

ISF 207: ESTUDOS GEOTÉCNICOS

1. OBJETIVO

Definir e especificar os serviços constantes dos Estudos Geotécnicos nos Projetos de Engenharia de Infraestrutura Ferroviária.

2. FASES DOS ESTUDOS

Os Estudos Geotécnicos serão desenvolvidos em duas fases:

- a) Fase de Projeto Básico;
- b) Fase de Projeto Executivo.

3. DETERMINAÇÃO DAS CARGAS

O dimensionamento de uma ferrovia está diretamente ligado à determinação das cargas máximas que atuam nas camadas de sublastro e subleito da via. Desta forma, é essencial o detalhamento das cargas máximas atuantes para que seja possível se determinar a profundidade de paralisação dos SPT e a espessura do sublastro.

Este item deve vir detalhado no corpo do projeto, com a definição de todos os parâmetros considerados, as respectivas justificativas técnicas e a apresentação do memorial de cálculo.

4. EXECUÇÃO DOS ESTUDOS

4.1 FASE DE PROJETO BÁSICO

Os Estudos Geotécnicos na Fase de Projeto Básico consistirão de:

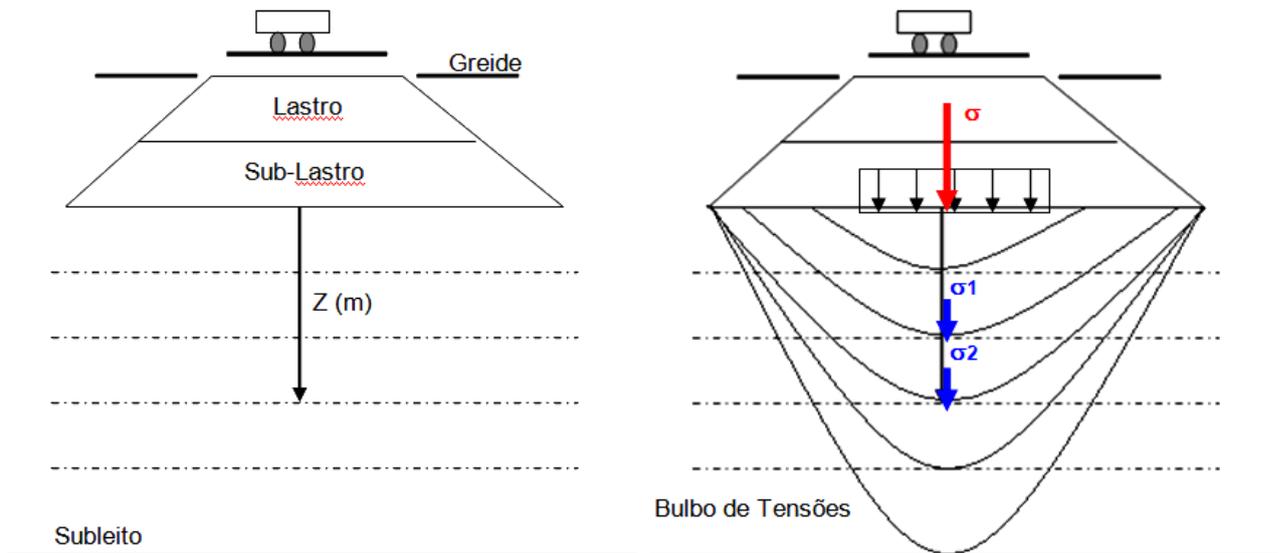
- a) Estudo de subleito;
- b) Estudo de empréstimos e ocorrências de materiais.

4.1.1. ENSAIO SPT – STANDARD PENETRATION TEST

Devido aos altos cortes e aterros existentes em ferrovias, o ensaio SPT é essencial para verificação da capacidade de suporte dos solos in situ. Considerando as altas cargas existentes nestas vias, a paralisação do ensaio se dará ao se encontrar uma camada impenetrável ou ao se chegar a níveis de tensões (σ) compatíveis à carga aplicada.

Neste sentido, detalham-se as seguintes situações:

a) Para cortes

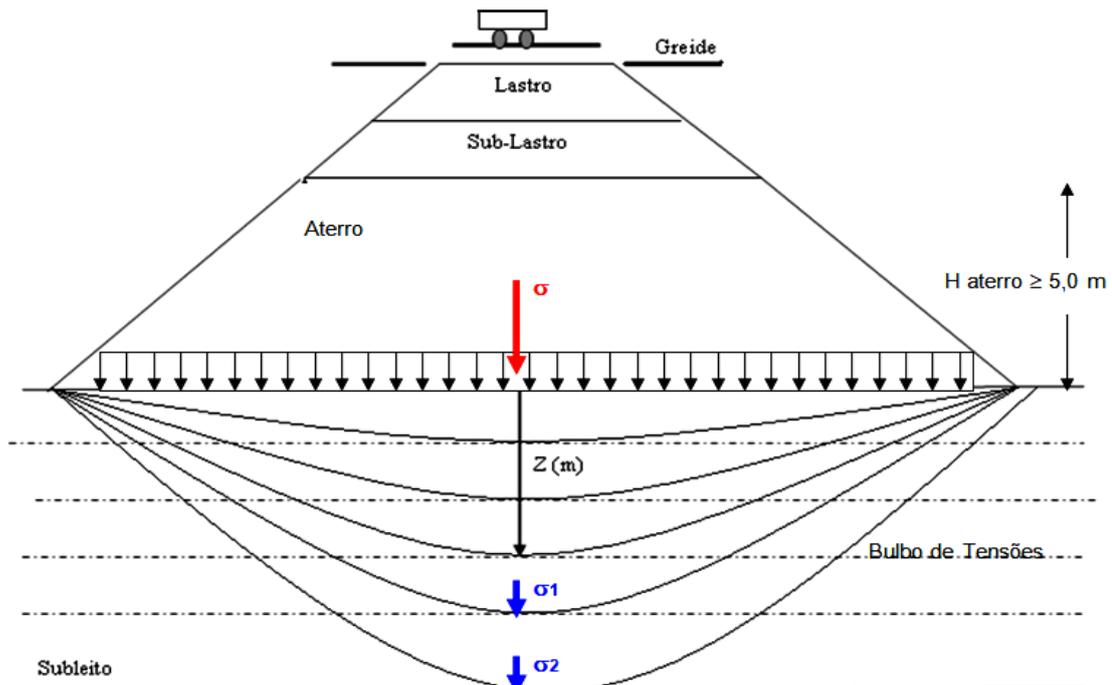


Paralisação de SPT:

- I) Quando $\sigma < \sigma_1$ e $\sigma_1 \leq \sigma_2$ (por pelo menos 1 metro)
- II) Quando chegar a impenetrável

Sendo: σ calculada em função do lastro, trilhos, trem e carga transportada.

b) Para aterros elevados

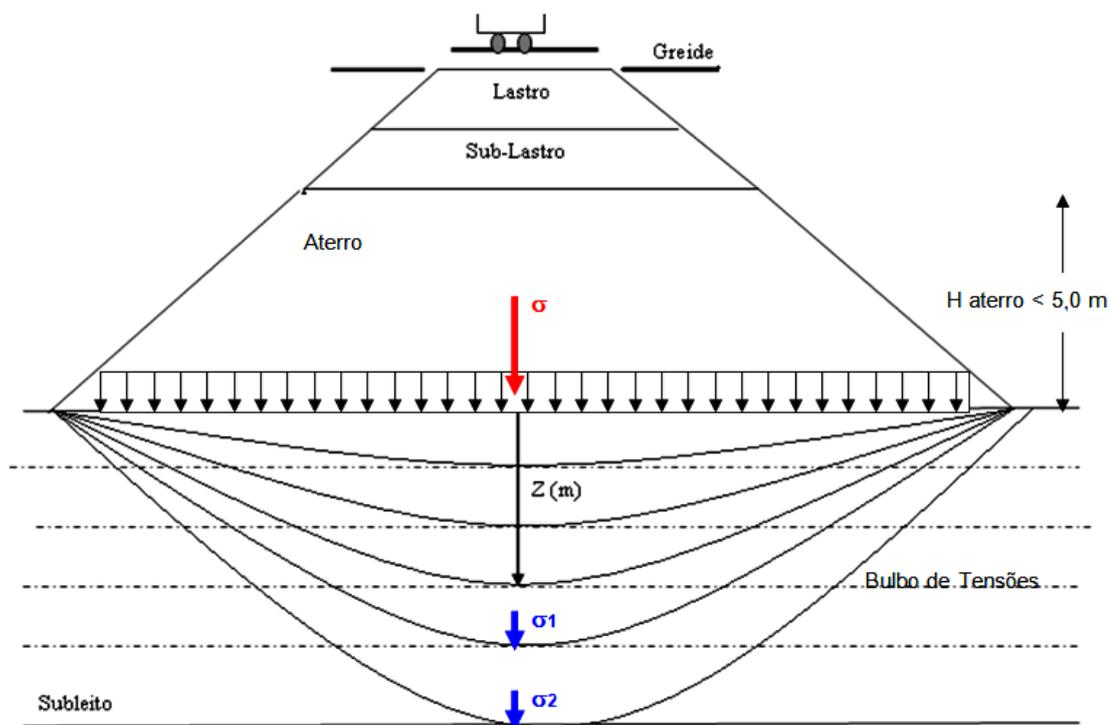


Paralisação de SPT:

- I) Quando $\sigma < \sigma_1$ e $\sigma_1 \leq \sigma_2$ (por pelo menos 1 metro)
- II) Quando chegar a impenetrável

Sendo: σ calculada em função da altura do aterro.

c) Para aterros baixos



Paralisação de SPT:

- I) Quando $\sigma < \sigma_1$ e $\sigma_1 \leq \sigma_2$ (por pelo menos 1 metro)
- II) Quando chegar a impenetrável

Sendo: σ calculada em função do somatório dos esforços provenientes do Aterro, Sub-lastro, Lastro, trilhos, trem e carga transportada.

O ensaio de SPT deverá ser iniciado, com determinação do N_{SPT} (número de golpes do SPT), a partir da cota do greide da ferrovia. Assim, para cortes elevados, deve-se descer com a sondagem, coletando amostras para caracterização, limites, compactação, ISC (Índice de Suporte Califórnia) e expansão, até antes da cota do greide ferroviário, não sendo necessária a determinação do N_{SPT} . A partir da cota do greide da ferrovia é que se inicia a determinação do N_{SPT} .

Para a determinação das tensões atuantes no solo podem ser usadas correlações entre N_{SPT} e tensão admissível em solo. Estas são encontradas na literatura e estão diretamente relacionadas ao tipo de solo. Assim, caso sejam adotadas, apresentar o quadro de correlações, especificando a fonte e detalhando aos critérios usados pelo autor e a motivação técnica para seu uso.

Como exemplo e, apenas a título de referência ver o quadro a seguir em que se insere uma das correlações utilizadas entre N_{SPT} e a tensão no solo.

Compacidade e Consistência dos Solos de Acordo com o S.P.T (Standart Penetration Test)

TABELA 1 – ARGILAS E SILTES ARGILOSOS Correlação entre penetração e tensões admissíveis do solo Kg / cm ²		
N.º de Golpes SPT	Aparência	Kg/cm ²
≤ 2	Muito Mole	0,25
3 a 5	Mole	0,50
6 a 10	Média	1,0
11 a 19	Rija	2,0
> 19	Dura	4,0

TABELA 2 – AREIAS E SILTES ARENOSOS Correlação entre penetração e tensões admissíveis do solo Kg / cm ²			
N.º de Golpes SPT	Aparência	Fadm – Kgf/ cm ²	
< 4	Fofa Solta	{ areia fina e média	1,0
		{ areia grossa	1,5
5 a 8	Pouco compacta	{ areia fina e média	1,5
		{ areia grossa	2,0
9 a 18	Medianamente Compacta	{ areia fina e média	2,0
		{ areia grossa	2,5
19 a 40	Compacta	{ areia fina e média	4,0
		{ areia grossa	4,5

4.1.2. ESTUDO DO SUBLEITO

Ao longo do eixo do traçado selecionado, e baseado em seu Projeto Geométrico (Básico), serão executadas sondagens no terreno, situadas a intervalos de no máximo de 500 m, localizados de forma a se ter no mínimo uma sondagem representativa em cada segmento homogêneo.

Quanto à profundidade de sondagem, esta deve atingir a cota de paralisação do SPT.

As amostras coletadas em cada furo, nos diversos horizontes de material, serão objeto de ensaios de caracterização (limites físicos e análise granulométrica), compactação (proctor normal), ISC, expansão e umidade natural.

No caso de impossibilidade de coleta de amostras nos pontos mais altos dos cortes, serão executadas sondagens próximas aos PP (Pontos de Passagem), até atingir a profundidade de paralisação do SPT, abaixo da cota do greide de terraplenagem, submetendo-se as amostras aos ensaios citados no parágrafo anterior.

Será executada, no mínimo, uma sondagem nas seções centrais das gargantas das linhas selecionadas, com o objetivo da definição da profundidade da rocha, espessura da camada de solo, classificação dos materiais, seguindo-se o mesmo procedimento nas encostas íngremes, zonas coluviais e de tálus.

As sondagens nos cortes para verificação do subleito, com anotação do nível de água verificado, constarão de, no mínimo, três furos, um em cada ponto de passagem (PP) e o outro no meio do corte, todos até a profundidade de paralisação do SPT, abaixo do greide de terraplenagem.

Após determinado o perfil estratigráfico do terreno deve ser feita análise de tensões para que se determine a capacidade do subleito em suportar as cargas aplicadas. Caso o subleito não apresente capacidade de suporte compatível nas primeiras camadas, deve ser estudada a execução de reforço, substituição de materiais, redimensionamento de sublastro, etc.; ou seja, uma solução que seja compatível com a estabilidade da estrutura.

Nas áreas de solos compressíveis e nos locais de implantação dos aterros, deverão ser determinadas as espessuras médias das camadas moles e os valores das coesões e coeficientes de adensamento, obtidos por sondagem e ensaios especiais. Para tal, o mínimo requerido deve seguir as determinações contidas na Norma DNER PRO 381/98 – Projeto de Aterros sobre Solos Moles para Obras Viárias. Cabe salientar que, dependendo do caso em pauta, ensaios e estudos complementares serão necessários. Quanto à determinação do adensamento, este deve ser calculado seguindo as teorias da Mecânica dos solos. Seu estudo deve ser detalhadamente apresentado no corpo do projeto, inclusive com resultados/fichas dos ensaios geotécnicos necessários.

4.1.3 ESTUDO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

Nesta Fase de Projeto Básico, o estudo preliminar das ocorrências compreenderá:

- a) Inspeção expedita no campo;
- b) Sondagens e coleta de amostras;
- c) Ensaios de laboratório.

Nas ocorrências julgadas aproveitáveis pelos estudos geológicos e pela inspeção de campo, serão feitos os seguintes serviços:

- a) Cinco a dez furos de sondagem na periferia e na parte central da área delimitada, convenientemente localizados até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração adotados. Em cada furo de sondagem e para cada

camada, será coletada uma amostra suficiente para a realização dos ensaios de caracterização, compactação, ISC e expansão. Ressalta-se que a determinação do número de furos, deverá ser acrescido, em casos de solos muito heterogêneos, e, áreas muito extensas. Nestes casos, devem ser em número suficiente para bem caracterizar o material em estudo;

- b) Serão anotadas as cotas de mudança de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize. Assim, o material aparente e imprestável, constituinte da camada superficial, será identificado com o nome genérico de capa;
- c) Os outros materiais próprios para uso, serão identificados pela denominação corrente no lugar, como: saibro, cascalho, seixos, e outros;
- d) Será feito um croqui da amarração dos furos de sondagem, anotando-se as distâncias aproximadas entre os mesmos e a posição da ocorrência, em relação à ferrovia em estudo;
- e) As ocorrências existentes em exploração comercial serão, também prospectadas e avaliadas nesta fase;
- f) Uma ocorrência será considerada satisfatória para a prospecção definitiva, quando, pelo menos parte dos materiais existentes satisfizer as especificações vigentes, ou quando revelar a possibilidade de correção por mistura e, ainda, quando seu volume for superior a 10.000 m³;

Cabe ressaltar que, só serão utilizados materiais provenientes de empréstimos, caso o material dos cortes executados não tenha características compatíveis para uso nos aterros ou sua quantidade seja insuficiente. No entanto, todo o volume de material de corte de boa qualidade deve ser utilizado para os aterros, efetuando-se apenas o estudo de empréstimos para o volume necessário a ser complementado.

4.1.4 ESTUDO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAL PARA SUBLASTRO

Estes estudos objetivam a escolha de jazidas para uso no sublastro da ferrovia.

Após a escolha da área, serão lançadas malhas básicas com 160 metros de lado, no máximo.

Em um total de 5 a 12 vértices destas malhas, serão executados furos de sondagens a trado e/ou poços de inspeção e coletadas amostras para realização de ensaios geotécnicos.

As amostras coletadas deverão ser obtidas de cada horizonte e, submetidas aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica sem sedimentação;

- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural;
- Compactação (proctor Intermediário - PI);
- ISC e expansão.

Caso os resultados atendam à Especificação Técnica relativa ao sublastro e o volume estimado atenda às necessidades, passar-se-á a fase definitiva de investigação e, em caso negativo, abandonar-se-á a área.

4.1.5 ESTUDO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS PÉTREOS PARA LASTRO E AGREGADO

Uma primeira indicação para definição de pedreiras potenciais decorre estritamente do reconhecimento geológico e da descrição da litologia, da estimativa da cubagem de volumes (áreas e espessura) da formação e da apreciação de primeiro grau de aproximação dos fatores condicionantes da exploração.

Para efeito de jazimento que objetiva material pétreo para lastro, devem ser atendidas as seguintes condições:

- Estar dentro do lote de Projeto e situado a uma distância máxima de 50 km em relação ao eixo da ferrovia;
- O volume de maciço deverá preferencialmente ser superior a 500.000m³.

O jazimento de material pétreo para agregado, deverá situar-se dentro do lote de Projeto, sem a necessidade das condições restantes mencionadas acima.

Na necessidade de caracterizar o material da pedreira potencial, é retirada uma amostra representativa do jazimento, obtida da extração em afloramentos, para a qual são previstos os ensaios:

- Análise petrográfica (NBR-7390);
- Abrasão Los Angeles (NBR-6465);
- Resistência ao choque (NBR-8938);
- Massa específica, massa específica aparente e absorção (NBR-6458) ;
- Massa unitária (NBR-7251);
- Massa específica, absorção e porosidade (NBR-7418)*;
- Durabilidade (ASTM-C-88)** ;
- Resistência mínima à compressão simples (NBR-6953)*;
- Reatividade Potencial (função do resultado da análise petrográfica) (ASTM-C-289)**.

NOTA: * Objetivando lastro;

** Objetivando agregado.

4.1.6 ESTUDO DE MATERIAIS GRANULARES NATURAIS PARA AGREGADO, FILTROS E COLCHÕES DRENANTES

Nos prováveis areais e cascalheiras, visando a sua exploração, é necessário determinar:

- A espessura e qualidade do estéril (classificação visual e táctil e indicações de consistência) para previsão dos equipamentos e processos construtivos de sua remoção;
- O nível do lençol freático;
- A espessura e qualidade do depósito;
- As necessidades de peneiramento e/ou lavagens em função das análises granulométricas.

Quando a ocorrência se fizer acima do nível d'água, a prospecção e amostragem serão feitas por meio de poços de inspeção. Quando abaixo do nível d'água, empregar-se-á sondagens a percussão. Cabe ressaltar que, para perfis de terreno em que a investigação apenas seja possível com o emprego de sondagens rotativas e/ou sondagens mistas, estas deverão ser utilizadas.

Serão lançadas sobre o jazimento, malhas básicas quadrangulares, estimadas com 160 metros de lado, no máximo. Para efeito de cubagem, serão feitas sondagens nos vértices destas malhas e coletadas amostras do depósito representativas de cada horizonte de solo existente.

As sondagens deverão ser amarradas entre si e determinada à distância da jazida a ferrovia, a fim de se ter ideia das dimensões da ocorrência e das distâncias de transporte envolvidas.

4.1.6.1 Ensaios para agregado

As amostras coletadas dos vértices das malhas básicas, serão misturadas, formando a amostra representativa do depósito, para a qual estão previstos os seguintes ensaios:

- Apreciação petrográfica para agregados (NBR-7389);
- Reatividade potencial (função do resultado da análise petrográfica).

Cada malha básica estimada com 160m de lado, terá um reticulado de cerca de 40 x 40m. Nos vértices deste reticulado serão feitas sondagens e coletadas amostras depois de misturadas, formarão a amostra representativa da malha, para a qual estão previstos os seguintes ensaios:

- Composição granulométrica (NBR-7217);
- Teor de argila em torrões (NBR-7218);
- Teor de material Pulverulento (NBR-7219);
- Teor de matéria orgânica (NBR-7220)*;

- Massa específica, massa específica aparente e absorção (NBR-6458) Massa unitária (NBR-7251);
- Durabilidade (ASTM-C-88).

NOTA: * Objetivando agregado miúdo.

4.1.6.2 Ensaios para filtros e colchões drenantes

As amostras coletadas dos vértices das malhas básicas serão misturadas, formando a amostra representativa do depósito, para a qual estão previstos os seguintes ensaios:

- Composição granulométrica (NBR- 72170) - Teor de argila em torrões (NBR-7218)*;
- Teor de material pulverulento (NBR-7219) - Teor de matéria orgânica (NBR-7220)*.

NOTA: * Objetivando areia.

No caso de depósitos granulometricamente heterogêneos, deverá haver amostras representativas de cada área característica.

4.2 FASE DE PROJETO EXECUTIVO

O Estudo Geotécnico na Fase de Projeto Executivo constará das atividades discriminadas a seguir.

4.2.3 ESTUDO DO SUBLEITO E CORTES

4.2.3.1 ELABORAÇÃO DE PLANO DE SONDAGEM OU INVESTIGAÇÕES

A partir do reconhecimento geológico-geotécnico da faixa do projeto, deverá ser elaborado o plano de sondagens ou de investigações a ser discutido e previamente aprovado pela FISCALIZAÇÃO. Observando que, a fiscalização deve fornecer documento, assinado pelo engenheiro fiscal do DNIT, que comprove a aprovação e verificação dos dados das investigações. A distribuição, espaçamento e número das sondagens/ensaios “in situ” e de laboratório serão orientados em função das características específicas de cada trecho e recomendações a seguir:

4.2.3.2 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os materiais a serem movimentados na fase de terraplenagem, bem como os materiais constituintes do subleito deverão ser caracterizados geotecnicamente, através da

realização de investigações, de tipos e quantidades suficientes a serem definidas no plano de sondagens/investigações.

As sondagens e coleta de amostras dos cortes e subleito deverão contemplar, no mínimo:

- a) Realização de sondagens ao longo dos segmentos de corte, incluindo horizontes subjacentes ao greide de terraplenagem previsto para fins de orientação na elaboração dos projetos de terraplenagem, sublastro e drenagem profunda conforme orientações a seguir:
- b) Furos de sondagem com espaçamentos variáveis em segmentos de corte, máximo de 150m respeitando o número mínimo de furos de sondagens conforme o quadro a seguir:

Extensão do corte	Número mínimo de furos de sondagens
Até 120m	1 furo
120 a 200	2 furos
200 a 300	3 furos
300 a 400	4 furos
Superior a 400m	1 furo a cada 150m

NOTA:

- Os furos deverão ser distribuídos de forma a abranger o segmento inicial, o segmento central e o segmento final do corte;
 - Em trechos cujos perfis longitudinais acompanham o terreno natural (greide colado), e ainda aterros com altura inferior a 0,60m, o espaçamento máximo dos furos de sondagem poderá ser de 200m, para solos homogêneos;
 - A profundidade a ser sondada para fins de coleta de amostras deverá atingir a de paralisação do SPT, abaixo do greide de terraplenagem. Deverá ser coletada uma amostra representativa para cada horizonte de material de todo furo de sondagem e caso não ocorra variação, poderá ser coletada uma amostra a cada 2,0m sondados.
- c) Elaboração do boletim de sondagem, no qual deverá constar a estaca, posição do furo, as profundidades de início e fim do horizonte coletado e a classificação expedita do material.

Se no(s) furo(s) central (is), for (em) alcançado (s) material (is) impenetrável (is) ao trado, ou quando esse processo se tornar inoperante, deverá ser executado furo à percussão.

As sondagens rotativas (\emptyset BX) serão programadas quando ocorrer rocha ou material impenetrável à percussão. A sondagem rotativa deverá ser executada em extensão a ser definida pela PROJETISTA e/ou FISCALIZAÇÃO em função das características

geológicas do local ou até se alcançar a profundidade de paralisação do SPT, abaixo do greide, ou até se obter recuperação de 90% em 5 metros consecutivos de rocha.

A investigação de furos a trado pode ser complementada pela abertura de poços(s) de inspeção, que permite(m) além da inspeção visual e tátil, a determinação da densidade “in situ” e a umidade natural do solo. Estas servem para uma comparação aproximada de volumes de corte e de aterro compactado.

4.2.3.3 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO CONFORME A SEGUIR

- Análise granulométrica por peneiramento simples;
- Análise granulométrica por sedimentação em amostras representativas dos grupos de solos existentes com características geológico-geotécnicas similares;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural
- ;Ensaio de compactação com no mínimo 5 pontos;
- Ensaio de ISC e expansão de todos os pontos.

4.2.4 ESTUDO DE EMPRÉSTIMO PARA O CORPO DE ATERRO

A escolha no campo das áreas de empréstimos será feita em função das indicações do projeto de terraplenagem. Sempre que possível e economicamente indicado, tais empréstimos resultarão do alargamento e/ou suavização dos taludes dos cortes projetados.

As sondagens das áreas de empréstimo deverão ser amarradas entre si. Deverá ser determinada a distância da jazida a ferrovia, a fim de se ter ideia das dimensões da ocorrência e das distâncias de transporte envolvidas.

Os furos são locados de acordo com uma malha básica, de 30 m de lado.

Os furos devem atingir o N.A. ou o impenetrável ao equipamento manual de exploração, visto que, aberto um empréstimo, em geral convém economicamente aprofundar sua exploração tanto quanto possível, desde que tal fato não implique em interferências com a drenagem natural da região.

Em todas as sondagens realizadas deverão ser coletadas amostras deformadas dos horizontes de materiais diversos ou horizontes de 2 metros para o mesmo material.

As amostras colhidas serão submetidas a ensaios de granulometria sem sedimentação, limite de liquidez, limite de plasticidade e umidade natural para cada camada de material em cada furo de malha de 30 m e em furos alternados, inclusive compactação (proctor normal), ISC, expansão e densidade in situ.

Deverão ser apresentadas plantas das ocorrências de materiais, delimitando-se as áreas dos materiais aproveitáveis, bem como os perfis dos solos correspondentes.

O número mínimo de amostras a se pesquisar numa ocorrência será de nove, após a rejeição dos valores espúrios, com desvios muito acima do desvio padrão. Observar que dependendo da área a ser estudada o este número mínimo de amostras deve ser acrescido, de forma a bem caracterizar os materiais provenientes da área delimitada.

Como parâmetros mínimos para uso como materiais de corpo de aterros, as amostras deverão apresentar $ISC > 5$ e expansão $\leq 2\%$.

Como parâmetros mínimos para uso como materiais de camadas finais de aterro, relativas aos últimos 60 cm, as amostras deverão apresentar $ISC \geq 8$ e expansão $< 2\%$.

Como em ferrovias trabalha-se com aterros muito elevados, deverá ser feita análise de estabilidade de taludes para aterros superiores a 3,0 metros, no caso de serem executados com solos argilosos. Já para solos com plasticidade baixa, a análise de estabilidade deverá ser feita para aterros iguais e superiores a 1,5 metros. Cabe ressaltar ainda que, deve ser apresentado memorial de cálculo de tal análise no corpo do projeto.

No caso de cortes elevados, deve ser demonstrado através de análise de estabilidade que a inclinação adotada para corte é a correta e que não ocorrerá possíveis rupturas de talude.

Para aterros com alturas maiores ou iguais a 5 metros, deverão ser realizados:

- Para cada material e condição de compactação (por exemplo, umidade ótima $\pm 2\%$) devem ser executados ensaios especiais, objetivando identificar variações de parâmetros de resistência e recalques do maciço. Ou seja, deve se garantir que os recalques deste aterro não sejam consideráveis. Observar que esta análise deve ser feita seguindo os métodos próprios da mecânica dos solos e deve ser apresentada de forma detalhada no corpo do projeto.
- Deve ser esquematizado o zoneamento dos materiais do aterro, apresentando suas características geotécnicas (umidade in natura, teor de umidade ótimo, umidade de compactação, densidade in natura, densidade de compactação, grau de compactação).

A investigação de furos a trado pode ser complementada pela abertura de poço(s) de inspeção visual táctil, a determinação da densidade "in situ" e a umidade natural do solo. Estas servem para uma comparação aproximada de volumes de corte e de aterro compactados.

4.2.5 ESTUDO DE OCORRÊNCIA DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO

No estudo de ocorrência de materiais para construção, distinguem-se:

- a) “Nas ocorrências de materiais granulares, julgadas viáveis pelos estudos preliminares, em cada nó da malha de 30m de lado serão executados furos de sondagem com coleta de amostras para realização de ensaios de granulometria por peneiramento simples, limite de liquidez, limite de plasticidade, de equivalente de areia, e em furos alternados, ensaios de compactação na energia mais adequada ao material, ISC, expansão e densidade in situ”.

Para a avaliação dos volumes utilizáveis, só poderá ser considerada a área efetivamente sondada dentro dos limites definidos pelos furos de sondagens da malha da jazida, após eliminação de áreas exploradas ou de materiais inservíveis.

Deverão ser apresentados os boletins de todas as sondagens executadas onde, deverá constar a estaca, posição de cada furo, as cotas do início e fim de cada horizonte, a respectiva classificação expedita do material e verificação ou não de NA (Nível d'Água). Em todas as sondagens realizadas deverão ser coletadas amostras deformadas dos horizontes de materiais diversos ou horizontes de 2 metros, para o mesmo material.

Deverão ser apresentados os croquis das ocorrências de materiais, delimitando-se as malhas dos furos com os respectivos números, áreas dos materiais aproveitáveis, bem como os perfis dos solos correspondentes, constando às espessuras de capa e de material aproveitável.

Deverão constar ainda as informações tais como número da ocorrência, nome do proprietário, endereço, distância ao eixo da ferrovia, condições de acesso e exploração, vegetação existente e etc. Deverá ser apresentado o quadro estatístico dos resultados dos ensaios e as curvas granulométricas do material e da faixa da equação para a qual se enquadra, representando os valores de $X_{m\acute{a}x}$ e $X_{m\acute{i}n}$.

As características apresentadas pelo material para sublastro devem atender da Especificação Técnica relativa à sublastro.

- b) Definida(s) a(s) pedreira(s) mais conveniente(s) para exploração serão realizadas investigações através de sondagens rotativas (\emptyset BX), a trado e/ou poço de inspeção, sendo estas duas últimas indicadas para definirem a capa de estéril. São estimados furos de rotativa, convenientemente locados, cujas profundidades serão tais que determinarão as condições de volume e exploração comercial.

As amostras de rocha de locais representativos para definirem a pedreira, serão provenientes de testemunhos das sondagens e de extrações em afloramentos. Os ensaios previstos são aqueles mencionados anteriormente para o Projeto Básico.

O relatório de apresentação dos resultados das investigações geotecnologias deverá vir acompanhado dos seguintes documentos relativos à pedreira:

- Cadastro de proprietários e benfeitorias existentes visando à desapropriação da área;
- Área a desapropriar;
- Desenhos indicando os acessos ao local e quilometragem;
- Volume de decapagem;
- Disponibilidade de energia elétrica, indicando potência disponível e voltagem;
- Em caso de exploração comercial: documentação que garanta o volume a ser utilizado, garantia de fornecimento e garantia do preço de fornecimento.

As características que o material para lastro deve apresentar constam de Especificação Técnica de Brita para Lastro.

Ocorrendo a possibilidade de não serem encontrados jazimentos de material pétreo para lastro que apresentem Los Angeles < - 30% poderão ser pesquisados jazimentos que apresentem Los Angeles de no máximo 40%.

- c) Só serão aceitas ocorrências de areia em exploração comercial, caso seja comprovada a não existência de ocorrências semelhantes não exploradas comercialmente na região;
- d) No caso das areias de rio, as sondagens para a coleta das amostras serão retiradas nos locais da exploração da ocorrência;
- e) No caso de materiais lateríticos serão realizados ensaios para determinação da relação sílica-sesquióxido.

4.2.6 ESTUDO DE FUNDAÇÃO DOS ATERROS

4.2.6.1 ATERROS SOBRE TERRENOS MOLES E COMPREENSÍVEIS

Deve ser obtida:

- a) Definição da disposição espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade do terraplano e/ou capazes de induzir em recalques ao corpo estradal;
- b) Determinação de índices físicos, resistência não drenada ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade dos extratos, objetivando as análises de estabilidade, cálculo de recalque, e sua evolução ao longo do tempo. Tal análise deve ser apresentada detalhadamente no corpo do projeto e os ensaios relativos a tais estudos devem vir certificados.

A presença de nível d'água elevado, aconselha sondagens à percussão nas investigações.

Deverão ser executadas sondagens à percussão em número suficiente, para o conhecimento da natureza, espessura, volume do material e sua capacidade de suporte. O número de sondagens a realizar deve ser menor no início, visando à verificação da heterogeneidade da ocorrência. Em função da maior ou menor heterogeneidade será aumentado o número das sondagens, reduzindo-se o espaçamento entre estas. Sugere-se um espaçamento entre sondagens de 50 a 100m.

Estas sondagens a percussão ($\varnothing 2^{1/2}$ ") deverão, além de atravessar toda camada de solo compreensível, alcançar solo residual com resistência mínima compatível as tensões geradas. Considerando que não seja possível a remoção e substituição do solo mole e/ou compressível, devido a elevadas profundidades de ocorrência ou a custo elevado de areia devido a altas distancias de transporte, deverá ser estudada a possibilidade de reforço da camada conjuntamente a adensamento por etapas de construção. Este estudo deve garantir que após executada, a ferrovia não sofra recalques. Observar ainda que, segundo a norma DNER PRO 381/98 (Projeto de Aterros sobre Solos Moles para Obras Viárias) a espessura máxima de remoção e substituição é de 3,0 metros; não se admitindo remoções parciais.

Devem ser realizadas investigações transversais ao eixo de forma a se delimitar a largura da camada mole/compressível visando à boa quantificação dos volumes de solos a serem tratados e/ou removidos.

Quando a solução de remoção total da camada mole não for viável, deve ser estabelecida a retirada de amostras para ensaios (SHELBY) além de ensaios de cisalhamento "in situ". Serão então realizadas sondagens a percussão ($\varnothing 4$ "). Para cada extrato compreensível, que constitui o depósito sedimentar, deverão ser realizados os seguintes ensaios:

- a) No campo
 - Vane Test (a cada metro de profundidade, pelo menos em duas sondagens) - para determinação da resistência a cisalhamento "in situ";

- b) No laboratório, em amostras "SHELBY"
- Massa específica aparente;
 - Granulometria com sedimentação;
 - Limite de liquidez;
 - Limite de Plasticidade;
 - Densidade real dos grãos;
 - Adensamento;
 - Triaxial rápido consolidado não drenado com medida de pressão neutra.

4.2.6.2 ATERROS SOBRE TERRENOS ÍNGREMES

Deve ser obtido:

- a) Identificação espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade global do conjunto encosta + terraplano;
- b) Definição do regime hídrico subsuperficial da encosta;
- c) Delimitação de zonas críticas onde a encosta natural apresenta indícios de instabilidade;
- d) Determinação da resistência ao cisalhamento dos diversos extratos acima mencionados.

Sempre que indicado pelos estudos geológicos preliminares, serão executadas investigações com sondagem a percussão, a trado e/ou poço de inspeção. O emprego de sondagens mistas poderá ser feito para melhor caracterização das diversas camadas de solo e contato solo-rocha.

Se necessário devem ser estabelecidas seções geológicas transversais.

Devem ser retiradas amostras indeformadas de camadas representativas e das que se apresentem mais críticas no tocante à estabilidade do conjunto aterro-encosta. Nestas amostras indeformadas, deverão ser realizados ensaios de cisalhamento direto rápido pré-adensado para caracterizar a resistência ao cisalhamento, além dos de caracterização completa.

4.2.7 ESTUDO DOS LOCAIS DAS FUNDAÇÕES DAS OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS

O plano de sondagem será feito, em função do comprimento da obra, indicado no Projeto Básico.

Primeiramente, deve-se proceder a uma análise visual "in loco", a fim de definir em caráter provisório, porém, o mais próximo a realidade técnica.

Será executado um furo para cada encontro, e, na parte central, um mínimo de um furo na linha do eixo, adequando este número em conformidade com o comprimento da obra, na razão de um furo a cada 30 metros. Para obras ferroviárias de um único vão, serão executados os furos correspondentes aos encontros.

De acordo com os resultados obtidos, caberá a PROJETISTA e/ou FISCALIZAÇÃO a indicação de furos complementares para melhor definição do perfil geotécnico do terreno. Estas sondagens deverão ser iniciadas à percussão e, quando se encontrar o impenetrável, haverá o prosseguimento com rotativa.

Toda vez que a rotativa ultrapassar o impenetrável, deverá ser retomada a sondagem de percussão.

O limite máximo de profundidade deverá ser de 25 metros, ou quando o terreno indicar uma das seguintes condições abaixo:

- Ocorrência de terrenos com resistência maior ou igual a 30 golpes para penetração de 30 cm (SPT) em 10 metros consecutivos;
- Ocorrência de rocha, onde o furo a rotativa indicar recuperação maior ou igual a 70% em 3 metros consecutivos.

No caso de presença de solos compreensíveis nos encontros, quando a remoção total da camada mole não se apresentar viável, deve ser estabelecida uma programação de ensaio "Vane Test" e de retirada de amostras para ensaios especiais de laboratório (Adensamento, Triaxial rápido consolidado não drenado com medida de pressão neutra, Massa específica aparente; Granulometria com sedimentação; Densidade real dos grãos, Limites de Atterberg). E, estudada a execução de reforço ou outra solução que garanta à adequabilidade da fundação a carga aplicada.

Deve ser aplicada metodologia análoga a de Aterros sobre Solos Moles e Compreensíveis, item 4.2.4.1.

4.2.8 OBRAS DE ARTE CORRENTES

Seguir as diretrizes estabelecidas na ISF 210 (Projeto de Drenagem) para projetos ferroviários constante do documento denominado: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Ferroviários.

4.2.9 ESTUDO DE ESTABILIDADE DOS TALUDES

O trecho em projeto, considerando a estabilidade de taludes, deverá ser dividido em subtrechos homogêneos e em cada um deles deverá ser investigado, por amostragem, o comportamento dos taludes dos cortes de altura superior a 5 m. O mesmo cuidado deverá ser aplicado nos estudos dos locais de empréstimos e bota-foras.

As investigações deverão ser dirigidas para os seguintes objetivos:

- a) Determinação de índices físicos e resistência ao cisalhamento dos diversos materiais envolvidos;
- b) Feições lito-estruturais intervenientes na estabilidade de taludes a projetar.

Para cada domínio geológico deverão ser escolhidos os cortes mais complexos do ponto de vista de sua estabilidade, para amostragem e posterior execução de ensaios especiais de laboratório.

Deverão ser realizados poços de inspeção na(s) linha(s) de “off-set(s)”, em número e posições suficientes para caracterizar a área em estudo.

Nestes poços deverão ser coletadas amostras deformadas em horizontes de materiais diferentes ou horizontes de 2 m do mesmo material. A coleta das amostras indeformadas deverá ser orientada em função do mapeamento geológico e de resultados de caracterização. As amostras deformadas serão submetidas aos ensaios mencionados no item 4.2.1.3.

As amostras indeformadas serão submetidas aos ensaios:

- Massa específica aparente
- Granulometria com sedimentação
- Limite de liquidez
- Limite de plasticidade
- Densidade real dos grãos
- Cisalhamento direto rápido pré-adensado na umidade natural e após saturação.

5 APRESENTAÇÃO

5.1 FASE DE PROJETO BÁSICO

A Apresentação dos Estudos Geotécnicos nesta fase de Projeto Básico far-se-á através do Relatório Básico/Final do Projeto Executivo/Básico de Engenharia a que corresponde, e deverá conter:

RELATÓRIO BÁSICO/FINAL			
Volume	Discriminação	Matérias	Formato
1	Relatório do Projeto Básico	- Texto com a concepção dos estudos realizados; - Quadro resumo com os resultados dos ensaios realizados na fase preliminar dos estudos;	A4
3	Memória Justificativa	- Boletins das sondagens preliminares nos locais das obras-de-arte especiais.	
2	Projeto Básico de Execução	Croquis com indicação das características e das ocorrências de materiais.	A1

5.2 FASE DE PROJETO EXECUTIVO

Na Fase de Projeto Executivo, os Estudos Geotécnicos serão apresentados no Relatório Final do Projeto Executivo de Engenharia a que corresponde, compreendendo os seguintes volumes:

RELATÓRIO FINAL			
Volume	TÍTULO	FORMATO	
		Minuta	Impressão Definitiva
1	Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência - Texto contendo a concepção do estudo e resumo dos resultados obtidos; - Planilhas e gráficos com análises estatísticas dos levantamentos e ensaios realizados	A4	A4
3	Memória Justificativa - Justificativa do detalhamento das alternativas aprovadas.	A4	A4
Anexo 3A	Estudos Geotécnicos - Folha-resumo de todos os ensaios efetuados; - Boletins das sondagens definitivas nos locais de fundações de aterros; - Boletins das sondagens definitivas nos locais das obras-de-arte especiais; - Boletins das sondagens preliminares nos locais de eventuais estudos de estabilidade de taludes.	A4	A4

RELATÓRIO FINAL

Volume	TÍTULO	FORMATO	
		Minuta	Impressão Definitiva
2	Projeto de Execução <ul style="list-style-type: none">- Seção transversal das camadas finais de terraplenagem, sublastro e superestrutura;- Croqui com indicação das características e localização das ocorrências de materiais;- Diagrama com a representação das camadas e tipos de materiais indicados para as camadas finais de terraplenagem e sublastro;- Representação no perfil do projeto geométrico das características geológico-geotécnico dos materiais a escavar (no caso de implantação de ferrovia).	A3	A3