não adensado e não drenado, ou ensaio rápido, com ou sem medida das pressões neutras;
 - ensaio adensado e não drenado, ou ensaio rápido pré-adensado, com ou sem medida das pressões neutras;
 - ensaio adensado e drenado, ou ensaio lento;

Nota: Outros tipos de ensaios de compressão triaxial podem ser executados simulando condições de carregamento estático ou dinâmico particulares, cujos efeitos se quer investigar.

- h) cisalhamento direto, que pode reproduzir em determinadas condições os tipos dispostos na alínea g) anterior.

5.7.2 Dependendo do tipo e vulto da obra, outros ensaios podem, se necessários, ser realizados. Em todos os casos de ensaios não normalizados, os resultados de-

vem vir acompanhados da descrição ou referência do método e da aparelhagem utilizados.

5.8 *Ensaaios em laboratório e "in situ" em amostras de rocha*

São ensaios que determinam as características de resistência, de deformabilidade, ou o estado de tensão de maciços rochosos ou de amostras de rocha, sendo descritos na literatura corrente da mecânica das rochas. Tais ensaios só devem ser escolhidos e efetuados sob a orientação de especialistas. Com os resultados destes ensaios devem sempre ser relatados os métodos e a aparelhagem utilizados. A execução de uma programação de ensaios deve sempre levar em conta o tipo e vulto da obra a ser construída e o tipo de solicitações que a mesma irá impor ao maciço, escolhendo deste modo ensaios que procurem representar o mais fielmente possível a resposta do material de fundação à ação da estrutura.

5.8.1 *Ensaaios "in situ"*

É grande a gama de ensaios "in situ" que podem ser necessários à caracterização de um determinado maciço de fundação; entre os mais correntes podem ser citados:

- a) ensaios de deformabilidade, para determinação do comportamento tensão-deformação do maciço;
- b) ensaios de cisalhamento direto, para determinação das características de resistência de feições do maciço;
- c) ensaios de injeção, para determinação das características de injetabilidade da fundação;
- d) ensaios de tensões virgens para avaliação do estado de tensão natural a que a fundação está sujeita;
- e) ensaios dinâmicos, etc.

5.8.2 *Ensaaios de laboratórios*

5.8.2.1 Os ensaios efetuados em laboratório podem ser os de:

- a) determinações petrográficas;
- b) determinações de densidades;
- c) absorção de água;
- d) compressão simples;
- e) cisalhamento direto;
- f) compressão triaxial;
- g) permeabilidade;
- h) ciclagem;
- i) resistência ao choque.

5.8.2.2 Em todos os casos, os resultados devem vir acompanhados da descrição ou referência do método e aparelhagem utilizados.

6 ESCAVAÇÕES A CÉU ABERTO

Este capítulo fornece diretrizes gerais para projetos de escavações e desmontes a céu aberto, com bases nos aspectos geológicos e geotécnicos locais. O desenvolvimento dos projetos se processa segundo suas fases características.

6.1 *Fase de viabilidade*

Nesta fase, procede-se à escolha da alternativa mais adequada, a partir da imposição do arranjo geral, finalidade e vulto da obra, e das condições geotécnicas locais.

6.1.1 *Investigações recomendadas*

Segundo 6.1, recomenda-se os procedimentos cabíveis a seguir:

- a) obtenção e análise dos dados geológico-geotécnicos existentes, para compreensão da história geológica e condições atuais da área;
- b) caso não exista, elaboração de esquema geológico com base em reconhecimento sumário da região, numa área que abranja uma extensão adequada ao propósito da escavação;
- c) elaboração de mapa topográfico e geológico, neste figurando os elementos litológicos, tectônicos e geomórficos importantes, de preferência na escala de 1:10000 a 1:1000, de acordo com a dimensão prevista de escavação;
- d) classificação visual dos solos existentes;
- e) com base nos elementos geológicos de superfície, realização de campanha de prospecção geofísica para melhor orientar o programa de prospecção mecânica de subsuperfície.

6.1.2 *Análises e estudos recomendados*

O objetivo geral é a indicação da alternativa mais conveniente, do ponto de vista técnico-econômico, das escavações e desmontes em solo, rocha alterada e rocha sã. Os estudos e análises desta fase podem compreender:

- a) elaboração de seções ilustrativas das estruturas geológicas presentes, descontinuidades, etc,
 - estudo estatístico das respectivas características geométricas que podem influir no comportamento das escavações;
 - estudo das características de depósitos de vertentes, espessuras de sedimentos, solos de alteração e nível freático.
 - estimativa dos parâmetros representativos dos materiais presentes nos cálculos e processos construtivos;

- b) em cada alternativa estudada, análise técnico-econômica de soluções, volume de escavação, estabilidade de taludes, hidrologia dos maciços, escavabilidade e esgarificabilidade das respectivas formações geológicas;
- elaboração de cálculo paramétricos, pré-dimensionamento, com indicação de método executivos e proteções necessárias.

6.1.3 *Resultados obtidos*

6.1.3.1 Escolha da melhor alternativa, com base nos estudos acima realizados.

6.1.3.2 Estabelecimento dos critérios de projeto inicialmente admitidos.

6.2 *Fase do projeto básico*

Nesta fase, procede-se ao detalhamento da alternativa escolhida, de forma a quantificar os serviços necessários ao desenvolvimento do projeto. Esse detalhamento deve atingir grau compatível com a finalidade e vultosa obra.

6.2.1 *Investigações recomendadas*

6.2.1.1 Em solo:

- a) execução localizada de sondagens rotativas, ensaios de penetração dinâmica e estática, ensaios de palheta ("Vane test"), ensaios de permeabilidade e abertura de poços, valas e trincheiras para inspeção "in loco";
- b) retirada de amostras deformadas e indeformadas para ensaios de laboratório.

6.2.1.2 Em rocha:

- a) execução de investigações de superfície, mediante mapeamento geológico-geotécnico do topo rochoso, após limpeza do solo superficial. Localização em planta de todos os afloramentos da região;
- b) investigações de subsuperfície, mediante sondagens rotativas adequadas a alta recuperação e profundidade coerente com a escavação prevista;
- c) execução de ensaios de permeabilidade;
- d) em terrenos geologicamente críticos, recurso à técnica de amostragem integral, ensaios "in situ" e coleta de amostras para ensaios de laboratório;
- e) determinação das características dinâmicas do maciço rochoso, mediante ensaios sísmicos;
- f) execução de desmonte experimental, caso a escavação requeira rigor na execução ou aproveitamento do material escavado na construção.

6.2.2 *Análises e estudos recomendados*

6.2.2.1 Elaboração de seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais de acordo com a forma e dimensão da escavação, figurando a descrição de terrenos atravessados e respectivas profundidades, descontinuidades superficiais de escorregamento, indicação de níveis aquíferos e perda d'água.

6.2.2.2 Detalhamento e análise estatística dos sistemas de fraturamentos e descontinuidades.

6.2.2.3 Classificação do maciço rochoso em grupos com características geomecânicas homogêneas.

6.2.2.4 Com base no resultado das investigações anteriores, análise da estabilidade de cada talude e globalmente da escavação, nas condições de maciço seco, saturado e submerso (caso necessário), levando-se em conta, também, as etapas de execução.

6.2.2.5 Estudos sobre tratamento e proteção dos taludes do maciço remanescente da escavação, drenagens superficial e profunda. Elaboração de especificações técnicas.

6.2.3 *Resultados obtidos*

6.2.3.1 Definição de linhas de escavação, limpeza e eventual remoção da camada superficial, proteções necessárias e drenagens, para cada caso (solo e rocha).

6.2.3.2 Definição de etapas de desmonte e sistemas de escavação e transporte. Em rocha, indicação do esquema de fogo. Remoção e destinação de entulhos resultantes. Em casos de desmontes especiais, definição de cuidados adequados.

6.2.3.3 Indicação dos equipamentos mais adequados e sua forma de utilização.

6.2.3.4 Projetos de entradas de acesso, de arranjo geral do canteiro de obra. Elaboração de projetos de instrumentação para taludes.

6.2.3.5 Estimativa de produção e custos associados.

6.3 *Fase de projeto executivo*

Esta fase compreende o acompanhamento sistemático de frentes de escavação para adequação dos métodos executivos em cada sub-trecho e indicação de contenção provisória da escavação, bem como definição de proteção e tratamentos finais.

6.3.1 *Investigações recomendadas*

6.3.1.1 Mapeamento geológico, com indicações das condições geotécnicas, em escala adequada, das paredes de escavação, de acordo com a sua dimensão.

6.3.1.2 Ensaios especiais "in situ", se necessários para o dimensionamento final do sistema de contenção.

6.3.1.3 Controle da escavação mediante instrumentação e nivelamento topográfico de marcos adequadamente posicionados.

6.3.2 *Análises e estudos recomendados*

6.3.2.1 Reexame da estabilidade e dos critérios de dimensionamento, face a novos resultados de investigações e controles realizados.

6.3.2.2 Reanálise da produção.

6.3.2.3 Análise final de custos.

6.3.3 *Resultados obtidos*

6.3.3.1 Especificações especiais quanto à segurança no transporte, manuseio e armazenamento de explosivos e acessórios.

6.3.3.2 Registro das condições geológicas e geotécnicas da escavação realizada.

6.3.3.3 Elaboração de desenhos "como-construído" com representação do mapeamento geológico, método construtivo, tratamentos e proteção realizada.

6.3.3.4 Determinação do comportamento da escavação a partir dos resultados da instrumentação instalada.

7 ATERROS

Este capítulo fornece diretrizes gerais para a elaboração de projetos de aterros, atendendo-se aos aspectos geológicos e geotécnicos locais. A finalidade principal dos aterros aqui mencionados é servir de suporte para estradas, aeroportos e instalações industriais e obras similares¹.

¹ Os aterros projetados com finalidade de retenção ou represamento são tratados no capítulo 13.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

7.1 Fase de viabilidade

7.1.1 Investigações recomendadas

Nesta fase dos estudos, que visa o levantamento de várias alternativas tecnicamente viáveis para escolha da mais adequada, devem ser obtidos os seguintes dados:

- a) elaboração de mapa geotécnico regional, com base em informações geológicas, pedológicas e outras disponíveis;
- b) interpretação de fotos aéreas, objetivando a complementação dos dados obtidos em a);
- c) mapeamento geológico-geotécnico de superfície das áreas mais promissoras;
- d) execução de prospecção nos locais onde as informações de a), b) e c) forem insuficientes.

7.1.2 Análises e estudos recomendados

7.1.2.1 A partir da análise dos dados geológico-geotécnicos obtidos, deve ser definida a geometria das várias alternativas para quantificação dos serviços e consequente estimativa dos custos dessas alternativas.

7.1.2.2 Devem ser igualmente definidas as prováveis áreas para obtenção dos materiais naturais de construção. Devem ser também consideradas as condições de fundação do aterro e variações climáticas, em particular variações de umidade.

7.1.2.3 A estabilidade dos taludes dos aterros é verificada com base em âbacos e métodos simplificados, estimando-se os parâmetros de resistência dos materiais a partir de correlações disponíveis, ensaios de resistência já executados para materiais semelhantes, etc.

7.1.3 Resultados obtidos

Os resultados constam de:

- a) mapas e seções geológico-geotécnicas contendo eventualmente as informações obtidas nas prospecções;
- b) geometria das alternativas tecnicamente mais viáveis.

7.2 Fase de projeto básico

7.2.1 Investigações recomendadas

As investigações devem ser executadas visando o detalhamento das condições geológico-geotécnicas da alternativa escolhida pelo estudo de viabilidade conforme a

seguir:

- a) investigações nas áreas de empréstimo,
 - nas áreas de empréstimo de material terroso devem ser executadas sondagens a trado e eventuais poços de inspeção para coleta de amostras de solo para execução de ensaios de caracterização, compactação, determinação da umidade natural e, eventualmente, determinação da densidade natural;
 - as investigações nas áreas de empréstimo devem possibilitar a cubagem dos materiais aproveitáveis e estéreis, as características geotécnicas dos materiais para inferir em primeiro grau de aproximação dos dados geotécnicos de interesse;
- b) investigações de parâmetros geomecânicos,
 - para determinação dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos materiais terrosos para o aterro compactado, devem ser selecionadas amostras típicas dos solos de empréstimo, para execução de ensaios geotécnicos de laboratório. Sempre que houver dúvida quanto à representatividade dos ensaios do material do aterro, é recomendável a execução de aterros de prova, cujo desempenho é avaliado por meio de ensaios "in situ", de laboratório e, eventualmente, através de instrumentação adequada;
- c) investigações na fundação do aterro,
 - devem ser executadas sondagens e determinação da resistência à penetração. Nos locais onde ocorram condições peculiares podem ser realizados ensaios "in situ" (ensaios de palheta, permeabilidade, etc.) para colheita de amostras indeformadas dos solos de fundação podem ser executados poços de inspeção, sondagens, etc. Estas amostras são submetidas a ensaios de laboratório para determinação dos parâmetros de resistência, deformabilidade dos materiais, etc.

7.2.2 *Análise e estudos recomendados*

7.2.2.1 Devem ser elaboradas seções geológico-geotécnicas das fundações dos aterros bem como das áreas de empréstimo dos materiais de construção.

7.2.2.2 Os resultados dos ensaios de laboratório das áreas de empréstimo e da fundação, bem como os obtidos "in situ" devem ser analisados e interpretados para definição dos parâmetros de resistência e deformabilidade representativos dos vários tipos de materiais.

7.2.2.3 Nos locais em que o aterro deva ser construído sobre materiais argilosos muito compressíveis e de baixa resistência ao cisalhamento, deve ser feita uma a-

nálise cuidadosa para verificar qual a alternativa mais indicada: com ou sem remoção do material de fundação.

7.2.2.4 No caso de estruturas atravessando o aterro ou sob ele assentes, como bueiros e encontros de pontes, especialmente no caso de aterros sobre camadas de baixa resistência, é necessário proceder-se a estudos específicos.

7.2.2.5 A drenagem superficial, proteção dos taludes, e instrumentação dos maciços devem ser dimensionadas e definidas nesta fase de estudos.

7.2.3 *Resultados obtidos*

Os resultados constam de:

- a) seções geológico-geotécnicas resultantes da interpretação das investigações de campo e dos ensaios de laboratório;
- b) definição das condições de compactação a serem obtidas no aterro, com indicação dos métodos de determinação e tolerâncias aceitáveis durante a execução;
- c) desenhos com localização das áreas de empréstimo, as seções do aterro, tratamento e escavação das fundações, drenagem superficial, proteção dos taludes e instrumentação dos maciços (aterro e fundação), definidos com detalhamento suficiente de maneira a permitir a quantificação dos trabalhos;
- d) memoriais descritivos e justificativos do projeto, bem como especificações técnicas para execução da obra.

7.3 *Fase do projeto executivo*

7.3.1 *Investigações recomendadas*

7.3.1.1 As investigações de campo e ensaios de laboratório a serem executados visam a detalhar e complementar as informações obtidas na fase de projeto básico com particular atenção para eventuais ocorrências de solos especiais, como os colapsíveis, expansivos e erodíveis.

7.3.1.2 Em casos especiais, podem ser coletadas amostras indeformadas dos aterros durante a construção, objetivando ensaios de laboratório para confronto com os utilizados na análise de estabilidade e na previsão dos recalques.

7.3.2 *Análises e estudos recomendados*

7.3.2.1 Devem ser realizados os estudos descritos na fase de projeto básico, adequando-os, agora, aos dados obtidos nas investigações complementares, e o detalhamento dos diversos serviços necessários à execução da obra.

7.3.2.2 Durante a construção, devem ser coletados os dados necessários à elaboração do projeto "como-construído", no que se refere a topografia, sistema de drenagem, instrumentação, características dos materiais de fundação e do aterro construído, etc.

7.3.3 *Resultados obtidos*

De maneira geral, são os mesmos obtidos na fase de projeto básico, mas com fornecimento de detalhes necessários à execução da obra e com adaptação do projeto a novas situações que venham a ser encontradas, tanto nas investigações de campo e laboratório como durante a própria construção do aterro.

8 FUNDAÇÕES DE ESTRUTURAS

Este capítulo fixa os requisitos básicos para o desenvolvimento do projeto de fundação de estruturas.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

8.1 *Fase de viabilidade*

Nesta fase são desenvolvidos estudos relacionados com as alternativas possíveis de fundações, visando-se a melhor interação entre a estrutura, fundações e terreno, de modo a se obter bom comportamento das fundações como suporte das estruturas e sem comprometer as obras de fundações existentes nas vizinhanças.

8.1.1 *Investigações recomendadas*

Para desenvolvimento dos estudos de viabilidade recomenda-se:

- a) vistoria do local para reconhecimento geotécnico e topográfico preliminar, verificando-se eventuais interferências com obras nas vizinhanças;
- b) pesquisa e coleta de dados disponíveis, relacionados com a constituição geológico-geotécnica do subsolo, dados topográficos e geográficos, tipos de fundações e seu comportamento em obras vizinhas, etc;
- c) levantamento topográfico planialtimétrico ou aerofotogrametria, dependendo da extensão da área envolvida;
- d) mapeamento geológico superficial, dependendo da grandeza ou complexibilidade da obra;
- e) sondagens de reconhecimento de acordo com normas vigentes.

8.1.2 *Análises e estudos recomendados*

8.1.2.1 De posse de uma definição aproximada da geometria da obra e de suas possíveis variações, da ordem de grandeza e tipo dos esforços solicitantes, deve ser feita uma análise dos dados disponíveis de modo a se obter alternativas para as fundações das estruturas e suas condicionantes.

8.1.2.2 Os pontos a serem observados são:

- a) exequibilidade das alternativas propostas, face a prazos e condições gerais de execução;
- b) análise de possíveis interferências com obras vizinhas e precauções cabíveis;
- c) pré-dimensionamento das alternativas de fundações;
- d) estimativa de custo das fundações e sua compatibilidade com o valor estimado da obra.

8.1.3 *Resultados obtidos*

8.1.3.1 Em função dos estudos iniciais desenvolvidos, é elaborado um relatório justificativo das alternativas selecionadas para as fundações, incluindo desenhos esquemáticos ou preliminares, descrição geral dos métodos construtivos e estimativa de custos das fundações.

8.1.3.2 No caso de condições complexas de fundação ou obras cobrindo grandes áreas, as alternativas podem ser zoneadas dentro da área do projeto.

8.2 *Fase de projeto básico*

O projeto básico das fundações deve ser desenvolvido em conjunto com o projeto básico da própria estrutura, para que o projetista das fundações tenha as informações necessárias e obtenha a melhor interação possível entre estrutura, fundações e terreno. O projeto básico consiste em estudos mais apurados para seleção final da alternativa que, em cada caso, melhor se apresente do ponto de vista técnico-econômico. É apresentado juntamente com a definição dos métodos construtivos e apuração das quantidades de materiais e serviços previstos.

8.2.1 *Investigações recomendadas*

8.2.1.1 As investigações nesta fase devem ser suficientes para definir as camadas constituintes do subsolo e fornecer os parâmetros geotécnicos necessários para o dimensionamento básico das fundações. Com esta finalidade devem ser consideradas sondagens de reconhecimento à percussão com medida dos índices de resistência à penetração e retirada de amostras para classificação visual das camadas. No caso da natureza do subsolo as exigir, devem ser executadas sondagens mistas (à percussão e rotativa). As sondagens devem ser aprofundadas até atravessar todas as camadas, situadas abaixo das cotas previstas para as fundações, consideradas compressíveis. No caso de fundações apoiadas ou engastadas em rocha, as sondagens, por processo rotativo, devem prosseguir até profundidade adequada abaixo da cota prevista de fundação.

8.2.1.2 Dependendo do vulto da obra, sua complexibilidade e a própria natureza do terreno, devem ser feitos levantamentos e executados sondagens e ensaios especiais de modo a permitir juízo sobre as concepções previamente adotadas e a comprovar os parâmetros do solo previstos ou estimados a partir das sondagens de reconhecimento. Essas investigações consistem de:

- a) levantamento planialtimétrico da área, com registro da terraplanagem executada ou prevista;
- b) sondagens especiais ou abertura de poços para retirada de amostras indeformadas;
- c) ensaios de laboratório das amostras indeformadas de modo a se obter parâmetros de resistência, compressibilidade ou deformabilidade e permeabilidade dos solos;
- d) ensaios "in situ" de penetração de hastes, por processos estáticos ou dinâmicos;
- e) ensaios "in situ" de permeabilidade;
- f) ensaios "in situ" de resistência ao cisalhamento em solos de baixa resistência;
- g) provas de carga à compressão direta sobre o solo;
- h) provas de carga em estacas ou tubulões especialmente executadas para esse fim;
- i) instalação de indicadores de níveis d'água, para melhor definição do posicionamento e variação do lençol freático;
- j) ensaios para verificação do grau de agressividade ou corrosão do solo quando for o caso.

8.2.2 *Análise e estudos recomendados*

8.2.2.1 De posse dos dados de investigações executadas, disposição básica das estruturas e esforços que serão transmitidos às fundações, procede-se a estudos e análises que permitam selecionar, em cada caso, a alternativa mais viável do ponto de vista técnico-econômico e obter dados para dimensionamento do projeto básico.

8.2.2.2 Esses estudos e análises devem consistir, obedecendo às recomendações da NBR 6122 na determinação de:

- a) tipo de fundação;
- b) cotas previstas para as fundações;
- c) parâmetros do solo para dimensionamento básico das fundações;
- d) tensões admissíveis previstas;
- e) quando se tratar de fundações estacadas, tipos de estaca, cargas admissíveis e comprimento previsto.

8.2.2.3 Devem ser analisadas também:

- a) interferências com construções vizinhas e precauções que devem ser tomadas;
- b) métodos construtivos para as fundações;
- c) previsão de instalação de instrumentos para verificação do comportamento das fundações.

8.2.3 *Resultados obtidos*

8.2.3.1 Perfis geológico-geotécnicos do subsolo, com eventuais indicações da geometria das construções e fundações projetadas.

8.2.3.2 Representação gráfica ou em forma de tabela, dos parâmetros do solo, obtidos e utilizados no desenvolvimento e dimensionamento das fundações.

8.2.3.3 Relato justificativo do tipo escolhido de fundação, com desenhos ilustrativos indicando as dimensões básicas e disposições construtivas.

8.2.3.4 Descrição, com desenhos ilustrativos se necessário, dos métodos construtivos, sequências de execução e precauções a serem tomadas com relação a eventuais interferências com obras vizinhas.

8.3 *Fase de projeto executivo*

O projeto executivo consiste no detalhamento do projeto básico com todas as informações necessárias para execução das obras e recomendações para acompanhamento dessa execução, registro e verificação do comportamento das fundações como construídas.

8.3.1 *Investigações recomendadas*

8.3.1.1 Nesta fase de projeto, as investigações são consideradas complementares e dependem da complexibilidade da obra e da própria natureza do terreno. Tais investigações devem ser programadas visando esclarecer variações ocorrentes no subsolo que possam afetar o detalhamento do projeto e comprovar, sempre que julgado conveniente, os parâmetros considerados para dimensionamento.

8.3.1.2 Durante a execução da obra deve ser feito cuidadoso acompanhamento para verificação e confirmação das cotas de fundação observando-se a adequação dos métodos construtivos utilizados, recomendando-se investigações adicionais que forem julgadas necessárias ou procedendo-se a adaptações ou modificações no projeto das fundações. Durante a verificação do comportamento das fundações, as investigações podem ser restritas à verificação de recalques e deslocamentos com precisão que depende do vulto e complexibilidade da obra.

8.3.2 *Análise e estudos recomendados*

Nesta etapa, os estudos geotécnicos consistem na confirmação dos parâmetros necessários para dimensionamento das fundações, na verificação da compatibilidade dos recalques ou deslocamentos previstos com a sensibilidade da estrutura, detalhamento final e estabelecimento das cotas para apoio das fundações.

8.3.3 *Resultados obtidos*

O projeto executivo das fundações consiste de:

- a) memorial justificativo do tipo ou tipos de fundações projetadas e dos métodos construtivos recomendados, reportando-se sempre aos estudos anteriormente desenvolvidos;
- b) indicação detalhada dos métodos construtivos e das precauções a serem tomadas, sempre que houver interferências com obras vizinhas;
- c) memorial de cálculo das fundações;
- d) desenhos das fundações com todos os detalhes necessários para sua execução e disposição da eventual instrumentação;
- e) desenhos finais resultantes do acompanhamento da execução das fundações, com todos os detalhes das mesmas como construídas.

9 **ESCORAMENTOS E ARRIMOS**

Este capítulo estabelece as diretrizes geotécnicas gerais a serem seguidas na elaboração de projetos de obras de escoramentos e arrimos, provisórias ou definitivas, assim consideradas as estruturas correntes de arrimo (como os muros de flexão e de gravidade), as estruturas estroncadas ou então atirantadas e ancoradas em solos e rochas, às estruturas chumbadas em rocha e a ancoragem ou chumbamento de blocos de rocha, sem auxílio de estruturas. Consideram-se como ancoragens os tirantes injetados e protendidos e como chumbamentos os tirantes não protendidos, atuando passivamente. Este tipo de projeto geotécnico comporta uma análise global em que se consideram rupturas e deformações que podem ser toleradas, conforme a finalidade prevista para a obra.

Nota: O desenvolvimento dos projetos se processa seguindo suas fases características que correspondem ao caso genérico. A critério do responsável pela obra, o projeto pode partir da etapa necessária para defini-lo no nível técnico-econômico adequado às suas características, como porte, recursos financeiros, prazos, etc.

9.1 *Fase de viabilidade*

Corresponde às atividades relacionadas a um plano global, que apresentem as prováveis alternativas de solução, baseando-se num cadastramento regional, permitin-

do assim o posicionamento real do projeto ante a finalidade da obra. Em casos de emergência, esta etapa fornece os elementos para o projeto provisório correspondente.

9.1.1 *Investigações recomendadas*

9.1.1.1 Obtenção de informações já existentes, relativas à região e ao local, dando origem a um cadastramento relativo aos aspectos geológico-geotécnicos, topográficos, hidrológicos, prováveis interferências e demais intervenientes no problema.

9.1.1.2 Visitas, com objetivo de um contacto inicial com a região e o local, possibilitando além da coleta de novos dados, a visualização de prováveis alternativas de projeto. Nos casos mais simples, pode bastar uma comparação com o desempenho de solos e rochas próximos, seus taludes, ou a caracterização geral dos solos e rochas locais pelas feições geológicas da região.

9.1.1.3 Topografia em escala adequada, de acordo com a extensão da obra e área envolvida, alcançando, além do local da contenção ou arrimo, todas as áreas e obras influenciadas pelo projeto.

9.1.1.4 Investigações geológico-geotécnicas, desde que sejam indispensáveis ao desenvolvimento desta etapa, estando diretamente ligadas às características e vulto da obra.

9.1.2 *Análises e estudos recomendados*

9.1.2.1 Devem ser efetuadas as análises e estudos que possibilitem a escolha de melhor solução. Os estudos compreendem as definições quanto às solicitações e métodos executivos de uma maneira genérica. Compreendem também uma análise preliminar de todos os itens a serem desenvolvidos no projeto.

9.1.2.2 Devem fazer parte desta etapa:

- a) caracterização geológico-geotécnica, através de seções geológicas, planta de mapeamento geológico, bem como a definição de parâmetros geotécnicos dos materiais;
- b) pré-dimensionamento das possíveis soluções, levando-se em conta os fatores relativos às características geológico-geotécnicas, dados hidrológicos do local e interferências existentes e, paralelamente, os problemas relativos aos métodos executivos, disponibilidade de área para trabalho, interferências, etc.

9.1.3 *Resultados obtidos*

9.1.3.1 Através da sequência de estudos realizados, deve ser obtida a alternati-

va técnica e economicamente mais adequada, a constar de um relatório justificativo das soluções apresentadas, incluindo as investigações geológico-geotécnicas, conjunto de desenhos, descrição geral do método executivo e estimativas de custo.

9.1.3.2 Deve-se salientar que o grau de detalhamento a ser apresentado nesta fase deve estar de acordo com as características da obra, cabendo o enfoque ao responsável técnico pelo projeto.

9.2 *Fase de projeto básico*

Compreende os trabalhos correspondentes à caracterização geométrica das obras, estimativa de quantidade de materiais e serviços previstos. No caso de obras provisórias ou de emergência a critério do responsável pelo projeto, podem ser suprimidos alguns dos itens a seguir recomendados, quando os problemas a serem enfocados exigirem soluções imediatas ou em prazo mínimo, desde que as etapas futuras da obra e a sua segurança não sejam comprometidas.

9.2.1 *Investigações recomendadas*

9.2.1.1 Topografia, de acordo com as características da obra, incluindo todos os acidentes e detalhes que possam interferir nos estudos geotécnicos ou nos métodos executivos.

9.2.1.2 Investigações geológico-geotécnicas que se fizerem necessárias, tais como poços de inspeção, sondagens, ensaios "in situ", retiradas de amostras deformadas e indeformadas para ensaios de laboratório, instalação de indicadores de nível d'água ou piezômetros, ficando a cargo do responsável técnico pelo projeto o uso dos resultados de investigações geotécnicas já existentes e suficientemente próximas do local e em formação geológica análoga.

9.2.1.3 Mapeamento geológico detalhado abrangendo a área em estudo, com suas características superficiais, atitude das eventuais descontinuidades, dimensões de blocos e placas, etc.

9.2.1.4 Dados complementares de hidrologia, interferências e outros com peso na solução a ser desenvolvida.

9.2.2 *Análises e estudos recomendados*

9.2.2.1 Elaboração de seções geológico-geotécnicas, bem como planta de mapeamento geológico, com base nas investigações efetuadas, acompanhadas de texto explicativo.

9.2.2.2 Obtenção dos valores dos parâmetros geotécnicos, em solo ou rocha, neces

sários à realização dos estudos, levando-se em conta a compatibilidade com o tempo de utilização da contenção. Em obras de menor complexibilidade e/ou porte reduzido podem mesmo ser simplesmente estimados. Por outro lado, em formações especiais, expansivas por exemplo, é indispensável um estudo geotécnico apropriado à melhor definição do problema.

9.2.2.3 Estudos relativos à estabilidade da obra, levando-se em consideração os esforços atuantes na contenção ou arrimo, pressões neutras, sobrecargas adjacentes, deformações limites, estabilidade global do conjunto, efeito de drenagem, conforme as características às quais a obra se destina.

9.2.3 *Resultados obtidos*

9.2.3.1 Caracterização geológico-geotécnica da área em questão.

9.2.3.2 Conjunto de desenhos, memórias de cálculos, relatórios justificativos das soluções apresentadas e os detalhes fundamentais das mesmas.

9.2.3.3 Previsões de quantidades de materiais e serviços a serem executados, bem como elaboração de métodos executivos.

Nota: Sempre que o comportamento do maciço a ser arrimado tiver influência no processo construtivo da contenção, deve ser devidamente prevista a adoção de dispositivos de escoramento provisório ou a colocação em tensão parcial das mencionadas estruturas.

9.3 *Fase de projeto executivo*

Corresponde aos detalhamentos do projeto básico e seus métodos de execução, necessários à realização das obras e ao acompanhamento das mesmas.

9.3.1 *Investigações recomendadas*

9.3.1.1 Amarração em rede de malhas de coordenadas através de topografia de precisão, sempre que a locação da obra seja fator importante no problema.

9.3.1.2 Investigações geológico-geotécnicas adicionais eventualmente necessárias.

9.3.1.3 Elaboração de ensaios específicos prévios, de acordo com o tipo de solução proposta.

9.3.2 *Análise e estudos recomendados*

9.3.2.1 Nesta fase é feito um aprimoramento dos estudos geotécnicos efetuados e

dos valores dos parâmetros utilizados, bem como das características de drenagem a ser utilizada, levando-se em conta o método executivo.

9.3.2.2 Os fatores de segurança a utilizar devem ser compatíveis com o porte e a importância da obra e os riscos materiais e humanos envolvidos. Pode-se prever uma instrumentação adequada, caso necessário.

9.3.3 *Resultados obtidos*

9.3.3.1 Desenhos construtivos das obras projetadas com os detalhes e referências necessárias: vista frontal, cortes e plantas com locação precisa, elementos de drenagem e outras informações necessárias.

9.3.3.2 Memórias de cálculo, memorial justificativo e relatório incluindo o método do executivo escolhido.

9.3.3.3 Especificações construtivas para cada tipo de operação prevista pelo método executivo e especificações técnicas relativas aos materiais empregados e ao controle do comportamento da obra.

9.3.3.4 Planilhas de quantidades.

9.3.3.5 Cronograma executivo da obra nas suas várias etapas.

9.3.3.6 Durante a realização da obra, elaboração de desenhos "como-construído", com registro de modificações encontradas ou introduzidas e representação de métodos construtivos utilizados, bem como posição da instrumentação instalada.

10 DRENAGEM, ESGOTAMENTO E REBAIXAMENTO

Este capítulo estabelece os requisitos básicos e essenciais à elaboração de projetos de drenagem superficial, subsuperficial e profundas, de controle de fluxo d'água em escavações e do nível do lençol freático. Estes projetos visam a atender necessidades de processos construtivos ou adequar as condições do maciço ao projeto geral da obra, quanto à água que sobre ele se escoar, se infiltra e percola. O projeto pode se desenvolver, de uma maneira geral, em uma, duas, ou nas suas três fases características, conforme se trate de simples esgotamento de água afluyente em escavações, rebaixamento do lençol d'água ou projeto de drenagem. As três fases são:

- a) levantamento de dados geo-hidrológicos e geotécnicos para estabelecimento da viabilidade do projeto;
- b) dimensionamento prévio, equivalente à fase de projeto básico;
- c) avaliação de desempenho e dimensionamento final, equivalente à fase de projeto executivo.

10.1 *Levantamento de dados (viabilidade)*

Nesta fase são feitos os levantamentos necessários ao estudo da viabilidade de projetos que o requeiram, em geral projetos de drenagem. Tais levantamentos compreendem dados climatológicos, geológicos e morfológicos e dados hidrogeotécnicos necessários a um planejamento global, que pode resultar da análise de alternativas.

10.1.1 *Informações necessárias*

10.1.1.1 Entre os dados climatológicos citam-se: chuvas, umidades, ventos, temperatura, e suas variações sazonais. A importância desses dados cresce com a complexidade do projeto.

10.1.1.2 Entre os dados geológicos e morfológicos: natureza das formações e seus aspectos superficiais, principalmente inclinação de taludes, encostas e vertentes, cobertura vegetal, altitude.

10.1.1.3 Entre os dados hidrogeotécnicos: propriedades de solos, rochas e materiais intermediários, e a ação da água sob todas as suas formas. O dado decorrente fundamental é a permeabilidade dos maciços, naturais ou artificiais.

10.1.2 *Avaliações necessárias*

Analisados os dados iniciais acima indicados cabem então estudos de alternativas a partir de:

- a) área, profundidade e volume das águas em causa;
- b) características físicas de solos e rochas e sua permeabilidade;
- c) disposição dos elementos de captação, condução, dissipação de energia (se for o caso), saída das águas para fora da área do projeto;
- d) estimativa de prazos e custos;
- e) avaliação de influências colaterais.

10.2 *Dimensionamento prévio (projeto básico)*

Compreende a escolha do esquema básico de disposição e de montagem (dutos, poços, e equipamentos, etc), do modo operacional e dos dispositivos de controle das águas a escoar, todos pré-dimensionados tendo em conta as informações já obtidas e os objetivos a serem atingidos.

10.2.1 *Informações necessárias*

10.2.1.1 Estas informações compreendem o detalhamento e análise dos dados hidrogeológicos e geotécnicos do local, entre os quais são recomendados:

- a) definição da sequência de camadas que sofrerão diretamente processos de drenagem, esgotamento ou rebaixamento, bem como das camadas que in

- diretamente forem influenciadas por esses processos;
- b) definição da litologia de cada camada;
- c) no caso de maciço rochoso, definição aproximada do sistema de fraturamento;
- d) caracterização da situação da água superficial, subsuperficial e subterrânea do local, esta última se em lençol contínuo, freático, artesian, semi-artesiano ou misto, ou descontínuo (lençol suspenso ou empoleirado).

10.2.1.2 No caso de projetos de rebaixamento de níveis d'água, informações adicionais sobre o regime de rebaixamento necessário à execução da obra ou à sua manutenção, sendo indispensável os seguintes dados:

- a) previsão do período em que deve funcionar o rebaixamento, se temporário ou permanente;
- b) cotas de rebaixamento necessárias ao longo de toda a área de trabalho;
- c) definição dos níveis de segurança da própria obra durante o rebaixamento e dos problemas decorrentes de eventual defeito ou parada no sistema de bombeamento;
- d) análise do efeito do bombeamento e rebaixamento em obras vizinhas.

10.2.2 *Definições necessárias*

Obtidos e analisados os dados citados em 10.2.1, devem ser definidos os seguintes aspectos do projeto:

- a) interseção geométrica do projeto com condições naturais;
- b) distribuição dos elementos de drenagem (dutos, abertos ou fechados), de esgotamento e de bombeamento (poços, ponteiras, etc.) na área do projeto;
- c) dimensões, profundidade de instalação e seção tipo dos dutos, poços e ponteiras;
- d) caracterização das bombas e descargas previstas;
- e) no caso de esgotamento e rebaixamento, e se necessário, controle do nível d'água com instrumentação objetivando observar o comportamento dos poços iniciais e posterior redimensionamento;
- f) definição dos poços ou ponteiras pelos quais o bombeamento deve ser iniciado, objetivando ainda a obtenção do maior número possível de informações quanto à adequação do projeto;
- g) outros aspectos importantes para a elaboração do orçamento, cronograma, proteção contra influências indesejáveis, etc;
- h) indicação do local ou dos locais mais convenientes para um ensaio de

bombeamento, bem como definição de sua execução, que deve se consistir na etapa inicial da fase seguinte.

10.3 *Avaliação do desempenho e dimensionamento final (projeto executivo)*

Esta fase é especialmente importante nos projetos de esgotamento e rebaixamento de águas. Na etapa inicial o resultado do ensaio do bombeamento deve ser cuidadosamente analisado e comparado com as hipóteses iniciais do projeto. Essa análise fornece subsídios ao dimensionamento final, de maneira a otimizar o desempenho do sistema.

10.3.1 *Informações necessárias*

10.3.1.1 Comportamento e evolução dos níveis d'água.

10.3.1.2 Evolução da linha freática com o tempo ao ligar ou desligar o(s) poço (s) e influência de poços adjacentes.

10.3.1.3 Eventuais recalques ocorridos na adjacência.

10.3.1.4 Vazão obtida.

10.3.1.5 Eventuais problemas detectados durante a operação, nessa fase.

10.3.2 *Definições necessárias*

Obtidos e analisados os dados citados em 10.3.1 devem ser definidos os seguintes aspectos do projeto:

- a) avaliação mais precisa da permeabilidade das diversas camadas através da análise dos dados obtidos;
- b) redimensionamento e otimização do sistema (distribuição final em planta, profundidade, instalações e equipamentos mais adequados, etc.);
- c) no caso de sistema permanente, a otimização deve atender não só à eficiência mas também à manutenção do sistema;
- d) instrumentação de controle do nível de lençol freático, de recalques na área e em estruturas vizinhas e estimativa de níveis críticos de recalques;
- e) definição precisa das medidas de emergência e corretivas a adotar em caso de defeitos no funcionamento do sistema e de agravamento de influências indesejáveis na área e nas vizinhanças.

11 ESTRUTURAS ENTERRADAS

Este capítulo caracteriza e orienta as atividades referentes à obtenção e análise dos dados geotécnicos necessários à elaboração do projeto de estruturas enterradas,

construídas a céu aberto, cuja execução devido à profundidade das valas e escavações, às condições desfavoráveis do subsolo, à presença do lençol freático, ou ainda à proximidade de fundações de edifícios, exige obras importantes de contenção e rebaixamento do nível d'água. Distinguem-se como tipos de obras enterradas: túneis construídos pelo processo de trincheira, garagens, estações e outros recintos subterrâneos construídos em grandes escavações, as obras enterradas de porte médio, como as galerias²; e as pequenas obras enterradas, como canalizações fechadas e dutos em geral.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

11.1 *Fase de viabilidade*

Os dados obtidos nesta fase devem fornecer subsídios para a escolha da localização mais adequada da estrutura, enterrada entre as alternativas possíveis. Devem ainda permitir a definição das áreas de desapropriação, da localização de canteiros de obras, da necessidade de remanejamento de utilidades públicas, e da investigação de fundações de edifícios que interfiram com as escavações ou possam ser pelas mesmas afetadas.

11.1.1 *Investigações recomendadas*

11.1.1.1 Obtenção de dados existentes, incluindo mapas geológicos, perfis individuais de sondagens, seções longitudinais do subsolo resultados de ensaios, provas de carga, etc.

11.1.1.2 Reconhecimento geológico-geotécnico de toda a área de interesse abrangida pela obra, e elaboração do respectivo mapa geotécnico.

11.1.1.3 Execução de sondagens-piloto a trado ou a percussão.

11.1.1.4 Atualização das plantas cadastrais existentes na faixa de influência das escavações, quanto ao número de andares dos edifícios e demais obras de construção recente, que não constem das referidas plantas.

11.1.1.5 Obtenção junto às concessionárias de serviços públicos, de plantas com indicação das tubulações enterradas na área das escavações.

11.1.1.6 Execução de um programa preliminar de sondagens de reconhecimento, vi-

² As galerias e túneis de seção reduzida, construídas por meio do mini escudo, e as tubulações cravadas horizontalmente, pelo empuxo de macacos hidráulicos, são tratados no capítulo 12.

sando a caracterização geral do subsolo ao longo do traçado previsto.

Nota: No caso de já se dispor de sondagens existentes próximas do traçado executa-se apenas as sondagens complementares necessárias à obtenção do perfil preliminar do subsolo.

11.1.1.7 Execução de ensaios de granulometria e limites de Atterberg nas amostras obtidas, para a caracterização dos solos típicos.

11.1.2 *Análises e estudos recomendados*

11.1.2.1 Seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais.

11.1.2.2 Quadros-resumo com os resultados dos ensaios geotécnicos, por solo típico.

11.1.2.3 Gráficos-resumo com os resultados dos ensaios de campo.

11.1.2.4 Recurso a correlações existentes para a estimativa, em primeiro grau de aproximação, dos parâmetros de solo.

11.1.3 *Resultados obtidos*

11.1.3.1 Relatório geral de viabilidade com escolha da melhor alternativa de projeto.

11.1.3.2 Apresentação deste em forma de anteprojeto.

11.1.3.3 Com base neste, estimativa de custo.

11.2 *Fase de projeto básico*

Os trabalhos desta fase do projeto conduzem à escolha dos métodos construtivos e à preparação do projeto básico da alternativa escolhida na fase anterior, com a elaboração de planilhas de quantidades de serviços, orçamento da obra, prazos de execução, cronogramas.

11.2.1 *Investigações recomendadas*

11.2.1.1 Elaboração de um programa completo de sondagens de reconhecimento, cobrindo a área de escavação; dependendo da heterogeneidade do solo e importância da obra, deve constituir-se numa malha espaçada de 30 m a 70 m. Em cada sondagem, deve ser determinada a resistência à penetração (SPT) de metro em metro e feita a coleta e armazenamento das amostras para sua classificação táctil-visual e posterior ensaio em laboratório. Caso necessário deve prever sondagens rotativas.

11.2.1.2 Retirada de amostras especiais tipo "Shelby" de camadas típicas.

11.2.1.3 Elaboração de um programa de ensaios para determinar os índices físicos das amostras representativas obtidas com o amostrador SPT e o amostrador "Shelby".

11.2.1.4 Execução de uma série de ensaios de palheta onde as sondagens de reconhecimento indicaram a presença de solo mole.

11.2.1.5 Execução de uma série de ensaios de penetração estática contínua próximos a sondagens de reconhecimento já executadas.

11.2.1.6 No caso de obras especiais envolvendo solos de propriedades pouco conhecidas, elaboração de um programa de sondagens adicional para a retirada de amostras indeformadas. Ocorrendo argilas rijas e duras é recomendável obter blocos indeformados em poços.

11.2.1.7 Para as condições de 11.2.1.6, elaboração de um programa de ensaios especiais de laboratório. Esses ensaios são feitos num pequeno número de amostras representativas das camadas típicas de solo.

11.2.1.8 Nos casos de dúvida quanto à posição do nível d'água subterrâneo e a sua variação sazonal, instalação de piezômetros.

11.2.1.9 Para o projeto de túneis e estruturas situadas abaixo do lençol freático, previsão da retirada de amostras de água para análise da agressividade ao concreto.

11.2.1.10 No caso de túneis e estruturas enterradas em área urbana densamente edificada, obtenção de todos os dados relativos às fundações dos edifícios situados na área de influência das escavações, com recursos à investigação direta, caso não sejam encontradas todas as informações necessárias.

11.2.2 *Análises e estudos recomendados*

11.2.2.1 Correlações entre os resultados de ensaios de caracterização e os parâmetros de resistência, compressibilidade, permeabilidade, etc.

11.2.2.2 Cálculo dos empuxos sobre os escoramentos para as várias fases de escavação e reaterro. Determinação das fases críticas de escavação.

11.2.2.3 Cálculo da estabilidade da escavação face ao método de escoramento e rebaiamento adotado. Cálculo da estabilidade do fundo de escavação.

11.2.2.4 Diagramas de empuxo de terra e de água para a estrutura permanente.

Efeito do reaterro nos empuxos sobre a estrutura permanente.

11.2.2.5 Dimensionamento do escoramento. Quando for permissível o desenvolvimento do estado ativo de pressão de terra, podem-se empregar escoramentos constituídos de perfis metálicos com pranchões de madeira ou estacas pranchas.

Nota: Junto a construções justificadamente sensíveis a qualquer movimentação é preciso empregar paredes de estacas justapostas ou paredes diafragma, suportadas por escoras pré-comprimidas ou ancoragens, etc., capazes de observar o empuxo em repouso.

11.2.2.6 Estudo de drenagem, rebaixamento do lençol freático e poços de alívio.

11.2.2.7 Estudos do remanejamento das tubulações de utilidades públicas que interfiram com as obras.

11.2.3 *Resultados obtidos*

11.2.3.1 Desenhos com as seções geológico-geotécnicas, contendo:

- a) planta com a locação das sondagens e ensaios de campo indicando cota da boca dos furos;
- b) perfil individual das sondagens com indicação da resistência à penetração (SPT), posição do nível d'água classificação das camadas atravessadas, posição da retirada das amostras, etc.

11.2.3.2 Relatórios contendo perfis individuais de sondagens com o croqui de localização e cota da boca dos furos.

11.2.3.3 Gráficos-resumo, junto aos perfis de sondagens, com indicação da variação com a profundidade, por exemplo, da: umidade, densidade, consistência, resistência à compressão simples, coesão, permeabilidade, resultados das análises químicas da água, etc.

11.2.3.4 Relatórios contendo resultados dos ensaios especiais.

11.2.3.5 Relatórios contendo as leituras de variação do nível d'água, nos piezômetros.

11.2.3.6 Memoriais dos cálculos efetuados, neles figurando claramente as hipóteses de cálculo, a metodologia empregada, a bibliografia de referência e os resultados para as situações críticas de cálculo.

11.2.3.7 Apresentação dos métodos construtivos escolhidos para o projeto básico, com planilha de quantidades de serviços e determinação de custos, prazos, cronograma.

gramas, plano de utilização de equipamento, etc.

11.3 *Fase de projeto executivo*

Nesta fase são realizados ainda os ensaios e sondagens complementares, eventualmente necessários ao detalhamento dos projetos de escavação, escoramento, rebaixamento, ancoragens, etc., e para a elaboração das especificações de serviços e recebimento.

11.3.1 *Investigações recomendadas*

11.3.1.1 Execução de sondagens complementares de reconhecimento ou sondagens rotativas onde haja dúvidas quanto ao perfil do subsolo, caso se verifique ocorrência de rocha.

11.3.1.2 Obtenção de amostras indeformadas de camadas de solo que não foram caracterizadas na fase anterior e realização dos ensaios correspondentes.

11.3.1.3 Em obras particularmente importantes, em condições geotécnicas novas, podem ser necessários ainda:

- a) ensaios de ancoragem para determinação do comportamento do solo e a capacidade de carga de tirantes;
- b) ensaios de bombeamento, com ou sem vácuo, para obtenção de dados para o projeto de rebaixamento do nível d'água.

11.3.2 *Análises e estudos recomendados*

Revisão dos estudos e análises do projeto básico, à luz dos resultados complementares de 11.3.1.

11.3.3 *Resultados obtidos*

11.3.3.1 Desenhos em escala conveniente, de modo a caracterizar perfeitamente e precisamente as obras a executar, apresentando de maneira clara as dimensões, cotas, estágios de construção, notas e especificações. Estes desenhos são apresentados sob a forma de plantas, cortes e perfis.

11.3.3.2 Especificações dos materiais a serem empregados, dos métodos de execução e dos documentos e normas de referência.

11.3.3.3 Projeto final de drenagem e rebaixamento do nível freático.

11.3.3.4 Projeto final do remanejamento das instalações de utilidades públicas.

11.3.3.5 Durante a realização da obra, elaboração de desenhos "como-construído",

de registro de modificações encontradas ou introduzidas.

12 TÚNEIS EM SOLO E EM ROCHA

Os estudos geotécnicos para projeto de túneis em solo e em rocha objetivam determinar os condicionantes geológicos (litologias, estruturas de maciços rochosos e formações sedimentares, águas subterrânea, etc.) e definir os parâmetros geotécnicos (espessura do capeamento, resistência e deformabilidade dos materiais atravessados, tensões virgens dos maciços, etc.), de forma a permitir a escolha da melhor alternativa de solução, a seleção e indicação de seus métodos construtivos, escoramentos e revestimentos a serem aplicados ao longo do túnel.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

12.1 *Fase de viabilidade*

Compreende a escolha de alternativas de traçado, a partir das imposições do arranjo do projeto e a seleção da alternativa mais adequada do ponto de vista técnico-econômico.

12.1.1 *Investigações recomendadas*

12.1.1.1 Obtenção e análise de dados geológico-geotécnicos já existentes, sobre a região, elaborando-se um mapa-base geológico regional.

12.1.1.2 Foto-interpretação geológico estrutural, com controle de campo, abrangendo toda a área das alternativas, numa faixa com largura mínima igual a duas vezes o comprimento do túnel.

12.1.1.3 Reconhecimento geológico de superfície, com elaboração de mapa geológico da área das alternativas com escala entre 1:5000 e 1:20000, abrangendo a área indicada em 12.1.1.2.

12.1.1.4 Execução de sondagens rotativas piloto, de alta recuperação, no caso de maciços rochosos, e sondagens geofísicas nos emboques e trechos do traçado com capeamento reduzido. Nos túneis em solo, sondagens de percussão e rotativas, além de sondagens geofísicas, que também servem para determinar a posição do lençol freático e do contacto solo-rocha ao longo dos eixos previstos.

12.1.2 *Análises e estudos recomendados*

Na fase de viabilidade deve ser indicada a alternativa mais conveniente, abrangendo o conjunto de emboque, desemboque, túnel propriamente dito e eventuais janelas de acesso (ou poços no caso de túneis urbanos). Há necessidade de:

- a) elaboração de seções geológico-geotécnicas ao longo dos eixos das al-

- ternativas, com classificação geomecânica dos materiais encontrados;
- b) elaboração de análises e cálculos paramétricos de pré-dimensionamento com a finalidade de determinar, em cada alternativa estudada, os métodos executivos e as necessidades de escoramento e revestimento;
- c) execução de análises econômicas comparativas para as diversas alternativas, tomando como base os dados fornecidos pelas alíneas a) e b) anteriores.

12.1.3 *Resultados obtidos*

A sequência de estudos de 12.1.2 deve resultar na esquematização das diversas soluções, com um detalhamento tal que permita a quantificação de todos os fatores determinantes das mesmas. Da comparação dos diversos esquemas deve ser possível a escolha da alternativa mais adequada.

12.2 *Fase de projeto básico*

Compreende o detalhamento dos estudos na alternativa escolhida, de forma a apurar as quantidades de serviço previstas e a elaboração da estimativa de custo.

12.2.1 *Investigações recomendadas*

12.2.1.1 Nos emboques, execução de sondagens geofísicas, sondagens a percussão com ensaios de penetração, sondagens rotativas de alta recuperação, poços de inspeção e retirada de amostras para a execução de ensaios de laboratório, tendo em vista o projeto das escavações necessárias em solo ou em rocha.

12.2.1.2 Ao longo do túnel, execução de sondagens a percussão em solos, sondagens rotativas em rochas, verticais ou inclinadas nos trechos com capeamento inferior a 50 m, no mínimo até 10 m abaixo da soleira do túnel, e sondagens geofísicas ao longo de todo o túnel ou nos mesmos trechos, dependendo das condições geológicas.

12.2.1.3 Em condições geológicas críticas ou inéditas, execução de galerias-piloto para a verificação das condições geológicas e comportamento de solos e rochas, bem como para amostragem e realização de ensaios "in situ".

12.2.1.4 Sobre amostras de testemunhos de sondagem em rocha (diâmetro mínimo NX) e amostras de material de solo em toda a profundidade do túnel, execução de ensaios de laboratório; sobre amostras de água subterrânea, execução de análise química para determinação de possível agressividade a materiais.

12.2.1.5 Em túneis em rocha a grande profundidade, ou dependendo das condições geológicas regionais, execução de ensaios para determinação do estado de tensões virgens.

12.2.1.6 Em túneis urbanos, levantamento completo das fundações dos edifícios e das obras de arte na faixa de influência do túnel.

12.2.2 *Análises e estudos recomendados*

12.2.2.1 No caso de túneis em solo, caracterização geotécnica das formações sedimentares, residuais, etc., através de permeabilidade, deformabilidade, resistência, posição dos níveis d'água e sua correlação com a drenagem da região.

12.2.2.2 Nos túneis em rocha, escolha dos parâmetros classificatórios do maciço rochoso (grau de alteração, fraturamento, resistência, condições hidrogeotécnicas, abrasividade, etc.) e sua classificação em grupos, com características geomecânicas homogêneas.

12.2.2.3 Elaboração de seções geológico-geotécnicas, longitudinais e transversais, dos emboques e de seção geológico-geotécnica longitudinal ao longo do túnel, com os respectivos estudos de estabilidade.

12.2.2.4 Análise e seleção dos processos de escoramento e revestimento, definindo suas especificações técnicas, dimensionamento e quantidades.

12.2.2.5 Em túneis urbanos, estudo do comportamento do terreno sobrejacente à escavação, dos recalques da superfície e de eventual subfundação de edifícios ou estabilização de terreno subjacente.

12.2.3 *Resultados obtidos*

12.2.3.1 Com base no resultado das investigações e das análises, apresentação de seções geológico-geotécnicas, longitudinais e transversais dos emboques e seção longitudinal ao longo do túnel, acompanhadas de seções transversais típicas e de texto explicativo e memória de cálculo detalhados.

12.2.3.2 Elaboração de projetos de estradas e acessos, disposição dos canteiros de obras e serviços auxiliares, inclusive definindo áreas de bota-fora, de emprestimo, pedreiras, etc.

12.2.3.3 Elaboração do projeto de instrumentação prévia a ser instalada antes do início das escavações.

12.3 *Fase de projeto executivo*

Compreende o acompanhamento sistemático das frentes de escavação, para ajuste dos métodos construtivos a serem empregados em cada subtrecho e indicações finais dos tipos de escoramento e revestimento a serem aplicados.

12.3.1 *Investigações recomendadas*

12.3.1.1 No caso de túneis em solo, investigações especiais para detalhamento do projeto, tais como sondagens complementares, piezômetros, amostragens especiais de formações típicas e respectivos ensaios. No caso de túneis em rocha, mapeamento geológico, em escala adequada das paredes e abóbada da escavação, tão logo as condições de segurança permitam, usando, para isso, métodos de escoramento (tiran^{tes}, cambotas, etc.) de forma a permitir o avanço dos trabalhos com a segurança devida.

12.3.1.2 Execução de galeria em trecho de seção prevista em solo, caso necessário determinar, com precisão, as características do terreno, o efeito de água subterrânea e os esforços no escoramento; execução de ensaios "in situ" em nichos e galerias especialmente abertas no maciço rochoso.

12.3.2 *Análises e estudos recomendados*

Na fase de projeto executivo, devem ser executados todos os cálculos de verificação de estabilidade e de dimensionamento de todos os componentes estruturais da obra.

12.3.3 *Resultados obtidos*

12.3.3.1 Indicação final dos métodos de escoramento e revestimento, com base na caracterização geotécnica final, no mapeamento geológico sistemático e nas análises e estudos realizados.

12.3.3.2 Elaboração do projeto final de instrumentação e controle e seus acompanhamentos, possibilitando eventuais revisões ou adaptações do projeto a situações particulares de obra.

12.3.3.3 Elaboração de desenhos "como-construído" com representação do mapeamento geológico e da caracterização geotécnica, métodos construtivos, escoramentos e revestimentos aplicados e posição da instrumentação instalada.

13 BARRAGENS E ESTRUTURAS ANEXAS

Este capítulo estabelece diretrizes para a determinação das características geológico-geotécnicas das estruturas e formações que suportarão a barragem e seu reservatório, assim como os materiais e métodos a serem empregados na sua construção se for barragem de terra, de enrocamento ou mista, visando principalmente dotar essas obras de características de durabilidade e segurança.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

13.1 *Fase de viabilidade*

Compreende a escolha dos locais e eixos alternativos de localização da barragem, visando a obtenção dos parâmetros básicos que permitam decidir sobre a viabilidade técnico-econômica do empreendimento.

13.1.1 *Investigações recomendadas*

13.1.1.1 Obtenção e análise de dados geológico-geotécnicos e hidrológicos disponíveis sobre a região e elaboração de um mapa base geológico regional.

13.1.1.2 Foto-interpretação geológico estrutural, com controle de campo, abrangendo todos os locais das alternativas, em uma área suficiente para delimitação dos parâmetros geológicos regionais básicos.

13.1.1.3 Reconhecimento geológico de superfície, para fornecer subsídios à elaboração de mapa geológico da área indicada nos itens anteriores.

13.1.1.4 Execução de um plano inicial de sondagens a trado, a percussão, rotativas, e, eventualmente geofísicas, a partir dos eixos das alternativas, com a finalidade de definir os materiais constituintes das várias camadas do subsolo local.

13.1.1.5 Execução de um plano inicial de sondagens a trado, percussão, rotativas e abertura de poços nas áreas de empréstimo previamente escolhidas, para pesquisa da potencialidade de materiais passíveis de serem utilizados na construção da barragem.

13.1.2 *Análises e estudos recomendados*

As análises e estudos a serem desenvolvidos nesta fase, devem ter por finalidade a definição das alternativas mais viáveis sob o aspecto técnico-econômico do empreendimento. Compreendem:

- a) elaboração de seções geológico-geotécnicas longitudinais ao eixo das alternativas, apresentando as características do subsolo, de acordo com as informações obtidas nas companhias de sondagem;
- b) elaboração do pré-dimensionamento das estruturas, visando determinar em cada alternativa estudada, os métodos executivos e os materiais de construção a serem empregados de acordo com suas disponibilidades locais;
- c) execução de análises técnicas e econômicas comparativas para as diversas alternativas.

13.1.3 *Resultados obtidos*

Os estudos realizados devem ser suficientes para se alcançar detalhamento tal que

permita a quantificação dos problemas técnicos e econômicos para a escolha de qualquer uma das alternativas. A conclusão destes estudos deve se concretizar com a definição da alternativa mais adequada.

13.2 *Fase de projeto básico*

Compreende o desenvolvimento dos estudos para a alternativa escolhida, de forma a se determinar as características básicas das estruturas e as quantidades de serviço previstas, assim como elaboração de todos os documentos necessários à construção das obras.

13.2.1 *Investigações recomendadas*

13.2.1.1 Nesta fase devem ser complementadas as investigações preliminares realizadas na fase anterior, visando caracterizar plenamente as condições geológicas e geotécnicas de fundação do eixo de barragem escolhido.

13.2.1.2 Devem ser abertos poços de inspeção na área de implantação da barragem, para retirada de amostras deformadas e indeformadas que possibilitem a execução de ensaios para determinação das características de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos materiais da fundação, aqui consideradas as duas ombreiras.

13.2.1.3 Nas fundações das estruturas de concreto, quando possível, devem ser abertos poços de inspeção no maciço rochoso, para execução de ensaios "in situ".

13.2.1.4 Devem prosseguir os ensaios iniciados na fase anterior relacionados com a caracterização dos materiais das áreas de empréstimo, programando-se os ensaios complementares necessários, tais como: dispersibilidade, expansibilidade, ensaios de filtro, abrasão, etc.

13.2.2 *Análises e estudos recomendados*

13.2.2.1 Com base nos resultados das investigações, elaboração de seções geológico-geotécnicas, longitudinais e transversais ao eixo da barragem.

13.2.2.2 Com base nos resultados das pesquisas das áreas de empréstimo, elaboração de seções geológico-geotécnicas das áreas, indicando as características dos materiais a serem explorados. Elaboração também de quadros representativos dos resultados dos ensaios realizados, tais como: condicionamentos do teor de umidades, faixas granulométricas dos materiais, ensaios de compactação, ensaios de caracterização, tratamento das áreas de empréstimo, etc.

13.2.2.3 Com base nos resultados dos ensaios de laboratório e "in situ", realizados com materiais da fundação e das áreas de empréstimo, escolha dos parâmetros

dos solos e dimensionamento da estrutura total da barragem, efetuando-se as respectivas análises de estabilidade, estudos de deformações, estudo de percolação, etc.

13.2.2.4 Determinação, com base nas seções típicas então definidas da barragem, dos métodos construtivos e quantidades de materiais necessários para sua execução.

13.2.2.5 Definição, com base nas locações prévias das estruturas, do sistema de fechamento e desvio do rio.

13.2.2.6 Definição de um cronograma de execução das estruturas visando controlar e otimizar os trabalhos, prevendo-se as datas de início e término de cada uma das atividades.

13.2.2.7 Elaboração de especificações técnicas para orientação de todos os serviços a serem executados no local da barragem e seu reservatório.

13.2.2.8 Deve ser elaborado, ainda, segundo norma técnica específica, um projeto de instrumentação para o acompanhamento do desempenho das obras.

13.2.3 *Resultados obtidos*

13.2.3.1 Os estudos e análises de 13.2.2 são apresentados de forma a conter todas as informações e conclusões básicas a respeito das estruturas componentes da barragem e obras anexas.

13.2.3.2 Também, devem ser apresentadas as planilhas de quantidades e custos.

13.3 *Fase de projeto executivo*

Compreende o acompanhamento da execução de todas as estruturas componentes da barragem e anexos, ajustando-se os métodos construtivos empregados e adequando-se o projeto básico a eventuais particularidades encontradas no campo.

13.3.1 *Investigações recomendadas*

13.3.1.1 Sempre que possível e de acordo com as condições locais de cada obra, devem ser executados aterros e escavações experimentais que possam servir de base para definição de métodos construtivos e equipamentos. Com o prosseguimento da execução dos aterros e escavações podem ser elaborados novos planos de investigações que possam auxiliar na perfeita determinação das reais condições geológico-geotécnicas encontradas no campo.

13.3.1.2 De acordo com necessidades eventuais da obra, podem ser programadas investigações de novas áreas de empréstimo de materiais a serem utilizados na execu

ção da barragem.

13.3.1.3 Para melhor acompanhamento da execução das estruturas, em especial dos aterros, devem ser realizados ensaios de controle rotineiros, de tal modo a se observar sempre as faixas de valores previamente estabelecidas como aceitáveis.

13.3.1.4 Após escavações do local até o nível das fundações e sendo necessário ou recomendável, execução de ensaios adicionais "in situ" no maciço de fundação da barragem e das estruturas de concreto, visando determinar as reais características de estanqueidade, resistência e compressibilidade que possam justificar eventuais tratamentos adicionais.

13.3.1.5 Execução do mapeamento geológico-geotécnico definitivo das fundações da barragem e obras anexas, para posterior inclusão no relatório "como-construído".

13.3.2 *Análises e estudos recomendados*

13.3.2.1 Nesta fase do projeto devem ser revistos, de acordo com as informações recebidas da obra, os estudos, desenhos, notas técnicas e especificações, com graus de detalhes suficientes para orientar todos os serviços necessários.

13.3.2.2 Também devem ser verificados todos os cálculos e análises de dimensionamento efetuados na fase de projeto básico, visando determinar as reais características de segurança da obra.

13.3.3 *Resultados obtidos*

13.3.3.1 Projeto de todas as estruturas envolvidas, de modo a permitir as suas exatas locações em campo e orientando, quando possível, a construção em todos os seus detalhes.

13.3.3.2 Indicação final dos métodos construtivos e do acompanhamento de execução das obras.

13.3.3.3 Elaboração do projeto final de instrumentação e controle, segundo norma brasileira específica.

13.3.3.4 Após o término das obras, elaboração do relatório de projeto "como-construído", indicando-se o estado final das obras como realmente executadas, citando-se as particularidades encontradas, de tal modo a tornarem reais quaisquer análises futuras.

14 PAVIMENTOS

Este capítulo estabelece diretrizes para a determinação dos condicionamentos geo-

lógicos e a definição dos parâmetros geotécnicos, de forma a permitir a escolha do melhor tipo de pavimento, seu dimensionamento, reforço ou recapeamento de pavimento existente.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

14.1 *Fase de viabilidade*

Compreende a obtenção de dados geológicos, pedológicos, geotécnicos e climáticos para uma primeira avaliação e escolha do tipo e de espessuras preliminares do pavimento, bem como das ocorrências de materiais de empréstimo.

14.1.1 *Investigações recomendadas*

14.1.1.1 Obtenção e análise de dados geológicos, pedológicos, geológicos e climáticos sobre a região, objetivando o aproveitamento máximo de dados e experiência disponíveis sobre as condições do local da obra e dos materiais potencialmente utilizáveis na construção do pavimento.

14.1.1.2 Foto-interpretação geológico-estrutural com controle de campo, para identificação e de limitação de materiais naturais e, quando o subleito já estiver implantado, o reconhecimento de campo deve se deter na observação de sua natureza e de suas condições de superfície e de drenagem.

14.1.2 *Análises e estudos recomendados*

14.1.2.1 Análise dos dados obtidos, objetivando a classificação dos vários materiais e das ocorrências disponíveis para a construção do pavimento.

14.1.2.2 Avaliação de custo aproximado, com precisão compatível, para análise de viabilidade econômica e comparação das várias alternativas tecnicamente possíveis.

14.1.3 *Resultados obtidos*

Sugestão das alternativas técnico-econômicas mais interessantes, incluindo o tipo de pavimento, seu pré-dimensionamento e as ocorrências julgadas viáveis, com as respectivas distâncias e tipos de materiais.

14.2 *Fase de projeto básico*

Compreende a obtenção de dados geotécnicos para escolha de tipo final e espessura básicas do pavimento, de forma a apurar as quantidades de serviços previstas e elaborar todos os documentos necessários à construção das obras.

14.2.1 *Investigações recomendadas*

14.2.1.1 Reconhecimento geológico de superfície, com elaboração de mapa geológico.

14.2.1.2 Execução de sondagens de reconhecimento com retirada de amostras que permitam uma quantificação da estrutura do subleito, inclusive de suas condições hidrológicas.

14.2.1.3 Ensaios em laboratório de: caracterização, compactação, CBR, triaxial, permeabilidade, ensaios "in situ" de: CBR, prova de carga de placa e resistência à penetração dinâmica.

14.2.1.4 Execução de sondagens para estudo de ocorrência de materiais de empréstimo.

14.2.2 *Análises e estudos recomendados*

14.2.2.1 Com base no resultado das investigações, elaboração de seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais da área a ser pavimentada e áreas adjacentes influenciadas pela, ou influenciando a, pavimentação, bem como das áreas de empréstimo.

14.2.2.2 Escolha dos parâmetros para dimensionamento do pavimento, com base nos resultados das investigações executadas e de dados existentes.

14.2.2.3 Estudo da drenagem do pavimento

14.2.3 *Resultados obtidos*

Projeto básico do pavimento a partir dos estudos e análises anteriores, incluindo gráficos e tabelas de resultados de investigações geotécnicas e de quantidades de materiais e serviços, desenhos, seções típicas e memorial justificativo.

14.3 *Fase de projeto executivo*

Compreende a obtenção de todos os elementos que permitam o dimensionamento detalhado a partir das características das diversas camadas envolvidas, inclusive as quantidades, custos e técnicas adequadas para a construção do pavimento.

14.3.1 *Investigações recomendadas*

14.3.1.1 Detalhamento do mapa geológico da fase anterior.

14.3.1.2 Sondagens complementares, a trado e à percussão, para a delimitação das diversas camadas constituintes do subleito, espaçadas de maneira compatível com a maior ou menor homogeneidade das mesmas camadas e do grau de detalhamento necessário.

14.3.1.3 Ensaios de CBR "in situ" (para obras já implantadas).

14.3.1.4 Determinação da deflexão e bacia de deformação com uso de vigas de Benkelmann (para recapeamento e reforço do pavimento).

14.3.1.5 Sondagem rotativa em pavimento existente e para complementação do estudo de ocorrências de materiais pétreos.

14.3.1.6 Ensaios de laboratório, complementando os da fase do projeto básico: caracterização, compactação, CBR e triaxial de solos; granulometria, forma dos grãos, abrasão e adesividade dos agregados.

14.3.2 *Análise e estudos recomendados*

14.3.2.1 Complementação e detalhamento das seções geológicas - geotécnicas da fase anterior.

14.3.2.2 Estudo e preparação tabelas e gráficos com resultados de todas as investigações geotécnicas.

14.3.2.3 Escolha de parâmetros para o dimensionamento final do pavimento.

14.3.2.4 Dimensionamento estrutural do pavimento.

14.3.2.5 Detalhamento da drenagem do pavimento.

14.3.2.6 Análise e estudo final de custo.

14.3.3 *Resultados obtidos*

14.3.3.1 Projeto final do pavimento novo, de pavimento existente ou de camada de recapeamento de pavimento gasto, incluindo desenhos, especificações, métodos construtivos, tabelas, etc.

14.3.3.2 Plano de controle tecnológico, quando solicitado ou quando, devido a peculiaridades locais, houver necessidade de efetuar-lo segundo critérios não convencionais.

14.3.3.3 Plano de instrumentação de acompanhamento, quando essa atividade for considerada indispensável para avaliação do desempenho global, ou de partes do pavimento, em função do tempo e de forma a permitir alterações adequadas no projeto face aos resultados obtidos.

14.3.3.4 Elaboração de desenhos "como-construído".

15 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS

Neste caso visa-se estabelecer diretrizes gerais para o projeto de estabilização de taludes naturais, tanto em solo como em rocha, destacando as informações geológicas pertinentes e definindo não só os parâmetros geotécnicos que permitam a análise segundo possíveis situações de rupturas e deformações compatíveis com a finalidade da obra, bem como a influência do método construtivo na segurança final do talude a ser estabilizado.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo os estudos em suas fases características.

15.1 *Fase de viabilidade*

Compreende a coleta de dados existentes e cadastramento adequado, feito "in loco", que fornecem uma visão global do problema e permitem a elaboração da concepção preliminar do projeto.

15.1.1 *Investigações recomendadas*

15.1.1.1 Informações cadastrais, baseando-se na obtenção de elementos já existentes relativos à região e os locais de estudos, isto é, mapas, desenhos, detalhes, etc., concernentes aos aspectos geológicos, pedológicos, hidrológicos, de vegetação e de interferências humanas, além de dados geomorfológicos e geotécnicos, tais como tipos de ocorrências de solo, resultados de ensaios de laboratório, sondagens, etc.

15.1.1.2 Levantamentos expeditos das várias características dos taludes existentes que proporcionarão a elaboração de croqui em escalas adequadas e suficientes para uma primeira análise.

15.1.1.3 Visita ao local, visando um contacto mais direto e definição das diretrizes para as etapas posteriores.

15.1.1.4 Investigações geológico-geotécnicas com mapeamento superficial e sondagens em números adequados para simples reconhecimento das ocorrências de solo ou rocha. Estas investigações tornam-se obrigatórias para qualquer tipo de obra, quer sejam definitivas ou provisórias e não devem ser suprimidas em nenhuma situação, quer se trate de área local ou área regional.

15.1.2 *Análises e estudos recomendados*

Nesta fase devem ser analisadas as soluções e métodos executivos compatíveis com a obra:

- a) elaboração de seções topográficas extraídas de plantas existentes e

- corrigidas com as informações fornecidas pelas investigações realizadas;
- b) elaboração de seções geológico-geotécnicas com os elementos existentes ou complementados pelas investigações de campo e mapeamento superficial;
 - c) elaboração, com base em parâmetros estimados, de análises de ruptura expeditas, que permitam a escolha de taludes de projetos técnica e economicamente viáveis.
 - d) previsão de métodos construtivos viáveis e indicação das obras complementares (drenagem, proteção superficial, etc.).

15.1.3 *Resultados obtidos*

15.1.3.1 Os estudos recomendados devem proporcionar todas as informações necessárias para a escolha da solução técnica e economicamente mais adequada, tendo em vista as características e necessidades locais e a finalidade colimada: proteção ecológica, de obras viárias, residenciais, industriais, etc.

15.1.3.2 Eventualmente, podem se evidenciar dos estudos áreas com instabilidade localizadas e de pequeno volume, onde seja economicamente mais indicado a não interferência no processo natural, cabendo apenas medidas preventivas de segurança, ou de desobstrução (após o que se fará um tratamento do local).

15.2 *Fase de projeto básico*

Compreende a caracterização geométrica das obras de estabilização e a avaliação de custos para sua execução, através do desenvolvimento da solução adotada e sua quantificação.

15.2.1 *Investigações recomendadas*

15.2.1.1 Topografia compatível com as características da obra e com nível de detalhes satisfatórios, afim de não comprometer o fornecimento de elementos para projeto (ex. talvegues, riachos, florestas, etc.).

15.2.1.2 Investigações por meio de sondagens, poços de inspeção, retirada de amostras deformadas e indeformadas, ensaios "in situ", de caracterização e de resistência.

15.2.1.3 Mapeamento geológico e pedológico detalhado das áreas de projeto.

15.2.1.4 Complementação dos elementos já levantados na etapa anterior, com respeito a dados hidrológicos regionais e condições de drenagem do local (se as características do projeto exigirem, deverão ser instalados aparelhos medidores, ca

so não existam na Região).

15.2.2 *Análises e estudos recomendados*

15.2.2.1 Com base no resultado das investigações, elaboração de seções geológicas longitudinais, transversais e planta com mapeamento detalhado, além do texto explicativo.

15.2.2.2 Escolha dos parâmetros de resistência mais representativos, sendo fundamental a consideração da presença e influência da água.

15.2.2.3 Análise, através de processos adequados à fenomenologia atuante, da estabilidade do talude natural e projetado, levando-se em conta: os parâmetros de resistência e sua modificação com o tempo, geometria necessária, pressões neutras, sobrecargas atuantes, definindo-se um fator de segurança contra rupturas e deformações previstas compatível com as condições locais.

Nota: Dependendo das características da obra, podem ser resumidos ou suprimidos alguns itens desta fase, desde que não comprometam a sua segurança e o desenvolvimento das etapas futuras.

15.2.3 *Resultados obtidos*

15.2.3.1 Apresentação de desenhos, memórias de cálculo, relatórios justificativos das soluções adotadas, detalhes fundamentais e dos resultados das investigações feitas.

15.2.3.2 Estimativa de quantidades, custos e apresentação da sequência executiva dos métodos escolhidos.

15.3 *Fase de projeto executivo*

Detalhamento dos métodos executivos previstos, com a confirmação ou revisão dos resultados da fase anterior; definição das obras de contenção ou estabilização e de proteção superficial exigíveis para o talude estudado.

15.3.1 *Investigações recomendadas*

15.3.1.1 Topografia de precisão, com amarração dos pontos em rede de malhas de coordenadas, quando necessário.

15.3.1.2 Complementação das investigações geotécnicas com maior número de sondagens, poços e ensaios de laboratório, caso necessário.

15.3.1.3 Eventualmente, em função da solução de contenção ou estabilização escolhida, ensaios prévios especiais (injeções, perda d'água, tirantes, etc).

15.3.1.4 Levantamento de dados para a emissão de especificações técnicas sobre todos os elementos construtivos a serem utilizados na contenção ou estabilização projetada.

15.3.2 *Análises e estudos recomendados*

15.3.2.1 Estudos geotécnicos com maior grau de detalhamento, levando-se em conta o projeto escolhido.

15.3.2.2 Estudos hidrológicos, com o desenvolvimento das obras de drenagem superficial e profunda.

15.3.2.3 Análises de estabilidade complementares, com a otimização descrita em 15.3.2.1.

15.3.2.4 Dependendo das características da obra, haverá a previsão de instrumentação adequada para conferir as hipóteses de cálculo e registrar o comportamento do talude.

15.3.3 *Resultados obtidos*

15.3.3.1 Indicação final dos detalhes topográficos.

15.3.3.2 Descrição do método executivo e sequência do desenvolvimento dos serviços com os detalhes finais correspondentes.

15.3.3.3 Apresentação de memorial de cálculos completo, desenhos de construção e especificações técnicas de todos os serviços previstos.

15.3.3.4 Cronograma e planilha de quantidades.

15.3.3.5 Documentação das modificações introduzidas durante a execução das obras, em função de adaptação dos métodos às condições locais, com correspondente apresentação de desenhos "como-construído" com indicação de métodos construtivos utilizados.

15.3.3.6 Locação da instrumentação, conforme 15.3.2.4.

16 DESEMPENHO DE OBRAS

Este capítulo estabelece diretrizes gerais para o acompanhamento do desempenho de obras, em seu aspecto geotécnico, através de instrumentação, ou de inspeção, an-

tes, durante e após a sua construção. O projeto de instrumentação geotécnica visa a medida direta de grandezas físicas necessárias à interpretação e previsão do desempenho das obras com referência aos critérios de segurança e econômicos adotados na fase de projeto, ou segundo o estágio de conhecimentos técnicos na atualidade. O plano de inspeção e de acompanhamento de obras, durante e após a construção, bem como durante a operação, tem por finalidade observar qualquer evento, cuja análise permita medidas preventivas ou considerações especiais para a segurança de obras.

Nota: O desenvolvimento do projeto se processa segundo suas fases características.

16.1 *Fase de viabilidade*

16.1.1 *Investigações recomendadas*

Nesta fase é realizada uma análise global da obra, e em particular de seus elementos geológicos e geotécnicos, a fim de se obter subsídios para verificação da necessidade ou não de se observar o comportamento das obras sob o efeito das solicitações previstas. Desta forma, podem ser identificados os elementos geotécnicos que mereçam ser observados, e as fases em que os mesmos devem ser medidos.

16.1.2 *Análises e estudos recomendados*

No caso das investigações anteriores terem demonstrado a necessidade de instrumentação, serão feitos os levantamentos pertinentes junto aos fabricantes de equipamentos para a obtenção de dados técnicos, modelos disponíveis, prazos de entrega, preços e, principalmente, atestados de órgãos de pesquisa ou similares quanto à qualidade, resultados de ensaios, calibração e restrições ao uso dos instrumentos.

16.1.3 *Resultados obtidos*

Na conclusão dos estudos de viabilidade, deve ser elaborado um relatório justificativo da necessidade da instrumentação e sua estimativa, com a escolha dos tipos e modelos dos instrumentos, a discriminação de suas vantagens técnicas e econômicas, como também, de uma pesquisa bibliográfica sobre o comportamento de obras similares já construídas em áreas de mesmo condicionamento geológico-geotécnico.

16.2 *Fase de projeto básico*

16.2.1 *Investigações recomendadas*

Na fase de projeto básico, devem ser desenvolvidos estudos procurando definir, de maneira precisa e pormenorizada, os objetivos de cada tipo de instrumento previsto, sendo indispensável determinar, previamente, a faixa de comportamento normal de cada grandeza física que será medida, tendo em vista o tipo de obra e projeto.

16.2.2 *Análises e estudos recomendados*

Devem ser realizados os seguintes estudos:

- a) coleta, análise interpretativa e síntese de todos os dados relativos ao projeto das obras;
- b) avaliação geral do possível comportamento do sistema interativo terreno-estrutura, com base em teorias, ou na experiência corrente;
- c) análise detalhada de cada grandeza física a ser medida, prevendo-se faixas de valores consideradas normais e aceitáveis.

16.2.3 *Resultados obtidos*

Como resultado dos estudos realizados, devem ser elaborados os seguintes documentos:

- a) documentação técnica constituída por um conjunto de desenhos indicando detalhes de instalação de cada instrumento e suas respectivas locações, incluindo o posicionamento das centrais de observação;
- b) documentação técnica referente à especificação do tipo, do modelo e da quantidade de cada instrumento, dos aparelhos de medição, e dos equipamentos auxiliares;
- c) organograma da equipe necessária para instalação, manutenção e operação dos instrumentos;
- d) relatório justificativo dos locais escolhidos para a instalação dos instrumentos, precisão das medidas, faixas de funcionamento dos instrumentos, frequência de leituras e períodos de observações previstos.

16.3 *Fase do projeto executivo*

16.3.1 *Investigações recomendadas*

Na fase de projeto executivo, devem ser definidos, com a maior precisão possível, os limites de comportamento normal de cada grandeza a ser medida, tendo em vista o tipo de obra e o projeto, e os limites de comportamento anômalo que exija tanto mobilização de novos estudos, ou configuração de emergência.

16.3.2 *Análises e estudos recomendados*

Os resultados das medições e os relatórios de inspeção devem ser remetidos, sistematicamente, ao responsável pelo projeto das obras, a fim de serem submetidos a análise interpretativas, sendo absolutamente indispensável o encaminhamento rápido desses dados e um perfeito entrosamento técnico entre o responsável pelo empreendimento e o responsável pelo projeto. Durante a fase de construção das obras, o plano de observação, elaborado no projeto básico, pode ser revisto para adaptação aos dados e condições reais encontradas.

16.3.3 *Resultados obtidos*

No decorrer do projeto executivo, devem ser elaborados os seguintes documentos:

- a) desenho "como-construído" na obra, indicando a posição exata de cada instrumento instalado, das centrais de observação e das ligações entre instrumentos e centrais;
- b) desenhos "como-construído", mostrando detalhes das centrais de observação, com a distribuição dos aparelhos de medição e dos equipamentos auxiliares;
- c) especificações técnicas relativas a calibração, instalação, manutenção, operação e periodicidade de leituras dos instrumentos;
- d) relatórios de visitas de inspeção, com observações sobre o comportamento geral da instrumentação;
- e) relatório de observação, onde são apresentados os resultados das medidas, preferencialmente sob a forma de gráficos, os quais, além das próprias medidas, devem conter as evoluções de todas as solicitações externas que contribuam para as variações das leituras, tais como progresso de construção de um aterro ou de uma estrutura de concreto, variações de nível d'água de um reservatório ou rio, progresso de escavações, etc.,
 - deste relatório deve constar principalmente uma análise interpretativa e detalhada do comportamento da instrumentação, observando-se sempre as faixas de valores previamente determinadas como normais ou anômalas.

17 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo orienta, de maneira genérica, a apresentação dos resultados obtidos na elaboração do projeto geotécnico. As peculiaridades relacionadas a cada tipo de projeto constam dos capítulos respectivos.

17.1 *Generalidades*

17.1.1 *Conteúdo*

Os resultados obtidos, devem, nos casos gerais, ser constituídos das seguintes fases:

- a) investigações geotécnicas de campo e de laboratório,
 - preliminares;
 - detalhada;
- b) interpretação, análises e cálculos;
- c) conclusões e recomendações.

17.1.2 *Forma de apresentação*

Os resultados obtidos devem ser apresentados sob as formas seguintes:

- a) mapas, plantas, perfis, croquis e outras representações gráficas;
- b) tabelas e quadros;
- c) texto e/ou memorial;
- d) fotografias e outros tipos de representação (estereograma modelos reduzidos, etc.).

17.1.3 *Variações admissíveis*

Os detalhes de apresentação dos resultados devem ser escolhidos tendo em vista sobretudo os fatores seguintes: tipo, vulto e importância da obra, complexidade geotécnica das condições locais, etc.

17.2 *Apresentação dos resultados das investigações geotécnicas de campo e laboratório*

17.2.1 *Considerações preliminares*

17.2.1.1 Os resultados considerados devem, na medida do possível, traduzir com a máxima fidelidade os dados obtidos.

17.2.1.2 Devem, na medida do possível, seguir a forma de apresentação de acordo com as fases aqui consideradas. Em obras complexas, etapas intermediárias podem ser necessárias e, nesses casos, adaptações convenientes devem ser feitas.

17.2.2 *Investigações geotécnicas preliminares*

Os resultados obtidos nesta fase podem consistir, nos casos gerais, dos seguintes elementos:

- a) mapas ou croquis, geológicos e geotécnicos, da área envolvida pelo projeto, podendo, conforme o caso, consistir apenas de cópias ou adaptação daqueles elaborados em trabalhos anteriores,
 - as escalas gráficas e legendas devem constar obrigatoriamente, bem como a localização da obra ou obras;
 - devem assinalar adequadamente, os pontos de prospecção e amostragem;
- b) fotografias que ilustrem as condições geológico-geotécnicas regionais e locais, relacionadas com a obra em projeto;
- c) texto e/ou memorial contendo, no mínimo,
 - fontes dos elementos referidos em a);
 - sistemática adotada para obtenção dos dados básicos, de campo e laboratório; em alguns casos, essa sistemática pode referir-se exclusivamente à interpretação dos dados preexistentes, sem envolver obrigatoriamente trabalhos de campo e de laboratório;

- concepção e características das unidades geológicas e geotécnicas referidas em a), quando as mesmas não sejam consideradas;
 - recomendações sobre estudos geotécnicos mais detalhados, cujos resultados devem ser apresentados de acordo com o estipulado em 17.2.3;
- d) resultados de sondagens, ensaios, etc, quando os mesmos forem executados nesta etapa. Esses resultados devem ser apresentados conforme detalhado em 17.2.3.

17.2.3 *Investigações geotécnicas detalhadas*

Os resultados obtidos nesta fase podem consistir nos casos gerais dos elementos seguintes:

- a) mapas e plantas geotécnicas: em escala compatível com as características da obra. As unidades representadas devem estar devidamente definidas e caracterizadas no texto ou memorial que se refere a alínea g). Deles devem constar a representação da obra em projeto e os pontos de prospecção e de amostragem. Em casos mais simples, os elementos aqui considerados podem ser substituídos pelos referidos na alínea b);
- b) planta de localização dos pontos de prospecção: em escala adequada e amarrada a referências permanentes, contendo necessariamente os prefixos e números dos pontos ou linhas de prospecção (furos, cavas, poços, galerias, etc.);
- c) seções geotécnicas que devem atender às condições a seguir,
 - escala compatível com a precisão dos estudos geotécnicos envolvidos;
 - discriminação das camadas e condições hidrológicas do subsolo, com utilização de terminologia consagrada;
 - posição dos pontos de prospecção, amostragem e ensaios "in situ", devidamente identificados;
 - posição da obra e das regiões afetadas pela sua construção;
 - caso possível, apresentar os parâmetros geotécnicos das camadas representadas e de maior interesse aos estudos geotécnicos;
 - data de determinação dos dados de campo;
- d) perfis individuais: sempre que os dados essenciais obtidos nas sondagens e trabalhos correlatos não puderem ser representados adequadamente nas seções geotécnicas referidas na alínea c) acima, os mesmos podem ser apresentados nos perfis de sondagens e pontos de ensaios. Esses perfis devem conter no mínimo, os dados seguintes,
 - designação do perfil;
 - tipo do perfil, definido pelo método de sondagem ou processo similar (poço, galeria, perfilagem geo-elétrica, etc).

- escala vertical, indicando, pelo menos, a profundidade e cota da boca do furo;
 - descrição sumária essencial dos materiais constituintes das camadas e de suas condições hidrológicas (inclusive posição do nível d'água ou sobrepressão e data de sua medida);
 - pontos de amostragem e tipos de amostras colhidas;
 - data de execução e operador responsável;
 - resultados de ensaios "in situ";
 - diâmetro máximo de revestimento de sondagem utilizado em cada trecho;
- e) tabelas e quadros resumo dos resultados de ensaios: as amostras cujos resultados de ensaios aparecem nestes quadros devem estar identificadas de maneira que os correspondentes pontos de sua retirada e as camadas que representam possam ser facilmente localizados nos elementos considerados nas alíneas a), b), c) e d) anteriores,
- deve-se fazer constar a abreviatura do método de ensaio adotado na obtenção do resultado tabelado;
- f) resultados completos de ensaios: quando se tratar de ensaios cujos resultados dependem de condições prefixadas não padronizadas ou de interpretações não padronizadas, todos os dados considerados ou prefixados devem ser devidamente apresentados;
- g) texto e/ou memorial: deve conter, pelo menos, os dados a seguir:
- metodologia dos trabalhos de campo, compreendendo simples referência ao método quando o mesmo for devidamente padronizado, ou referência bibliográfica completa, ou ainda descrição do método, em anexo, quando esse método não for devidamente padronizado;
 - descrição das principais unidades geotécnicas, geológicas ou outras consideradas, bem como de suas camadas constituintes;

Nota: Nessa descrição, é indispensável utilizar classificação geotécnica consagrada e elementos descritivos que permitam sua identificação no campo e principais peculiaridades de comportamento que interessem ao projeto da obra.

17.3 Apresentação dos resultados dos estudos geotécnicos

Os resultados obtidos nesta fase devem, nos casos gerais, ser apresentados de forma tal que contenham os elementos seguintes:

- a) metodologia adotada,
- pode consistir de simples referência, no caso de métodos considerados consagrados e de referência bibliográfica completa, no caso contrário. Se o método adotado for inédito, a sua descrição deve ir em anexo;

- b) parâmetros e condições básicas adotadas,
 - discriminação de todos eles, de maneira clara, justificando se necessário sua adoção ou origem. Na medida do possível, devem ser agrupados, de maneira a permitir fácil consulta, devem ser considerados nesse agrupamento pelo menos: propriedades físicas, parâmetros de resistência, solicitações externas ao maciço, condições hidrológicas;
- c) cálculos básicos,
 - as várias etapas dos cálculos, devem ser apresentadas de maneira que possam ser facilmente verificadas, devendo constar a fórmula ou fórmulas matemáticas e ábacos utilizados;
 - no caso de serem utilizados ábacos não consagrados, cópias dos mesmos devem ser anexadas;
 - na hipótese de serem utilizados computadores para realização dos cálculos, devem ser apresentadas as listagens dos resultados;
- d) representação gráfica dos resultados dos estudos,
 - deve conter, sob a forma de croquis ou de preferência em escala, a representação do inter-relacionamento das grandezas consideradas.

17.4 *Apresentação das conclusões e recomendações*

Dependendo da fase (viabilidade, projeto básico ou executivo) e das peculiaridades do projeto geotécnico, as conclusões e recomendações devem ser redigidas de maneira a corresponder às condições a seguir.

17.4.1 *Viabilidade técnica*

Manifestação clara sobre a viabilidade técnica, fazendo referência aos resultados obtidos e apresentados em 17.2 e 17.3.

17.4.2 *Recomendações sobre maior detalhamento*

Quando os resultados obtidos não possibilitarem uma definição conclusiva sobre a viabilidade técnica, devem ser apresentadas recomendações que objetivem sanar essa deficiência.

17.4.3 *Acompanhamento geotécnico*

Os condicionantes geotécnicos que eventualmente possam interferir na fase construtiva, ou após a conclusão da obra, devem ser enumerados e a sua importância ressaltada, a fim de que possam ser devidamente considerados.