

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

INTRODUÇÃO À TERRAPLENAGEM

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

DISCIPLINA: TT-401 - INFRAESTRUTURA VIÁRIA

PROFESSORES: Djalma Martins Pereira

Eduardo Ratton

Gilza Fernandes Blasi

Márcia de Andrade Pereira

Wilson Küster Filho

CO - AUTOR: Engº Roberto Costa

Sumário

1	APRESENTAÇÃO.....	4
2	CONCEITOS GERAIS.....	4
2.1	INTRODUÇÃO.....	4
2.2	DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA RODOVIA.....	5
2.2.1	Planta.....	5
2.2.2	Perfil Longitudinal.....	5
2.2.3	Seções Transversais.....	6
2.3	SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM.....	10
2.3.1	Serviços Preliminares.....	10
2.3.2	Caminhos de Serviço.....	10
2.3.3	Cortes.....	11
2.3.4	Empréstimos.....	14
2.3.5	Aterros.....	17
2.3.6	Bota-Foras.....	17
2.3.7	Serviços Especiais.....	17
2.4	COMPENSAÇÃO DE VOLUMES.....	23
2.4.1	Compensação Longitudinal.....	23
2.4.2	Compensação Lateral ou Transversal.....	23
2.5	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DIFICULDADE EXTRATIVA.....	25
2.6	FATORES DE CONVERSÃO.....	26
3	NOÇÕES SOBRE EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM.....	29
3.1	CLASSIFICAÇÃO.....	29
3.2	UNIDADES TRATORAS.....	29
3.3	UNIDADES ESCAVO-EMPURRADORAS.....	30
3.4	UNIDADES ESCAVO-TRANSPORTADORAS.....	35
3.5	UNIDADES ESCAVO-CARREGADORA.....	37
3.6	UNIDADES APLAINADORAS.....	42
3.7	UNIDADES TRANSPORTADORAS.....	44
3.8	UNIDADES COMPACTADORAS.....	46
3.9	OUTROS EQUIPAMENTOS.....	48
4	FASES DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM - OBJETIVOS BÁSICOS.....	49
4.1	FASE DE ANTEPROJETO.....	49
4.2	FASE DE PROJETO.....	49
5	SISTEMÁTICA A SER ADOTADA NA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM.....	50
5.1	AVALIAÇÃO DA DIFICULDADE EXTRATIVA DOS MATERIAIS A SEREM ESCAVADOS.....	50
5.1.1	Sondagens Manuais Diretas.....	50
5.1.2	Sondagens Mecânicas Diretas.....	52
5.1.3	Sondagens Indiretas.....	55
5.2	ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO QUALITATIVA DE MATERIAIS NA TERRAPLENAGEM.....	56
5.2.1	Características Mecânicas (de Trabalhabilidade).....	56
5.2.2	Características Físicas.....	59
5.3	AVALIAÇÃO DOS FATORES DE HOMOGENEIZAÇÃO.....	62
5.3.1	Avaliação da Densidade "In Situ" (D_{corte}).....	62
5.3.2	Avaliação de Densidade do Material no Aterro, após Compactação (D_{comp}).....	65
5.3.3	Cálculo do Fator de Homogeneização Médio.....	66
5.4	CÁLCULO DE VOLUMES.....	67

5.4.1	Generalidades	67
5.4.2	Cálculo de Áreas das Seções Transversais	68
5.4.3	Influência das Operações de Limpeza.....	71
5.5	DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL A SER ESCAVADO.....	72
5.5.1	Generalidades	72
5.5.2	Diagrama de Brückner	73
5.6	ELABORAÇÃO DOS QUADROS DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM.....	81
5.7	QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS.....	83
5.7.1	Serviços Preliminares.....	83
5.7.2	Caminhos de Serviço	84
5.7.3	Cortes e Empréstimos.....	84
5.7.4	Aterros	84
5.7.5	Serviços Especiais.....	85
5.8	APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM	85
6	NOTAS DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM	88
7	EXERCÍCIOS.....	92
7.1	DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS.....	92
7.2	CÁLCULO DE NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM.....	100
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

1 APRESENTAÇÃO

Esta publicação apresenta os subsídios necessários à compreensão dos princípios gerais que orientam as operações de TERRAPLENAGEM aplicáveis às obras viárias terrestres, dando-se especial ênfase às atividades de Projeto. Muito embora o seu conteúdo seja voltado à área rodoviária, sua aplicação ao setor ferroviário é praticamente integral, dada a similaridade existente entre as operações de implantação básica desses dois sistemas de transporte.

Adicionalmente, são abordados assuntos relativos ao campo da geotécnica e à definição geométrica da via, quando julgados essenciais ao bom entendimento da temática principal.

O caráter dado a este trabalho não é o de originalidade, tratando-se tão somente de uma coletânea acerca de técnicas e problemas de uso corrente em projetos e construção de vias terrestres, ao que se associam elementos angariados durante a vivência profissional dos autores.

Aplicações práticas de alguns dos procedimentos teóricos aqui apresentados integram o capítulo 7.0 - Exercícios.

2 CONCEITOS GERAIS

2.1 INTRODUÇÃO

Terraplenagem é a operação destinada a conformar o terreno existente aos gabaritos definidos em projeto. De maneira geral ela engloba os serviços de **corte** (escavação de materiais) e de **aterro** (deposição e compactação de materiais escavados). A conjugação desses dois serviços tem por finalidade proporcionar condições geométricas compatíveis com o volume e tipo dos veículos que irão utilizar a rodovia.

Para a perfeita compreensão do que vai ser adiante exposto sobre terraplenagem, tanto na sua etapa de projeto como na de construção, torna-se necessário o conhecimento dos elementos de um projeto rodoviário, que possuem interligação direta com o Projeto de Terraplenagem.

O estudo da **geometria** de uma rodovia é efetuado a partir de levantamentos topográficos por processo convencional ou aerofotogramétrico, cujo resultado final é apresentado no Projeto Geométrico. Este projeto expressa a geometria da rodovia através da “planta” e do “perfil longitudinal”, complementados pelas “seções transversais”.

As imposições quanto à geometria antes referidas são relacionadas para diferentes “classes” de rodovias. Essas classes ou categoriassão determinadas a partir de pesquisas de tráfego e processamento dos resultados das mesmas, que determinarão, em última análise, o volume e a composição do tráfego que utilizará a rodovia ao longo de sua vida útil. As mais elevadas classes de projeto impõem condições geométricas mais arrojadas, o

que implica, na dependência da topografia vigente na região em estudo, maiores investimentos em terraplenagem.

Para a definição das alturas de aterros, depara-se ainda com o condicionamento imposto pela rede hidrográfica da região onde se insere a rodovia. Assim, teremos alturas mínimas para suplantar máximas cheias em regiões freqüentemente alagadiças ou para possibilitar a introdução de obras de arte em travessias de cursos d'água.

Finalmente, caracterizada a geometria, resta a necessidade do conhecimento do tipo e da qualidade dos materiais que estarão envolvidos nas operações de terraplenagem. Neste caso, participam os subsídios obtidos a partir de investigações geológico-geotécnicas, sondagens e posteriores ensaios de laboratório. Com apoio nestas informações, serão definidas as condições e restrições ao aproveitamento dos materiais e estimadas as dificuldades a serem encontradas quando da execução de cortes e aterros.

Na execução de uma obra de terraplenagem, além dos serviços básicos (cortes e aterros), tornam-se necessárias outras operações - serviços preliminares, caminhos de serviços, empréstimos e bota-foras.

2.2 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA RODOVIA

Nos Projetos de Engenharia, a geometria definida para a rodovia é representada no Projeto Geométrico. Este consiste na apresentação, de maneira conveniente, da planta e do perfil longitudinal, complementados pelas seções transversais. A análise conjunta destes três elementos propicia a definição espacial da via projetada.

2.2.1 Planta

A planta constitui-se de uma vista "de cima" da faixa projetada (Fig.2.1). De uma maneira geral nela são apresentados:

- Eixo de projeto, estaqueado convenientemente;
- Os bordos da plataforma de terraplenagem;
- As projeções dos taludes de corte e aterro e a linha de encontro destes com o Terreno natural ("off-set");
- As curvas de nível;
- Os cursos d'água;
- Os bueiros e as obras de arte especiais (pontes, viadutos, muros de arrimo, etc.);
- As interseções;
- As construções existentes;
- Os limites da faixa de domínio.

2.2.2 Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal corresponde a um corte efetuado no eixo de projeto, no mesmo sentido e com a mesma referência do estaqueamento da planta (Fig.2.1).

Todos os elementos apresentados em planta, e que cortam ou fazem parte do eixo estaqueado, aparecem neste perfil. Destacam-se aí, o greide de terraplenagem, a linha do terreno natural referente ao eixo de projeto e as obras para transposição dos cursos d'água.

Complementando o perfil, também são apresentados os furos de sondagem efetuados e os resultados principais dos ensaios de laboratório executados com as amostras coletadas.

2.2.3 Seções Transversais

As seções transversais correspondem a cortes efetuados no terreno, ortogonalmente ao eixo de projeto, nos pontos referidos no estaqueamento (pontos locados).

No desenho das seções transversais é introduzida a plataforma de projeto, a qual conterá o ponto correspondente ao greide de terraplenagem (geralmente o seu eixo de simetria), obtido no perfil longitudinal. Logicamente o eixo vertical que passa pelo ponto correspondente ao greide interceptará, na seção transversal, o ponto característico do terreno natural, referido à estaca da seção (Figuras 2.2 e 2.3). À efetivação do desenho da plataforma de terraplenagem, com seus devidos taludes, sobre as seções transversais, chamamos de “gabaritagem das seções transversais”.

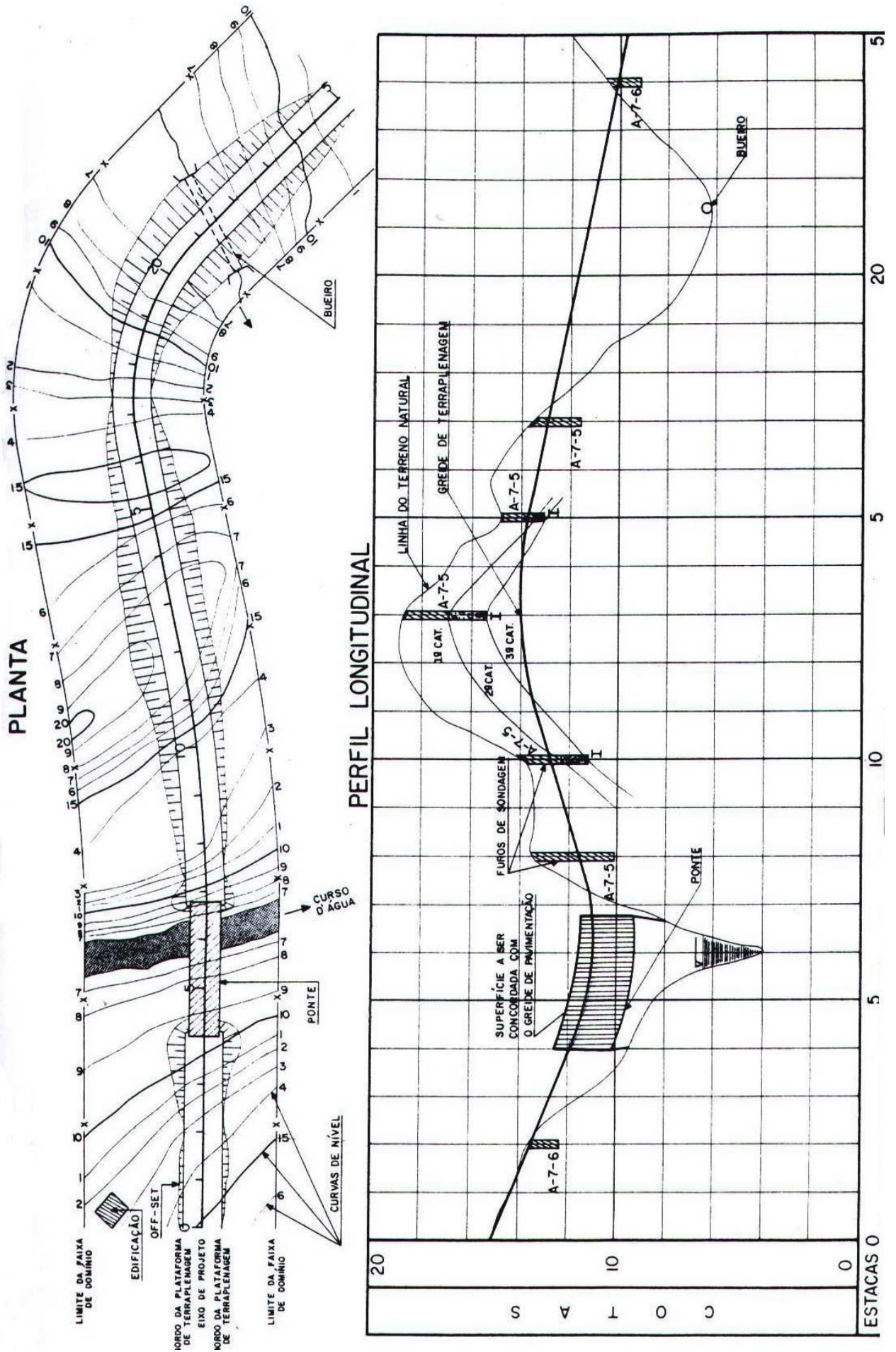
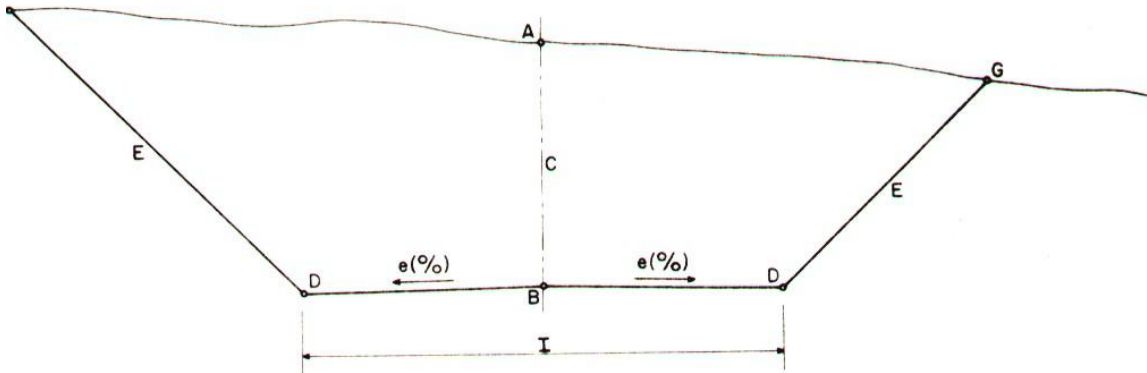


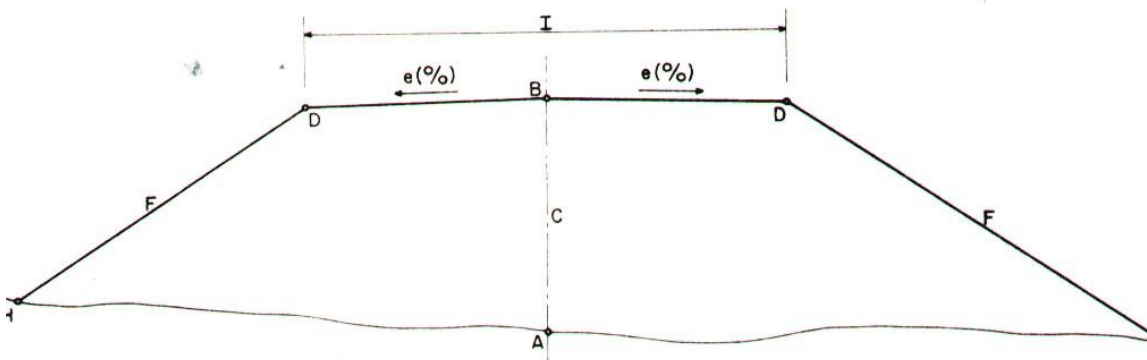
Figura 2.1

SEÇÃO TRANSVERSAL — TIPO
PARA PISTA SIMPLES COM DUAS FAIXAS DE TRÁFEGO

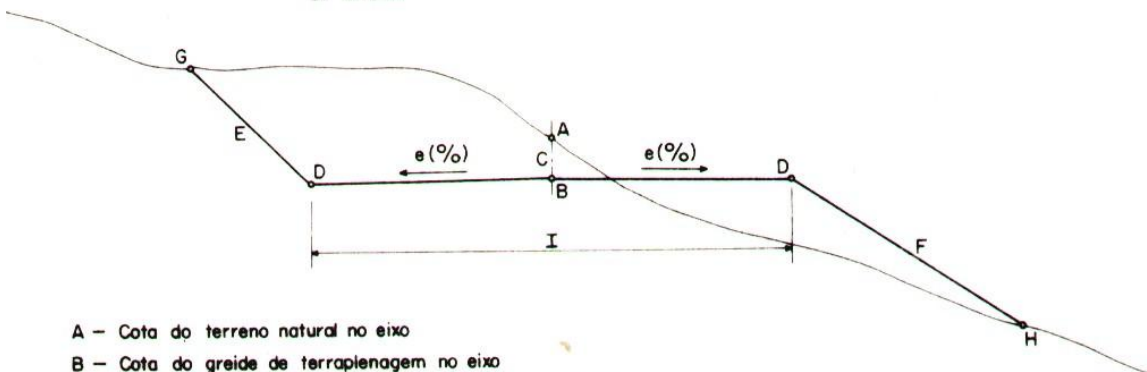
1. CORTE



2. ATERRO



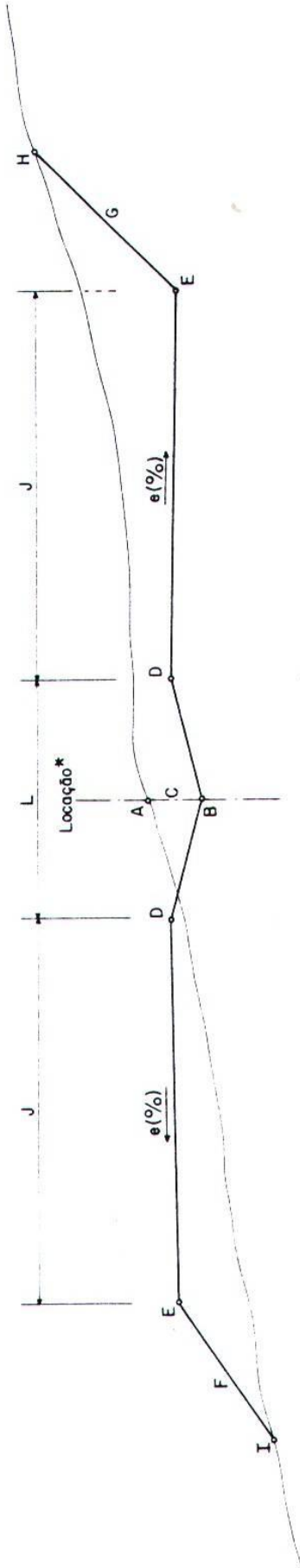
3. MISTA



- A — Cota do terreno natural no eixo
- B — Cota do greide de terraplenagem no eixo
- C — Cota vermelha (cota do terreno - cota do greide, no eixo)
- D — Bordo da plataforma de terraplenagem
- E — Talude de corte
- F — Talude de aterro
- G — Off-set de corte
- H — Off-set de aterro
- I — Plataforma de terraplenagem
- $e(\%)$ — Abaulamento ou declividade transversal

Figura 2.2

SEÇÃO TRANSVERSAL – TIPO
PARA PISTA DUPLA COM CANTEIRO CENTRAL



- A – Cota do terreno natural no eixo do canteiro central
 - B – Cota do greide referido ao eixo do canteiro central
 - C – Cota vermelha no eixo do canteiro central
 - D – Bordo interno da plataforma de terraplenagem
 - E – Bordo externo da plataforma de terraplenagem
 - F – Talude de aterro
 - G – Talude de corte
 - H – Off-set de corte
 - I – Off-set de aterro
 - J – Plataforma de terraplenagem
 - L – Canteiro central
- $e(\%)$ – Abaulamento ou declividade transversal

* Não precisa ser necessariamente localizada no eixo do canteiro central

Figura 2.3

2.3 SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM

2.3.1 Serviços Preliminares

Conforme destacado anteriormente, a terraplenagem consiste, em termos gerais, na execução de cortes e de aterros. Porém, antes de dar início às operações básicas, é necessária a retirada de todos os elementos, naturais ou artificiais, que não participarão diretamente ou que possam interferir nestas duas operações. Os naturais são constituídos pelas árvores, arbustos, tocos e raízes e os artificiais por construções, cercas, posteamentos, entulhos, etc.. O conjunto de todas essas atividades é designado nas “Especificações Gerais para Obras Rodoviárias” do antigo DNER, atual DNIT, por **Serviços Preliminares**, os quais compreendem o **desmatamento, o destocamento e a limpeza**.

O **desmatamento** envolve o corte e a remoção de toda a vegetação, qualquer que seja a sua densidade. O **destocamento e a limpeza** compreendem a escavação e a remoção total dos tocos e da camada de solo orgânico.

Além dessas operações, dependendo da situação do trecho em projeto, podem ser introduzidos outros serviços preliminares, como por exemplo:

- Remanejamento de postes;
- Remoção de cercas;
- Remoção de estruturas de madeira;
- Demolição de muros, e
- Demolição de estruturas de alvenaria.

2.3.2 Caminhos de Serviço

Em se tratando de terraplenagem de trecho virgem, ou seja, trecho que não possui uma estrada de ligação de caráter pioneiro é necessário abrir caminho para os equipamentos que levarão o material retirado dos cortes para os aterros. É o que chamamos de **caminhos de serviço** para execução da terraplenagem.

Esses caminhos, que são estradas de padrão apenas suficiente para possibilitar o tráfego dos equipamentos, interligarão, em linhas gerais, cortes com aterros e estes com o canteiro da obra.

No título “caminhos de serviço”, no caso de projeto onde já existe uma ligação rodoviária, encaixam-se as estradas denominadas por **desvios e provisórias**, que constituem as vias para manutenção do tráfego da rodovia.

Entende-se como **desvios** as extensões de vias existentes para as quais será remanejado o tráfego durante o período de construção. Como **provisórias** são considerados os caminhos especialmente construídos para esse fim, nos segmentos onde não haja possibilidade de desviar o tráfego para a implantação antiga ou para estradas já existentes.

Como no caso dos caminhos de serviço destinados à execução da terraplenagem, os desvios e as provisórias terão padrão técnico apenas suficiente à passagem regular do tráfego, recebendo em seu leito camada superior a um revestimento primário somente em casos excepcionais.

Além dessas estradas, ainda são considerados como caminhos de serviço aqueles que se destinam a assegurar o **acesso às ocorrências de materiais** a serem utilizados nos serviços de pavimentação e drenagem, que são as pedreiras (pedra britada), jazidas (materiais já desagregados e solos em geral) e areais (areia). As características técnicas a adotar são as mesmas preconizadas para os demais caminhos de serviço.

2.3.3 Cortes

Cortes são segmentos que requerem escavação no terreno natural para se alcançar a linha do greide projetado, definindo assim transversal e longitudinalmente o corpo estradal. As operações de corte compreendem:

- Escavação dos materiais constituintes do terreno natural até a plataforma de terraplenagem definida pelo projeto (Fig.2.4);
- Escavação para rebaixamento do leito de terraplenagem, nos casos em que o subleito for constituído por materiais julgados inadequados (Fig.2.5);
- Escavação nos terrenos de fundação de aterros com declividade excessiva (comuns nos alargamentos de aterros existentes) para que estes proporcionem condições para trabalho dos equipamentos e estabilidade às camadas a serem sobrepostas (Fig.2.13);
- Alargamentos além do necessário em algumas porções de cortes para possibilitar a utilização de equipamentos normais (comuns nos casos de escavações em cortes já existentes, Fig.2.5);
- Transporte dos materiais escavados para aterros ou bota-foras.

CORTES E ATERROS

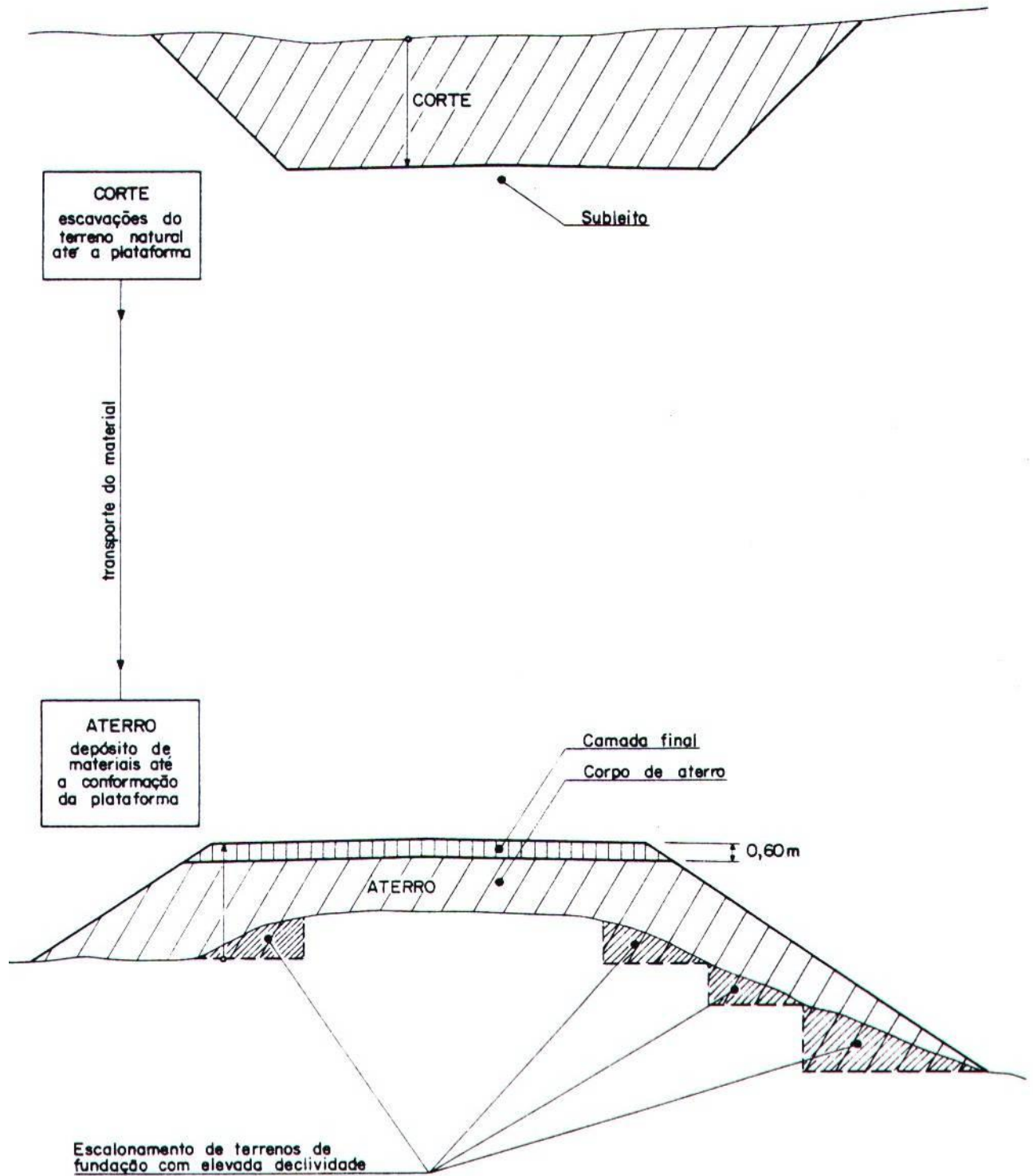


Figura 2.4

REBAIXAMENTO E ALARGAMENTO DE PLATAFORMAS EM CORTES

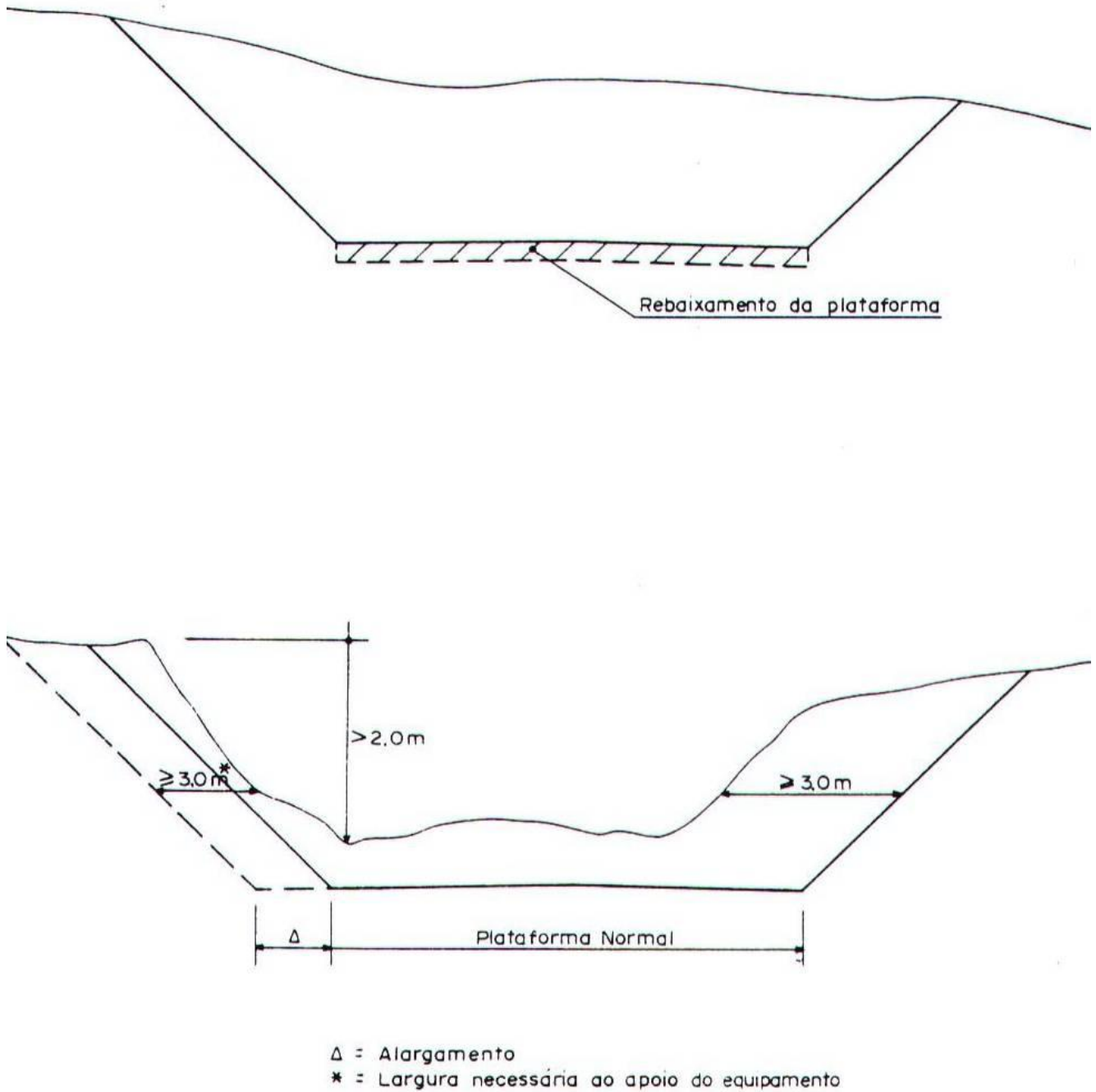


Figura 2.5

2.3.4 Empréstimos

Empréstimos são escavações efetuadas em locais previamente definidos para a obtenção de materiais destinados à complementação de volumes necessários para aterros, quando houver insuficiência de volume nos cortes, ou por razões de ordem qualitativa de materiais, ou de ordem econômica (elevadas distâncias de transporte). Dependendo da situação podem ser considerados dois tipos distintos de empréstimos: laterais e concentrados (ou localizados).

a) *Empréstimos Laterais*

Os **empréstimos laterais** (Fig.2.6) se caracterizam por escavações efetuadas próximas ao corpo estradal, sempre dentro dos limites da faixa de domínio. Nos casos de segmentos de cortes se processa o alargamento da plataforma com conseqüente deslocamento dos taludes e, no caso de aterros, escavações do tipo “valetões”, em um ou ambos os lados. Logicamente, o que vai definir a execução ou não desses empréstimos é a qualidade do material adjacente aos cortes ou aterros em que se fará a escavação e o volume necessário para suprir a carência de material no aterro de destino.

Na execução dos empréstimos laterais algumas exigências devem ser devidamente atendidas:

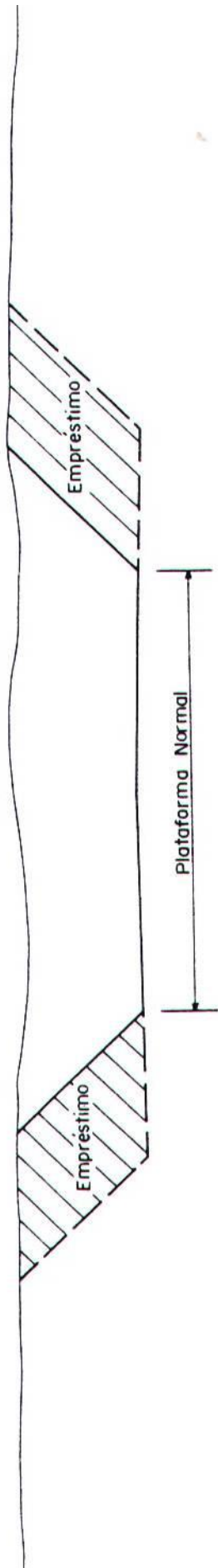
1. A conformação final da escavação, tanto em corte como nas adjacências dos aterros, deve seguir uma geometria bem definida, para que proporcione uma aparência estética adequada;
2. Nos casos de cortes, deve-se dar preferência para escavações do lado interno às curvas, o que aumentará as condições de visibilidade;
3. Em faixas laterais a aterros não devem ser efetuadas escavações muito profundas, com declividades excessivas, mantendo as condições de segurança e evitando grandes acúmulos de água e erosões. Também nesses casos devem-se tomar todas as precauções para que não sejam comprometidas as obras de arte correntes (bueiros).
4. Os eventuais prejuízos ambientais decorrentes da abertura dos empréstimos deverão ser sempre minimizados, impondo-se uma conformação adequada que assegure a correta drenagem das águas precipitadas, assim como a posterior proteção vegetal das áreas deixadas a descoberto.

b) *Empréstimos Concentrados*

Os **empréstimos concentrados** (ou localizados, Fig.2.7) são definidos por escavações efetuadas em áreas fora da faixa de domínio, em locais que contenham materiais em quantidade e qualidade adequada para confecção dos aterros. A utilização

EMPRÉSTIMOS LATERAIS

A CORTES



A ATERROS

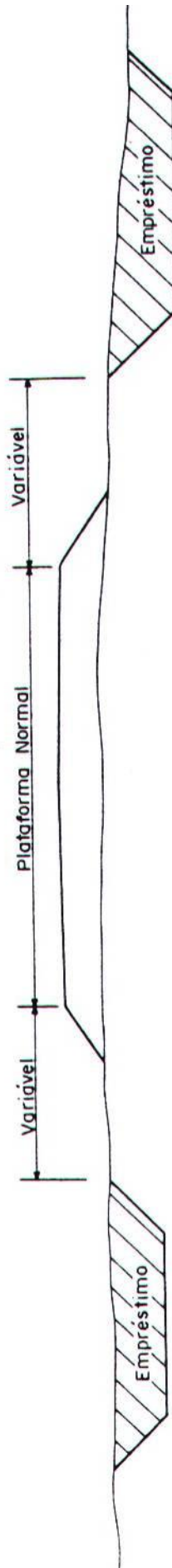


Figura 2.6

EMPÉSTIMOS CONCENTRADOS OU LOCALIZADOS

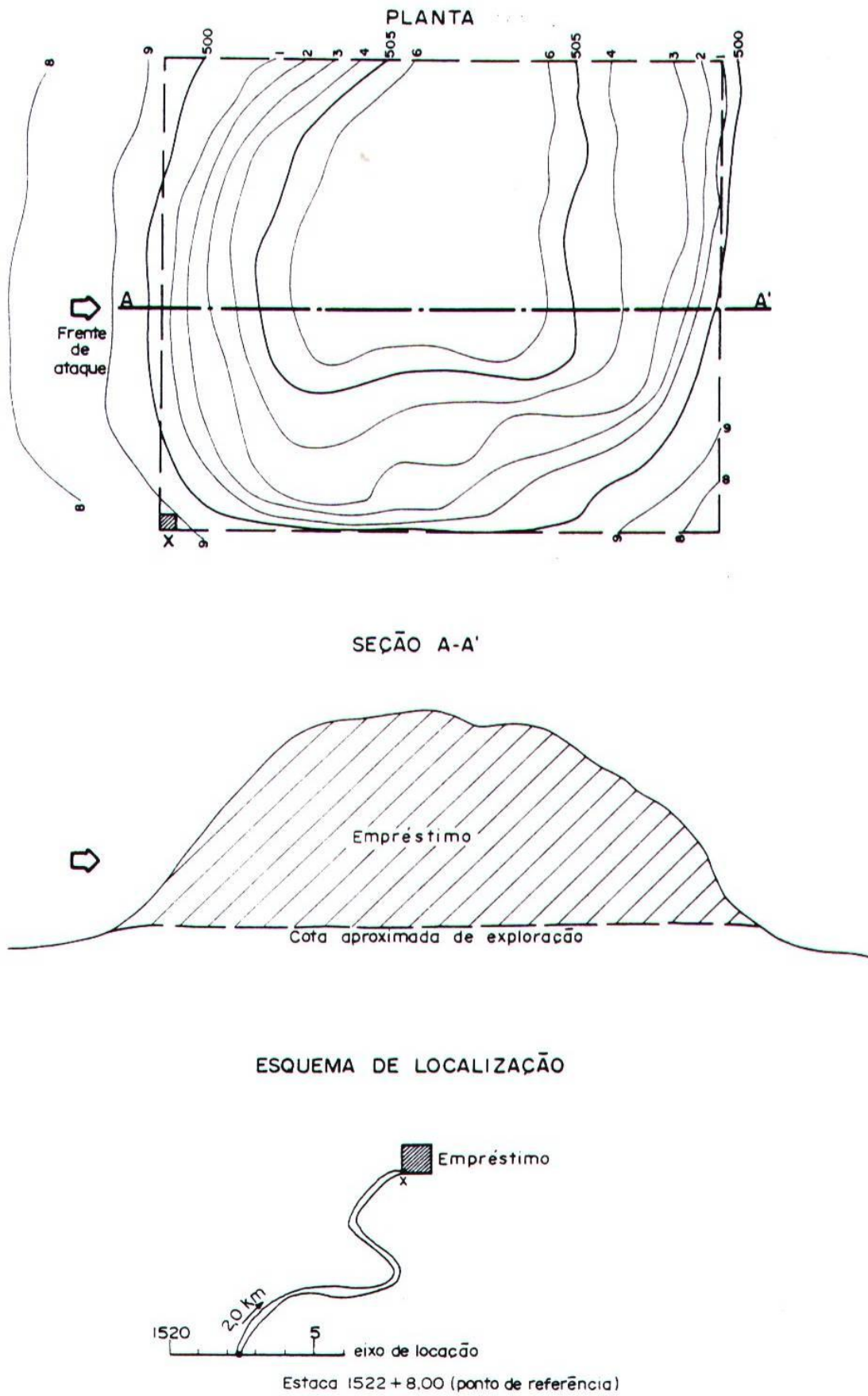


Figura 2.7

desse tipo de empréstimo se dá quando não existem materiais adequados nas faixas laterais a cortes ou aterros para efetivação de empréstimos laterais, ou quando esses últimos não proporcionam a retirada do volume total necessário.

Os locais dos empréstimos concentrados ou localizados devem ser selecionados dentre as elevações do terreno natural próximas ao aterro a que se destinará o material, devendo-se definir a área e forma de exploração de tal maneira que, após a escavação, se tenha uma aparência topográfica natural. As medidas minimizadoras dos impactos ambientais sugeridas para os empréstimos laterais aplicam-se, na totalidade, aos empréstimos concentrados.

2.3.5 Aterros

Aterros constituem segmentos cuja implementação requer o depósito de materiais, para a composição do corpo estradal segundo os gabaritos de projeto. Os materiais de aterro se originam dos cortes e dos empréstimos (Fig.2.4).

As operações de aterro compreendem a descarga, o espalhamento, a correção da umidade (umedecimento ou aeração) e a compactação dos materiais escavados, para confecção do **corpo e da camada final** dos aterros propriamente ditos, bem como para substituição de volumes retirados nos rebaixamentos de plataforma em cortes ou nos terrenos de fundação dos próprios aterros.

2.3.6 Bota-Foras

Bota-foras são os volumes de materiais que, por excesso ou por condições geotécnicas insatisfatórias, são escavados nos cortes e destinados a depósitos em áreas externas à construção rodoviária, ou seja, são os volumes de materiais escavados não utilizáveis na terraplenagem.

O local de depósito desses materiais deve ser criteriosamente definido a fim de não causar efeitos danosos às outras obras de construção e ao próprio meio-ambiente.

2.3.7 Serviços Especiais

a) Aterros sobre Solos Inconsistentes

Em algumas situações peculiares, impostas pela geologia regional, o projetista de terraplenagem e o executor de tais obras se vêem às voltas com problemas nas fundações dos aterros. Tais problemas dizem respeito à ocorrência, nos terrenos de fundação, de solos possuidores de baixa resistência ao cisalhamento, incapazes de suportar as pressões exercidas pelos aterros sem apresentar rupturas ou deformações apreciáveis.

Estes solos de baixa resistência normalmente são formados sob influência direta da água (“banhados”), gerando materiais com forte contribuição orgânica (“depósitos orgânicos”), de péssimo comportamento geotécnico (“solos moles” ou “solos hidromórficos”). Duas situações são potencialmente favoráveis à ocorrência deste fenômeno:

1. Em zonas baixas, correspondentes a talvegues intermitentes interceptados pelo traçado, como se ilustra no perfil longitudinal abaixo:

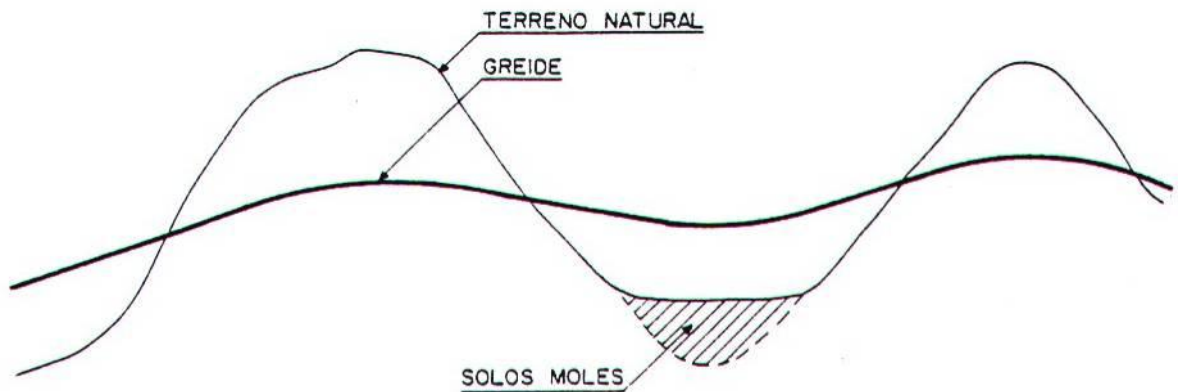


Figura 2.8

2. Em zonas alagadiças, correspondentes a planícies de inundação de cursos d'água, conforme esquematizado no perfil a seguir:

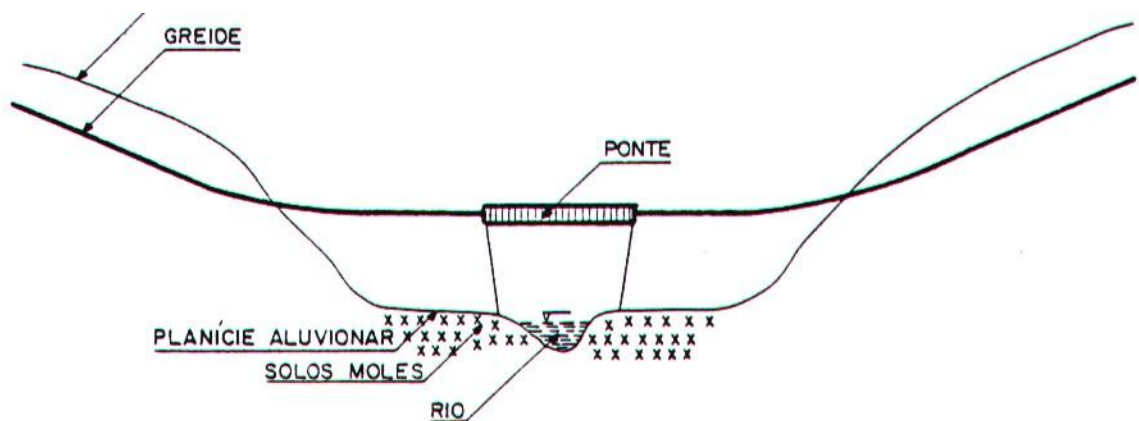


Figura 2.9

Cumprir-se notar que as planícies aluvionárias podem, por vezes, ser de natureza arenosa, quando então não deverão apresentar maiores problemas.

As ocorrências de solos moles apresentam grande diversidade de comportamento, tanto pelas variações nas características físicas dos materiais ocorrentes (coesão, resistência ao cisalhamento) como pela própria magnitude da camada (profundidade, área), para cada caso em particular.

Admitindo-se como premissas básicas que os solos ocorrentes nos terrenos de fundação de um determinado aterro a ser construído são efetivamente "moles" e que qualquer mudança de traçado é impraticável, podem ser cogitados diversos procedimentos especiais, com vistas à viabilização técnica da construção do aterro projetado, como se expõe em continuação.

1ª Solução: Remoção da camada inconsistente

Trata-se do procedimento executivo bastante recomendável. Em linhas gerais, a camada problemática é totalmente removida por equipamentos escavadores especiais, substituindo-se o volume resultante desta remoção por material de boa qualidade, usualmente um produto inerte frente à ação da água. Após, executa-se normalmente o aterro projetado.

A grande vantagem desta primeira solução é de que a possibilidade de futuros recalques diferenciais no aterro executado praticamente inexiste, caso a substituição dos solos moles tenha sido levada a bom termo. Este procedimento enfrenta, no entanto, limitações de ordem técnica e econômica, quando o porte da camada a remover assume proporções elevadas.

2ª Solução: Execução de bermas de equilíbrio

Este segundo procedimento executivo tem tido larga aplicação. Consiste na execução de aterro ladeado por banquetas laterais, gradualmente decrescentes em altura, de sorte que a distribuição das tensões se faz em área bem mais ampla do que aquela que resultaria da utilização de um aterro convencional. Esta melhor distribuição das tensões faz com que, efetivamente, o sistema “flutue” sobre a camada mole.

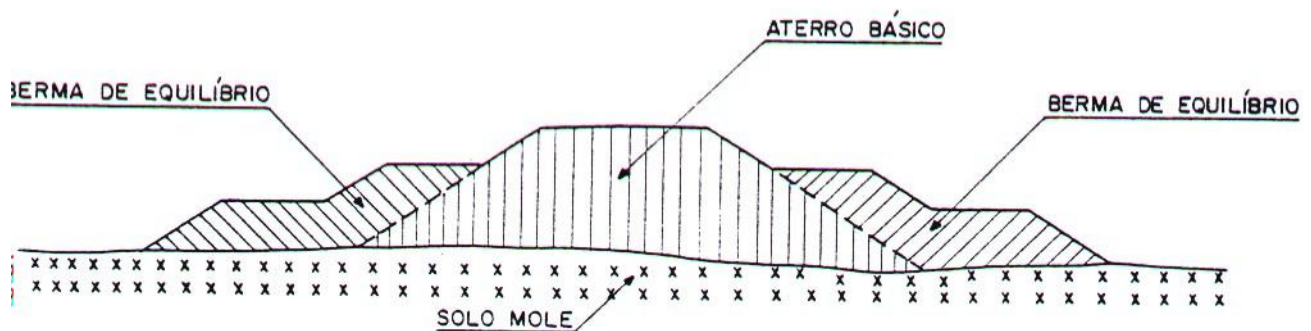


Figura 2.10

As bermas de equilíbrio podem ser dimensionadas através de procedimentos correntes de mecânica dos solos, desde que se conheça a geometria do aterro a ser executado e as características físicas dos solos do terreno de fundação (resistência ao cisalhamento, coesão). A questão do dimensionamento das bermas de equilíbrio não é aqui abordada, por constituir uma especialização dentro das áreas de geotécnica e mecânica dos solos.

Quando do emprego de bermas de equilíbrio, são expectáveis e toleráveis alguns recalques diferenciais, de longas amplitudes longitudinais, os quais, em geral, não afetam a serventia da via. No caso de rodovias pavimentadas, adições posteriores de massa asfáltica poderão solucionar ou pelo menos atenuar estes problemas.

3ª Solução: Execução do aterro por etapas

Este procedimento consiste em sobrepor ao terreno de baixa resistência ao cisalhamento, por sucessivas vezes, frações do aterro projetado. A cada nova deposição de material, verificam-se processos de adensamento da camada mole, até que, após um certo número de aplicações, o sistema entre em equilíbrio, permitindo que a execução do aterro se complete normalmente. Cabe notar que cada adição de material não deve superar a chamada "altura crítica", parâmetro este que representa a máxima carga suportável pela camada mole sem que resultem processos de ruptura. Esta solução não permite previsões muito seguras, não só no que respeita à quantidade de material a ser aplicada até a estabilização do sistema, como também quanto ao prazo necessário à verificação deste evento.

4ª Solução: Expulsão da camada mole por meio de explosivos.

Neste processo, uma porção de aterro projetado é inicialmente sobreposta à camada mole, sucedendo-se a implantação de cargas explosivas no interior deste. A detonação das cargas explosivas, contida superiormente pela porção de solo adicionada, faz com que parte dos solos moles seja expulsa lateralmente e que, como consequência, o material sobreposto preencha o volume liberado. Novas adições de material de aterro e detonações fazem com que a camada mole seja gradualmente substituída pelo material importado. Findo este processo, o aterro pode ser normalmente executado.

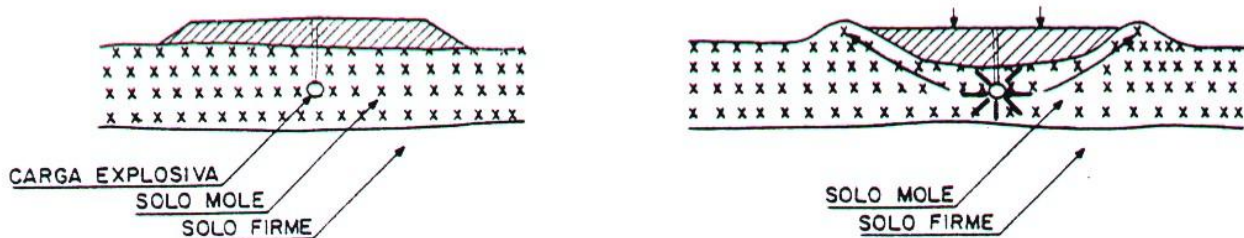


Figura 2.11

5ª Solução: Execução de drenos verticais

Esta técnica construtiva é fundamentada no fato de que a remoção da água que normalmente satura uma camada de baixa resistência ao cisalhamento acelera o processo de adensamento desta camada, gerando, como consequência direta, uma melhoria nas suas condições de suporte. Uma prática comum é a de executar drenos verticais preenchidos com areia, adequadamente dispostos em planta e seção transversal, aos quais se sobrepõe um "colchão drenante", composto pelo mesmo material. Segue-se a execução, sobre este colchão, de parte do aterro, a qual exercerá pressão sobre o sistema, forçando a água de saturação a atingir os drenos verticais, ascender por estes e ser eliminada pela camada drenante. A figura abaixo procura ilustrar o processo.

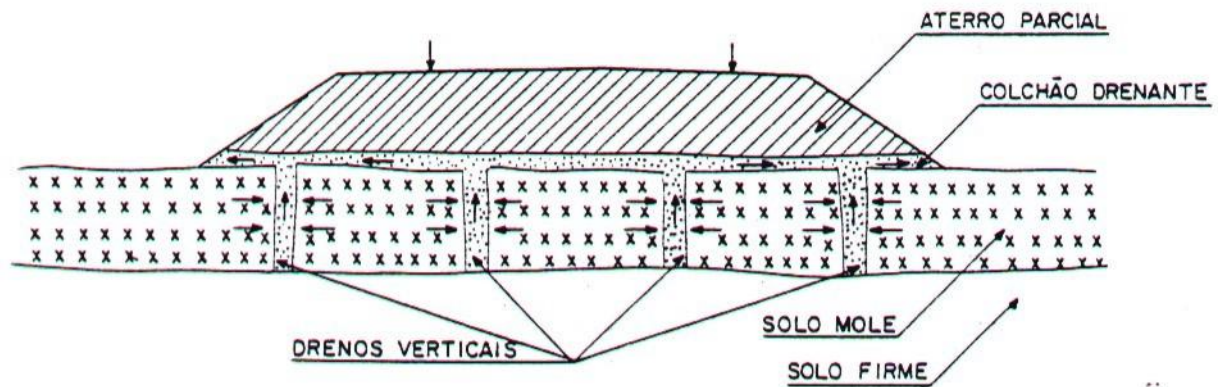


Figura 2.12

Evidentemente, a porção de material adicionada se deformará na medida em que a camada mole recalca, havendo necessidade de ser reconformada. O processo não elimina por completo a possibilidade de futuros recalques adicionais.

Na atualidade, os chamados “geodrenos” apresentam-se como uma opção bastante interessante aos drenos verticais de areia convencionais.

6ª Solução: Reforço de Terreno de Fundação com Geossintético

Esta técnica construtiva, introduzida há alguns anos em nosso país, consiste em aplicar sobre a superfície do terreno de fundação, “a priori” da execução do aterro, um geossintético do tipo geotêxtil, geocélula ou geogrelha. As características de um geossintético adequado ao reforço do terreno de fundação de aterros envolvem longa durabilidade, alta resistência à tração e flexibilidade, tornando a solução bastante prática e competitiva.

Critérios econômicos e aspectos particulares da obra fornecerão ao projetista, para cada caso em particular, subsídios à escolha da prática mais recomendável.

b) Aterros sobre Terrenos com Elevada Declividade

A construção de um aterro sobre uma encosta íngreme constitui-se em outro empecilho executivo, que deverá exigir estudo criterioso e solução adequada. O principal problema reside, neste caso, no entrosamento do terrapleno com o terreno natural, fato agravado se este exibir superfície lisa (rochosa) e/ou tendência a formar zona de percolação de água.

A prática recomenda que se proceda, inicialmente, a escavação de degraus no terreno de fundação, operação esta conhecida como “escalonamento” ou “denteamento”. Removido o material dos degraus, o aterro pode ser normalmente executado, a partir do degrau inferior, formando um maciço entrosado com o terreno natural, como ilustra a figura 2.13. A execução de drenos nos degraus escavados é essencial, quando se verificam zonas de percolação intensa de água.

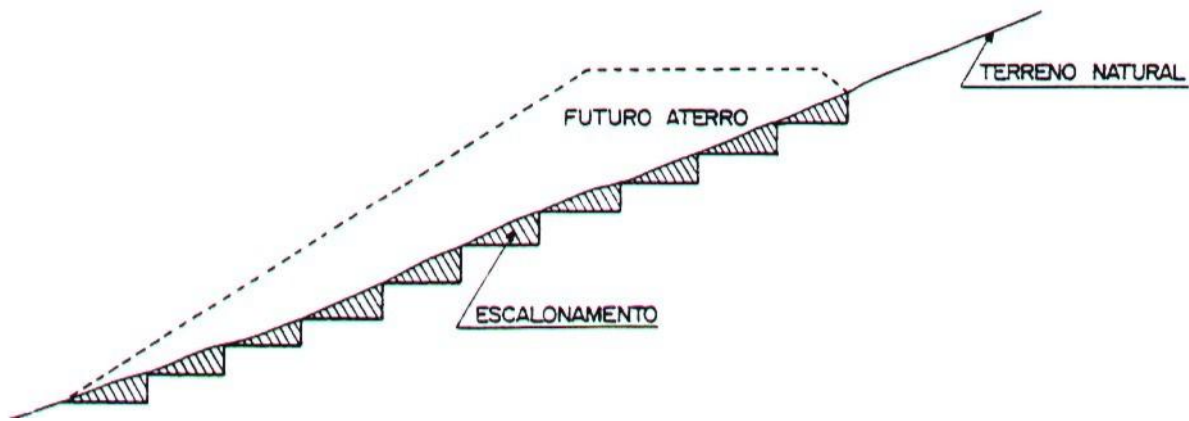


Figura 2.13

Problema similar ocorre quando se executa um aterro de maior porte sobre outro aterro pré-existente, caso comum quando do aproveitamento de uma ligação pioneira, cuja geometria se pretende melhorar. Nestas situações, costuma-se escalonar os taludes do aterro existente e só então executar o novo maciço.

Cabe notar que as dimensões dos degraus (altura e largura) serão definidas, para cada situação, em função das dimensões e características dos equipamentos disponíveis.

c) **Banqueteamento de Taludes**

A prática de implantação de banquetas (Fig.2.14) nos taludes de cortes ou aterros tem aplicação exclusiva a seções possuidoras de taludes de elevadas alturas.

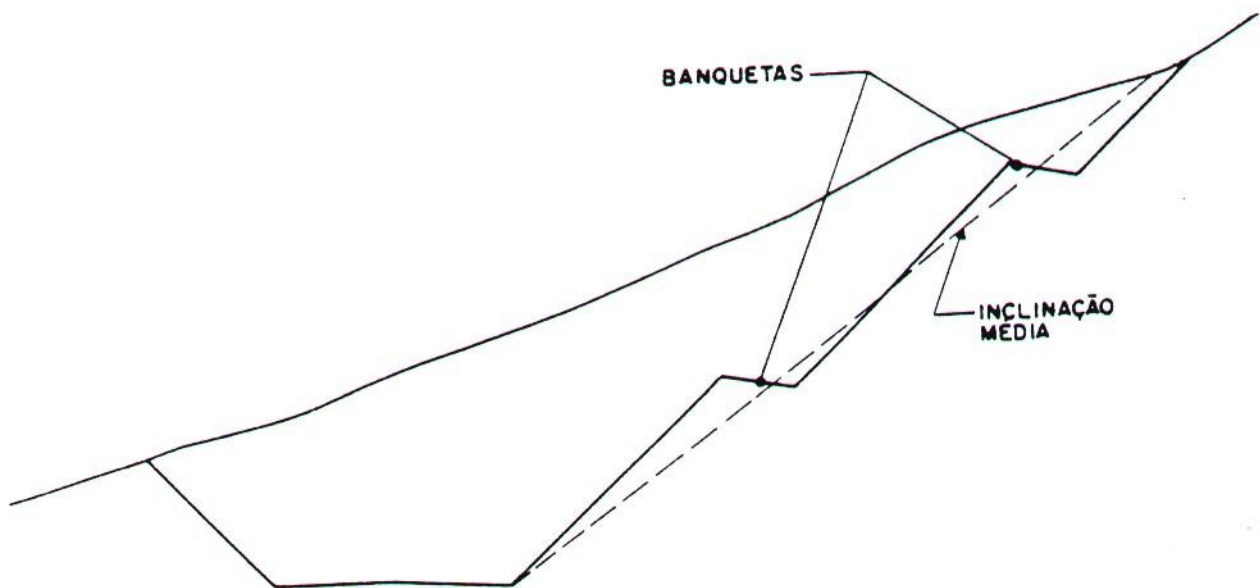


Figura 2.14

Fundamenta-se a indicação de banquetas em taludes em dois pontos básicos:

1. Os estudos de estabilidade de taludes, desenvolvidos pelo setor de geotécnica, podem recomendar a execução de banquetas, com vistas a aumentar o fator de segurança de taludes de cortes e aterros muito elevados. É fácil notar que, quanto maior o número de banquetas, tanto mais suave se torna a inclinação do talude, em termos médios;
2. O setor de hidrologia poderá, também, recomendar a execução de banquetas, em função da “altura crítica em termos de erosão”, para cortes ou aterros. Esta altura pode ser entendida como o valor limite, acima do qual a água pluviométrica precipitada e escoada sobre o talude passaria a ter energia suficiente para provocar erosão deste maciço. Se neste ponto-limite for implantada uma banqueta, esta funcionará como coletora e condutora da água precipitada, impedindo a existência de fluxos d’água nos taludes com velocidades passíveis de provocação de erosões.

2.4 COMPENSAÇÃO DE VOLUMES

A execução de escavações em cortes ou empréstimos determina o surgimento de volumes de materiais que deverão ser transportados para aterros ou bota-foras. Ainda, quanto à configuração do terreno onde se realiza uma operação de corte, esta poderá determinar uma seção dita de “corte pleno” ou uma “seção mista”.

Dependendo da situação topográfica do segmento, teremos caracterizados dois tipos distintos de compensação de volumes: compensação longitudinal ou compensação lateral (figuras 2.15 e 3.3).

2.4.1 Compensação Longitudinal

Uma compensação é dita longitudinal em duas situações:

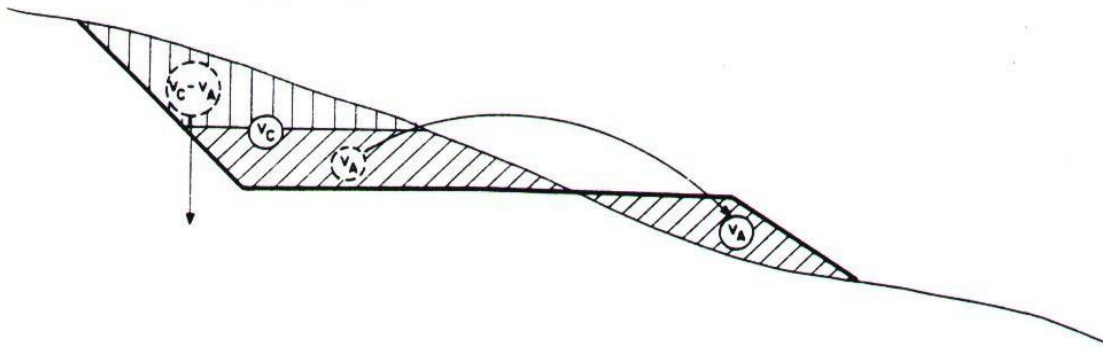
1. A escavação é em corte pleno, ou a escavação provém de empréstimo não lateral a aterro. Neste caso, todo o volume extraído será transportado para segmentos diferentes daquele de sua origem: de corte para aterro (ou bota-fora); de empréstimo para aterro, unicamente;
2. A escavação do corte é em seção mista onde o volume de corte supera o volume de aterro. Neste caso, o volume excedente de corte em relação ao volume necessário de aterro no mesmo segmento terá destinação a segmento distinto do de origem.

2.4.2 Compensação Lateral ou Transversal

A compensação lateral se caracteriza pela utilização de material escavado, no mesmo segmento em que se processou a escavação. É o caso de segmentos com seções mistas ou em que a situação do terreno existente apresente pequenos aterros disseminados em cortes plenos ou vice-versa.

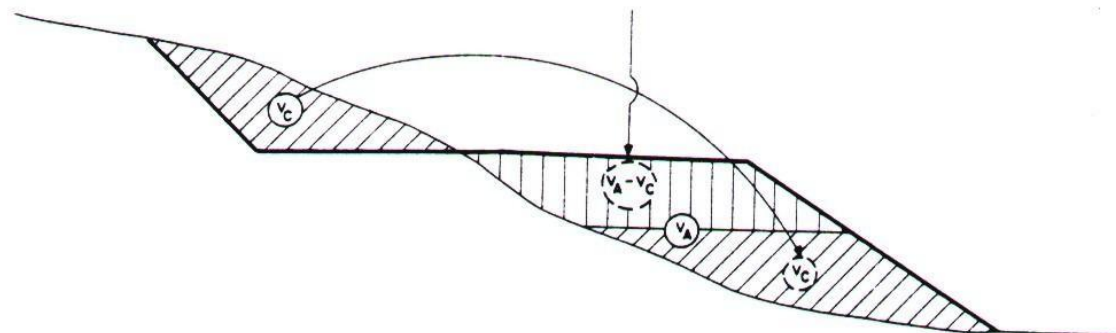
COMPENSAÇÃO DE VOLUMES

1º CASO - $V_C > V_A$



V_A → Compensação lateral
 $V_C - V_A$ → Compensação longitudinal

2º CASO - $V_A > V_C$



V_C → Compensação lateral
 $V_A - V_C$ → Compensação longitudinal

Figura 2.15

2.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DIFICULDADE EXTRATIVA

A maior ou menor resistência que um material pode oferecer, durante a sua extração de um corte, influencia de forma direta o custo desta operação. A especificação de serviço DNER-ES-T 03-70 define 3 (três) categorias de materiais com relação à dificuldade extrativa:

1. **Materiais de 1ª Categoria:** são constituídos por solos em geral, de origem residual ou sedimentar, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 15 cm, independentemente do teor de umidade apresentado;
2. **Materiais de 2ª Categoria:** compreendem aqueles materiais com resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha sã, cuja extração se torne possível somente com a combinação de métodos que obriguem a utilização de equipamento escarificador pesado. A extração poderá envolver, eventualmente, o uso de explosivos ou processos manuais adequados. Consideram-se como inclusos nesta categoria os blocos de rocha de volume inferior a 2 m³ e os matacões ou blocos de diâmetro médio compreendido entre 15 cm e 1 m.

Materiais de 3ª Categoria: correspondem a aqueles materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à da rocha sã e blocos de rocha que apresentem diâmetro médio superior a 1 m ou volume superior a 2 m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem somente com o emprego contínuo de explosivos.

O quadro apresentado a seguir resume o disposto nas definições anteriores:

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
1ª Categoria	Material incoerente (solos, em geral).
	Seixos rolados ou não: $\varnothing_{\text{máx}} < 15 \text{ cm}$.
	Qualquer teor de umidade
2ª Categoria	Resistência à extração inferior à da rocha sã.
	Uso contínuo de escarificador pesado.
	Uso eventual de explosivos ou processos manuais.
	Blocos ou matacões: $V < 2 \text{ m}^3$; $15 \text{ cm} < \varnothing_{\text{médio}} < 1 \text{ m}$
3ª Categoria	Resistência à extração equivalente à da rocha sã.
	Blocos de rocha: $V < 2 \text{ m}^3$; $\varnothing_{\text{médio}} > 1 \text{ m}$.
	Uso contínuo de explosivos.

Evidentemente, o custo da extração de um material de 3ª categoria supera em muito ao de um material de 2ª categoria. Este, por sua vez, apresenta extração mais cara do que a de material classificado em 1ª categoria.

Tarefa das mais importantes, e também bastante complexa, diz respeito à avaliação da dificuldade extrativa dos materiais a serem terraplenados, na fase de projeto, quando não se dispõe dos cortes abertos e expostos a uma análise mais profícua. Este assunto é abordado no item 5.1.

Já na fase de execução das obras de terraplenagem, a avaliação e a classificação dos materiais escavados é processada pela fiscalização dos serviços, com base em análise visual dos produtos extraídos, e dos equipamentos e técnicas efetivamente utilizados na operação.

2.6 FATORES DE CONVERSÃO

É de grande importância para as operações de terraplenagem, tanto no que respeita à etapa de projeto como à própria construção, que se tenha o adequado conhecimento das **variações volumétricas** ocorrentes durante a movimentação dos materiais envolvidos.

Um material a ser terraplenado, possuidor de massa m , ocupa no corte de origem um volume V_{corte} . Ao ser escavado, este material sofre um desarranjo em suas partículas, de forma que a mesma massa passa a ocupar um volume V_{solto} . Finalmente, após ser descarregado e submetido a um processo mecânico de compactação, o material ocupará um terceiro volume, V_{comp} . Para os solos, materiais mais freqüentemente envolvidos nas operações de terraplenagem, prevalece entre estes volumes a seguinte relação:

$$V_{\text{comp}} < V_{\text{corte}} < V_{\text{solto}}$$

Em se tratando de uma mesma massa m a ser terraplenada, é fácil concluir que as variações nas densidades (ou massas específicas aparentes) do material obedecerão às desigualdades abaixo:

$$D_{\text{comp}} > D_{\text{corte}} > D_{\text{solta}}$$

Nota-se, portanto, e a prática confirma esta assertiva, que o material (solos em geral) compactado no aterro terá uma densidade final superior a aquela do seu local de origem e, conseqüentemente, ocupará um volume menor do que o ocupado originalmente. A figura 2.16, anexa, procura ilustrar os eventos supra-enumerados.

Em vista do exposto, foram conceituados alguns fatores, aqui designados genericamente por **fatores de conversão**, que objetivam permitir a transformação imediata entre os volumes verificados nas três etapas de terraplenagem retro-enumeradas. São eles:

a - Fator de Empolamento:

$$F_e = \frac{V_{\text{solto}}}{V_{\text{corte}}}$$

É um parâmetro adimensional, sistematicamente maior do que a unidade. Permite que, conhecidos o volume a ser cortado e a capacidade volumétrica das unidades transportadoras, se determine o número de veículos a ser empregado para permitir o transporte do material escavado e “empolado”. Por outro lado, propicia a estimativa do volume ocorrente no corte a partir da cubação do material nas unidades transportadoras.

Pode ser definido, ainda, o parâmetro chamado “empolamento”, que representa, em termos percentuais, qual o incremento de volume que resulta após a escavação de um material de um corte:

$$E (\%) = \left(\frac{V_{\text{solto}} - V_{\text{corte}}}{V_{\text{corte}}} \right) \times 100$$

b - Fator de Contração:

$$F_c = \frac{V_{\text{comp}}}{V_{\text{corte}}}$$

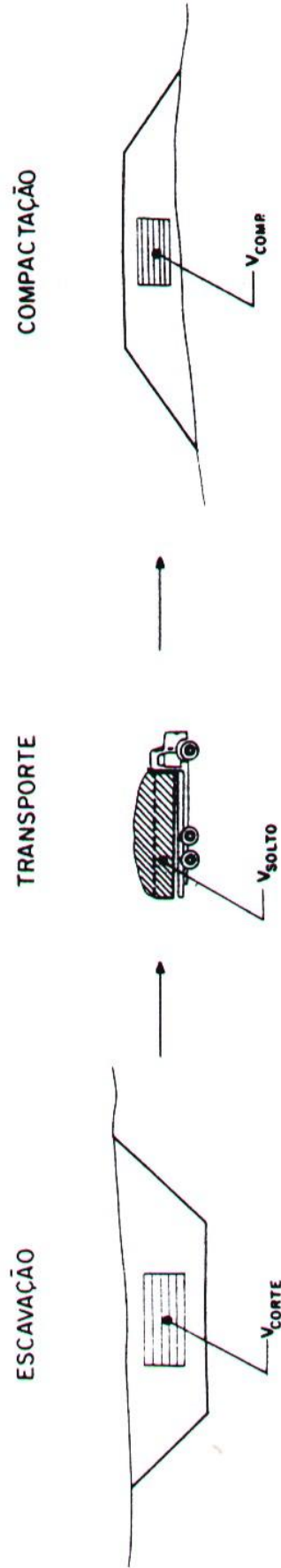
Trata-se também de parâmetro adimensional, assumindo, para os solos, valores inferiores à unidade. No entanto, quando a escavação for executada em materiais compactos (rocha sã, p.ex.) de elevada densidade “in situ”, resultará fator de contração superior à unidade. Este parâmetro permite que se faça uma estimativa do material, medido no corte, necessário à confecção de um determinado aterro.

c - Fator de Homogeneização:

$$F_h = \frac{V_{\text{corte}}}{V_{\text{comp}}} = \frac{1}{F_c}$$

O objetivo deste parâmetro, também adimensional, é similar ao do fator de contração, ou seja, estimar o volume de corte necessário à confecção de um determinado aterro. Sua aplicação é voltada para a etapa de projeto constituindo-se em subsídio fundamental ao bom desempenho da tarefa de distribuição do material escavado. Sendo o inverso do fator de contração, assume valores superiores à unidade para solos, e inferiores para materiais compactos. A avaliação do fator de homogeneização é tratada com detalhes no item 5.3.

VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS SOLOS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DA TERRAPLENAGEM



V_{CORTE} , V_{SOLTO} , V_{COMP} . CORRESPONDENTES A UMA MESMA MASSA

$$V_{COMP} < V_{CORTE} < V_{SOLTO}$$

Figura 2.16

3 NOÇÕES SOBRE EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM

Neste capítulo procura-se fazer uma descrição sumária dos equipamentos e implementos usualmente empregados nas obras de terraplenagem, bem como das tarefas que lhes são afins.

3.1 CLASSIFICAÇÃO

A classificação proposta por Cândido do Rego Chaves, em sua obra “Terraplenagem Mecanizada”, discrimina os principais equipamentos de terraplenagem da seguinte maneira:

- Unidades tratoras;
- Unidades escavo-empurradoras;
- Unidades escavo-transportadoras;
- Unidades escavo-carregadoras;
- Unidades aplainadoras;
- Unidades transportadoras,
- Unidades compactadoras.

3.2 UNIDADES TRATORAS

Os **tratores** são as unidades básicas de terraplenagem, exercendo a função de tracionar ou empurrar outras máquinas e, quando equipados com implementos especiais, elaborar as mais diversas tarefas.

Conforme se locomovam sobre pneumáticos ou esteiras, as unidades tratoras recebem as designações, respectivamente, de **tratores de rodas** ou **tratores de esteiras**.

As esteiras de um trator são compostas por placas de aço articuladas, equipadas com saliências que penetram no terreno, aumentando a aderência do equipamento.

As esteiras permitem a transmissão ao terreno de suporte de pressões bastante baixas, inferiores a 1 kgf/cm², o que viabiliza a locomoção do equipamento sobre materiais de baixa capacidade de sustentação. Por outro lado, os tratores equipados com rodas pneumáticas aplicam ao terreno pressões de contato de 3 até 6 kgf/cm².

As condições particulares inerentes a cada aplicação definirão acerca da adequabilidade de utilização dos dois tipos de unidades tratoras. Como regra geral, os tratores de pneus apresentam vantagens decorrentes de sua maior velocidade de translação (até 70 km/h), o que favorece seu emprego a distâncias mais longas. Por outro lado, os tratores de esteiras desempenham melhor suas atividades quando atuando em terrenos com forte declividade ou com baixa capacidade de suporte, pela sua melhor aderência e flutuação, muito embora desenvolvendo velocidades mais limitadas (a máxima é da ordem de 10 km/h). Esta condicionante de velocidade limita o emprego dos tratores de esteiras a distâncias moderadas.

3.3 UNIDADES ESCAVO-EMPURRADORAS

As unidades tratoras equipadas com lâmina frontal acionada por comando hidráulico, são aplicadas em tarefas combinadas de escavar e empurrar o material terroso, daí a designação de “unidades escavo-empurradoras”.

As lâminas convencionais apresentam seção transversal curva, recebendo em sua porção inferior peça cortante denominada “faca”. A faca é ladeada por duas peças menores, ditas “cantos de lâmina” (Fig.3.1). Pela ação da abrasão resultante das operações de corte, os cantos e a faca se desgastam, podendo ser substituídos com facilidade, quando oportuno.

Conforme as mobilidades da lâmina distinguem-se dois tipos básicos de unidades escavo-empurradoras, a saber:

- *“Bulldozer”*: equipamento no qual a lâmina é posicionada perpendicularmente ao eixo longitudinal do trator, podendo apresentar apenas movimentos ascendentes e descendentes (figura 3.2.a). Este sistema permite somente a escavação e o transporte para a frente. Caso se deseje transporte lateral com esse tipo de equipamento, haverá necessidade de combinar movimentos.
- *“Angledozer” ou “trator com lâmina angulável”*: neste equipamento, além dos movimentos permitidos no bulldozer, são possíveis deslocamentos da lâmina no entorno de seu eixo vertical, conforme ilustra a figura 3.2 b. Esta lâmina permite que, com o trator se deslocando normalmente, o material escavado seja depositado lateralmente, formando uma “leira” contínua e paralela ao sentido de translação. A execução de compensações laterais, para seções mistas, é facilitada pelo emprego deste tipo de equipamento.

Em algumas unidades, as lâminas podem apresentar, ainda, outros movimentos, como a variação do ângulo de ataque ao solo (“tip-dozer”) ou a inclinação em torno do eixo longitudinal do trator (“tilt-dozer”), conforme ilustra a figura 3.2.c.

Cabe citar, ainda, um tipo especial de lâmina aplicável a tratores que funcionam como “pusher”, ou seja, empurram os outros equipamentos (“scrapers”) durante as operações de carga destas unidades. Estas lâminas são chamadas de “placas” ou “lâminas prato”, devendo ser suficientemente robustas para resistir aos esforços e impactos pertinentes a este tipo de operação.

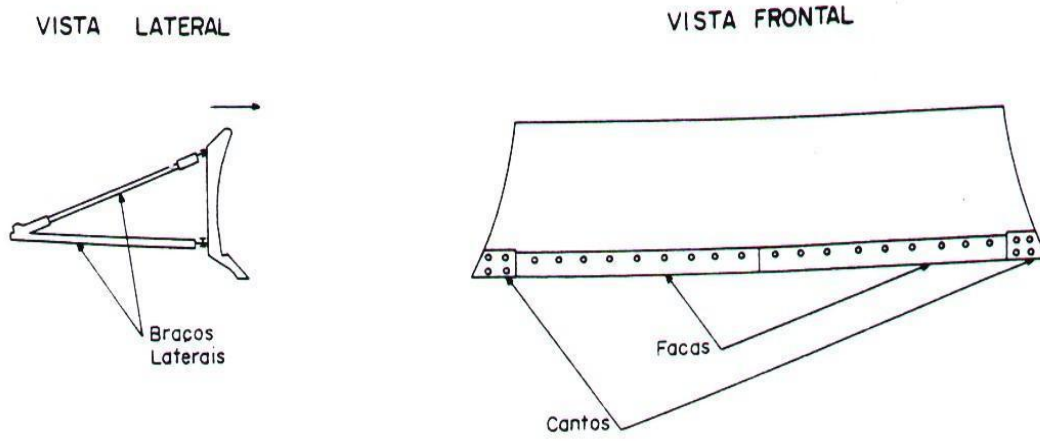
Dentre as tarefas de terraplenagem usualmente desenvolvidas pelos tratores de lâminas, destacam-se:

- Desmatamento, destocamento e limpeza de terreno;
- Construção de caminhos de serviço;
- Execução de compensações laterais, nas seções em meia-encosta (Fig. 3.3);
- Escavação e transporte de pequenos volumes a distâncias inferiores a 50 m;

- Desbaste transversal do terreno, próximo ao “off-set”, para permitir o deslocamento longitudinal dos equipamentos de pneus, em locais com forte inclinação lateral;
- Suavização da declividade do terreno nos pontos de passagem corte/aterro, para facilitar o desempenho dos “scrapers”;
- Espalhamento, no aterro, do material depositado por unidades transportadoras, preparando campo para atuação dos equipamentos de compactação;
- Como unidade empurradora (“pusher”), para auxiliar a operação de carregamento dos “scrapers”.

Existem, ainda, implementos que podem ser acoplados aos tratores, de sorte que estes possam desempenhar outras atividades. Dentre estes, destacam-se pela sua importância os escarificadores ou “rippers”, montados na parte traseira dos tratores. Este implemento é constituído por um dente ou conjunto de dentes bastante reforçado, o qual, movido por controle hidráulico, penetra em materiais compactos (2ª categoria) rompendo-os e permitindo o posterior transporte com lâmina comum ou “scrapers” (Fig.3.1).

COMPONENTES DE UMA LÂMINA CONVENCIONAL



ESCARIFICADOR ("RIPPER")

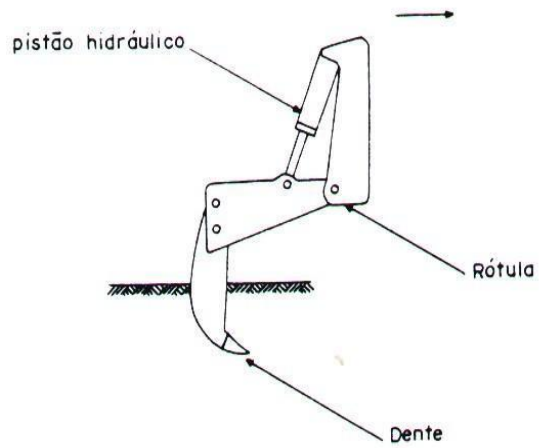
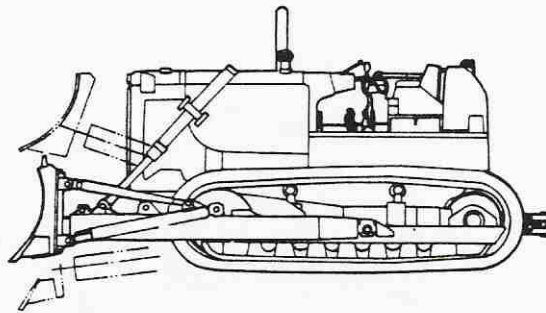


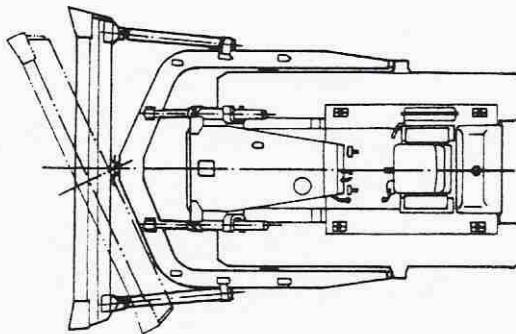
Figura 3.1

TRATORES DE LÂMINA

a) Bulldozer (Vista lateral)



b) Angledozer (Planta)



c) Tilt - dozer (Vista frontal)

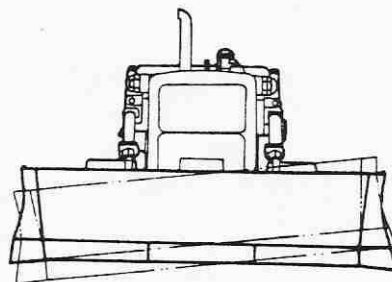


Figura 3.2

EXECUÇÃO DE COMPENSAÇÃO LATERAL COM "ANGLEDOZER"

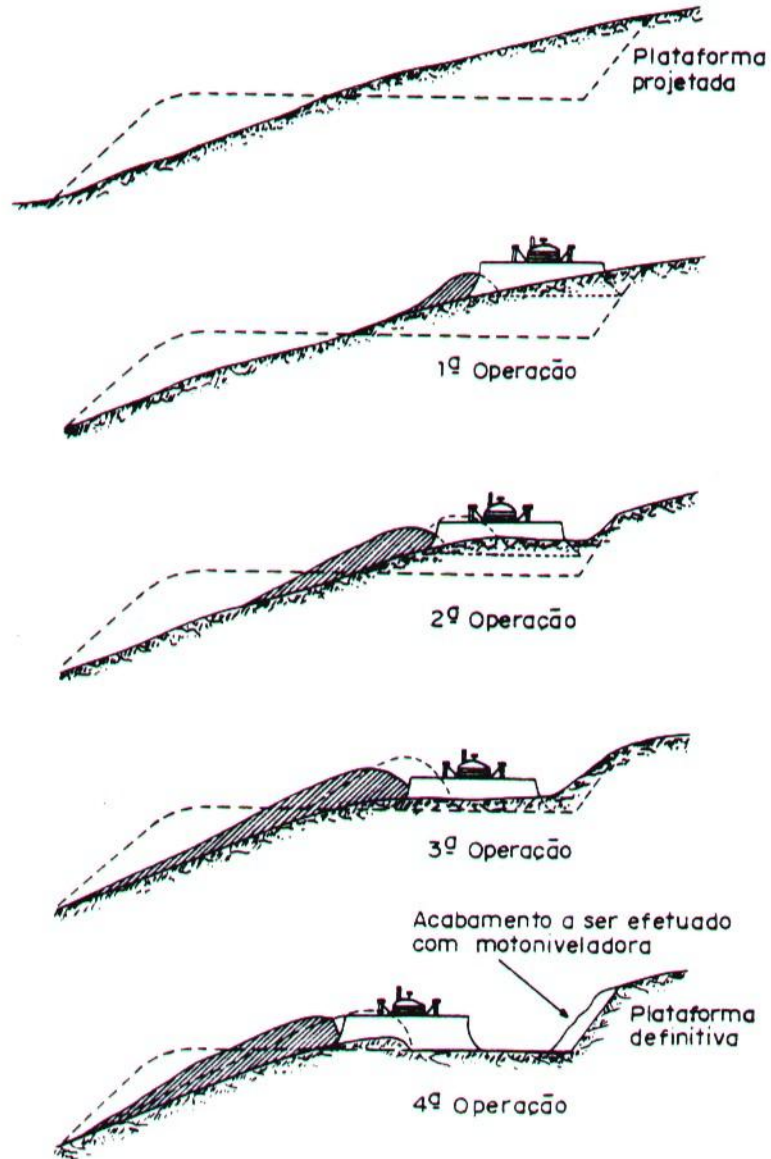


Figura 3.3

3.4 UNIDADES ESCAVO-TRANSPORTADORAS

Estas unidades de terraplenagem executam as seguintes atividades: escavação, carga, transporte e descarga de materiais soltos, entre distâncias médias e longas.

Basicamente, há dois tipos de unidades escavo-transportadoras: o “scraper” rebocado e o “moto-scraper”. O funcionamento de ambos é, em grande parte, similar.

O “scraper” rebocado é uma unidade tracionada por uma unidade tratora, composta por uma caçamba montada sobre dois eixos equipados com pneumáticos. O acionamento dos comandos é feito por sistema de cabos e polias.

Já no “motoscraper” (Fig.3.4) a caçamba dispõe de um único eixo de pneumáticos, apoiando-se diretamente na unidade tratora, que poderá ser um trator rebocador de um único eixo (mais comum) ou de dois eixos de pneumáticos. Os movimentos do “motoscraper” são executados por meio de pistões hidráulicos.

Em ambas as unidades, a escavação é propiciada por lâmina de corte, a qual entra em contato com o terreno pelo abaixamento da caçamba, ao mesmo tempo em que o **avental** é levantado.

A carga é obtida pelo deslocamento do “scraper”, fazendo com que a lâmina penetre no terreno e com que o material cortado seja empurrado para o interior da caçamba. Neste ponto, é fundamental a atuação de trator auxiliar atuando como “pusher”, para que a unidade escavo-transportadora apresente produção satisfatória, pela redução do tempo de carga.

Tendo sido completada a carga da caçamba, esta é levantada ao mesmo tempo em que o “avental” se fecha, iniciando-se o transporte até o local de destino.

A descarga é executada com o abaixamento da caçamba, sem que esta entre em contato com o terreno, ao mesmo tempo em que se aciona a placa de ejeção, que empurra o material para a frente, auxiliando na sua expulsão.

Para procurar solucionar as dificuldades durante a etapa de carregamento, eliminando a necessidade do “pusher”, os fabricantes de equipamentos desenvolveram outros tipos de unidades escavo-transportadoras, como o “motoscraper” com eixo traseiro também motriz ou o “scraper” cuja caçamba é equipada com um sistema elevador de material.

"MOTOSCRAPER"

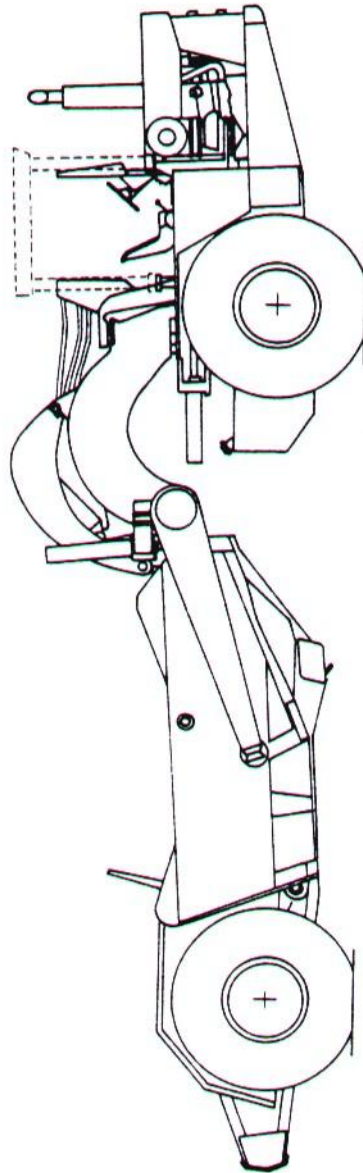


Figura 3.4

3.5 UNIDADES ESCAVO-CARREGADORA

Esta classe compreende aqueles equipamentos que executam operação de escavação e carga do material escavado sobre outro equipamento, este último participando nas tarefas de transporte e descarga.

As unidades escavo-carregadoras podem se enquadrar, por sua vez, em dois grupos distintos: as escavadeiras e as carregadeiras. As máquinas integrantes de ambos os grupos executam as mesmas operações (escavação e carga), diferindo, no entanto, quanto à sua constituição.

a) **Carregadeiras**

Normalmente conhecidas como pás-carregadeiras, estas máquinas são montadas sobre tratores de esteiras ou de pneumáticos, possuindo uma caçamba frontal acionada por braços de comando hidráulicos (Fig.3.5.a e 3.5.b).

A utilização de esteiras garante às pás-carregadeiras grande mobilidade, sendo possível o emprego destes equipamentos em locais de pequenas dimensões. É marcante, também, a vantagem das pás sobre esteiras quanto aos aspectos inerentes à aderência e ao deslocamento sobre terrenos com baixa capacidade de suporte. A outro lado, os equipamentos sobre esteiras apresentam desvantagens em relação aos montados sobre pneus, no deslocamento em longas distâncias; porquanto estes últimos são auto-suficientes, enquanto os primeiros requerem transporte através de carretas.

O ciclo de operação de uma pá-carregadeira compreende o avanço sobre o terreno a escavar, o enchimento da caçamba, o recuo da máquina, o avanço sobre a unidade transportadora, a descarga do material contido na caçamba e o retrocesso à posição original (Fig.3.6).

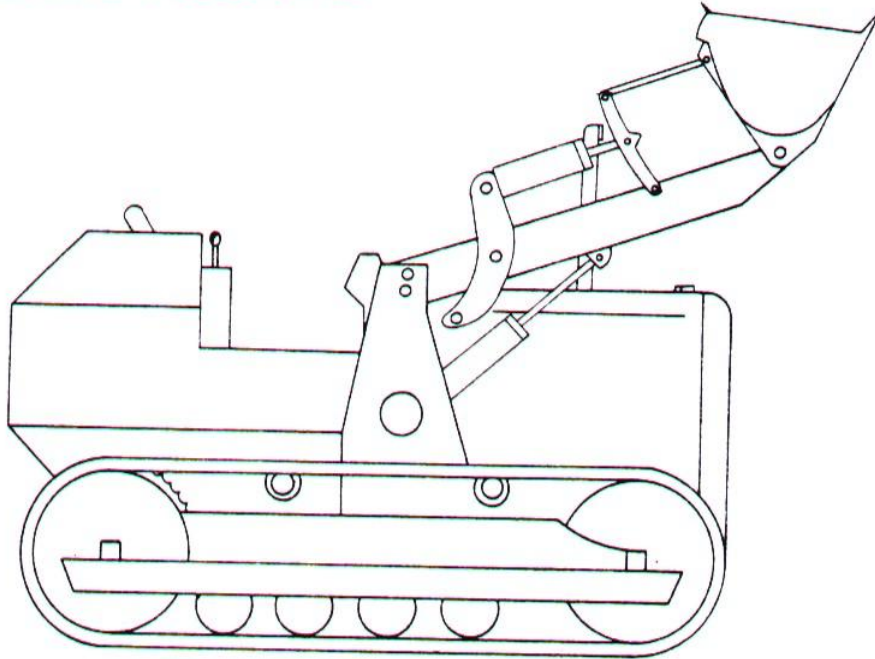
Dependendo de suas dimensões, uma pá-carregadeira convencional pode “atacar” taludes de até 3 m de altura. Para atuação em situações mais desfavoráveis, há necessidade de se operar por degraus condizentes com o porte da máquina empregada.

O enchimento da caçamba, executado de baixo para cima, deve ser feito, preferencialmente, em uma única operação, retirando-se uma camada delgada do solo. Para materiais muito coesivos ou duros, é possível efetuar-se o carregamento da caçamba em duas vezes antes de “girar” a máquina.

Como ao “giro” corresponde um tempo improdutivo, este deve ser reduzido a um mínimo, o que pode ser obtido posicionando-se os veículos de transporte tão próximos quanto possível da frente de ataque.

CARREGADEIRAS

a - CARREGADEIRA DE ESTEIRAS



b - CARREGADEIRA DE PNEUMÁTICOS ARTICULADA

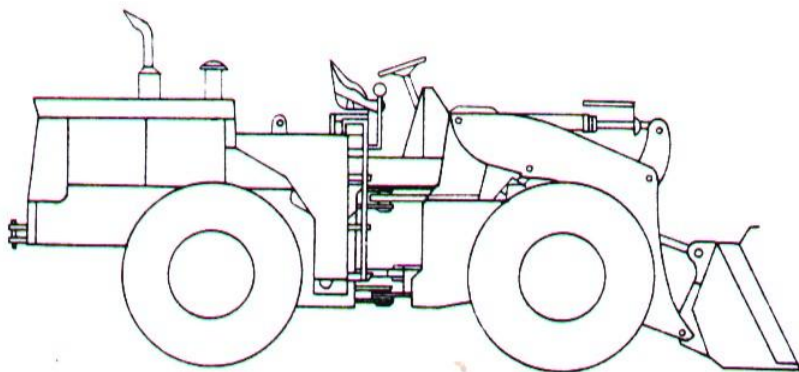
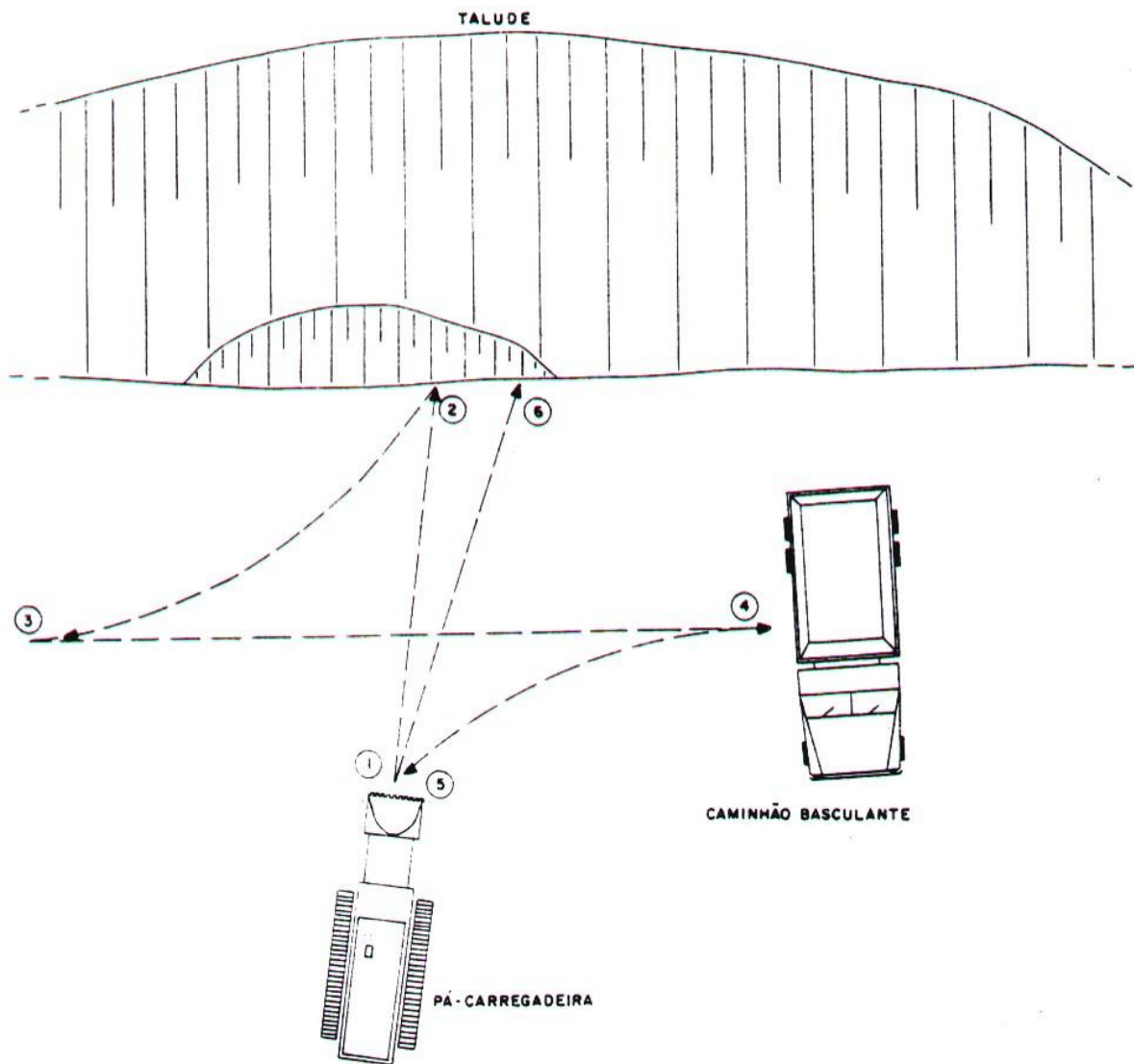


Figura 3.5

CICLO DE OPERAÇÃO DE UMA PÁ-CARREGADEIRA



ETAPAS DO CICLO DE OPERAÇÃO

- 1- POSIÇÃO INICIAL
- 2- ATAQUE AO TALUDE E ENCHIMENTO DA CAÇAMBA
- 3- RETROCESSO
- 4- AVANÇO SOBRE A UNIDADE TRANSPORTADORA E DESCARGA
- 5- RETROCESSO
- 6- NOVO ATAQUE AO TALUDE

Figura 3.6

b) Escavadeiras

As escavadeiras ou pás-mecânicas são equipamentos constituídos por uma infraestrutura, em geral apoiada sobre esteiras, que suporta conjunto superior que pode girar em torno de seu eixo vertical. A particularidade inerente às pás-mecânicas é que estas trabalham estacionadas, cabendo à sua superestrutura a movimentação necessária à carga e descarga do material.

O deslocamento longitudinal das escavadeiras, por ser muito lento, fica restrito ao âmbito de seu local de trabalho, sendo requerido o emprego de carretas para transporte destas máquinas a distâncias maiores.

As pás-mecânicas executam suas operações por meio de sistemas de lanças e caçambas, acionados por cabos de aço ou cilindros hidráulicos. Cada sistema tem sua aplicabilidade a tipos específicos de escavações. Distinguem-se, como principais, os seguintes grupos de pás-mecânicas:

- A pá-frontal, ou “shovel”;
- As escavadeiras com caçamba de arrasto, ou “drag-line”
- A escavadeira com caçamba de mandíbulas, ou “clam-shell”, e
- A retro-escavadeira, ou “back-shovel”.

As pás do tipo “shovel” (Fig.3.7.a) destinam-se a escavar taludes situados acima do nível em que a máquina se situa. A superestrutura destes equipamentos é composta por uma lança, à qual se acha acoplado um braço móvel, sendo que este, acionado em movimento ascendente, permite à caçamba postada em sua extremidade executar o corte do talude. O acionamento do braço é feito por sistema de cabos ou hidráulicamente. A descarga do material escavado se dá pelo giro da plataforma, até que a caçamba se posicione sobre o equipamento transportador, quando então é aberta a tampa móvel inferior da caçamba.

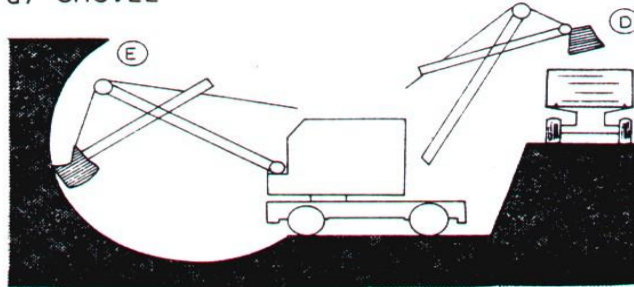
As escavadeiras do tipo “drag-line” (Fig.3.7.b) objetivam escavar em níveis situados abaixo do terreno de apoio da máquina, sendo sua grande aplicação estendida a uma ampla gama de materiais pouco consistentes, mesmo quando possuidores de elevados teores de umidade. Sua superestrutura é composta por uma lança em treliça metálica, a qual aciona uma caçamba por um sistema de cabos e roldanas. A operação de escavação é feita pelo arrastamento da caçamba, devidamente posicionada pelo operador. Para efetuar a descarga, a plataforma pode ser girada e a caçamba voltada para a posição de despejo pelo alívio do cabo de arrasto.

A retro-escavadeira (Fig.3.7.c) é um equipamento similar ao “shovel”, diferenciando-se pelo fato de que a caçamba trabalha invertida, ou seja: voltada para baixo. Destina-se à operação abaixo do nível do seu plano de apoio, garantindo boa precisão nas dimensões da vala escavada. As máquinas modernas são acionadas hidráulicamente.

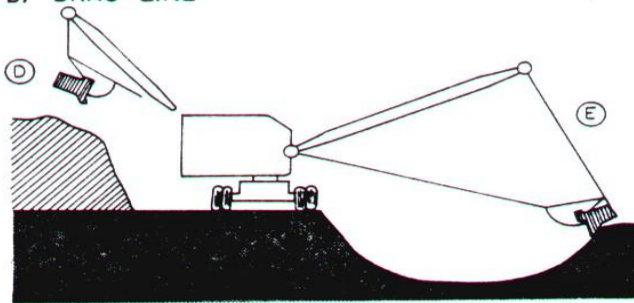
No caso das escavadeiras do tipo "clam-shell", a remoção do material avança verticalmente e em profundidade. Isto é possível pois o equipamento é composto por uma lança treliçada que aciona uma caçamba composta por duas partes móveis, as quais caem sobre o terreno, fechando-se ao serem erguidas. O "clam-shell" presta-se à abertura de valas de dimensões restritas, mesmo com presença de água. A (Fig.3.7.d) ilustra este tipo de escavadeira.

ESCAVADEIRAS

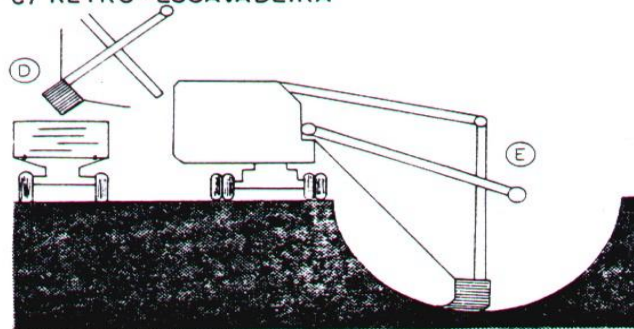
a) "SHOVEL"



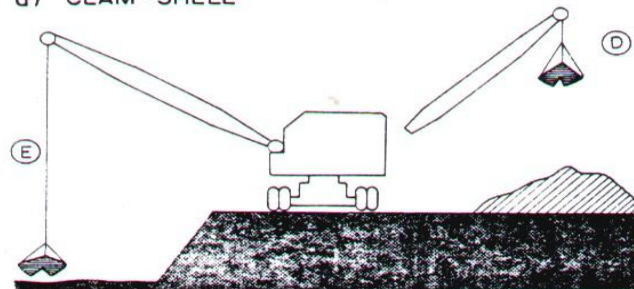
b) "DRAG - LINE"



c) RETRO - ESCAVADEIRA



d) "CLAM - SHELL"



E = Escavação
D = Descarga

Figura 3.7

3.6 UNIDADES APLAINADORAS

As unidades aplainadoras (motoniveladoras, Fig.3.8) são equipamentos dedicados essencialmente a operações de acabamento final da área terraplenada.

As motoniveladoras atuais resultam da evolução das antigas niveladoras tracionadas. São constituídas por uma unidade tratora, equipada com uma lâmina posicionada entre os seus eixos dianteiro e traseiro. A grande versatilidade das motoniveladoras decorre da diversidade de posições de trabalho que a lâmina pode assumir. Os movimentos possíveis da lâmina, cujo acionamento pode ser hidráulico ou mecânico, são: rotação em torno do eixo vertical, rotação em torno de seu eixo longitudinal, translação vertical de uma ou de ambas as suas extremidades e translação segundo o eixo longitudinal. A combinação destes quatro possíveis movimentos permite ao operador modificar à vontade:

- A altura da lâmina acima do solo;
- O ângulo formado pela lâmina em relação ao plano vertical que a contém;
- O ângulo formado pela lâmina em relação ao plano horizontal que contém o eixo longitudinal do chassis;
- O ângulo de ataque da lâmina sobre o solo;
- O desenvolvimento lateral da lâmina em relação ao sentido longitudinal.

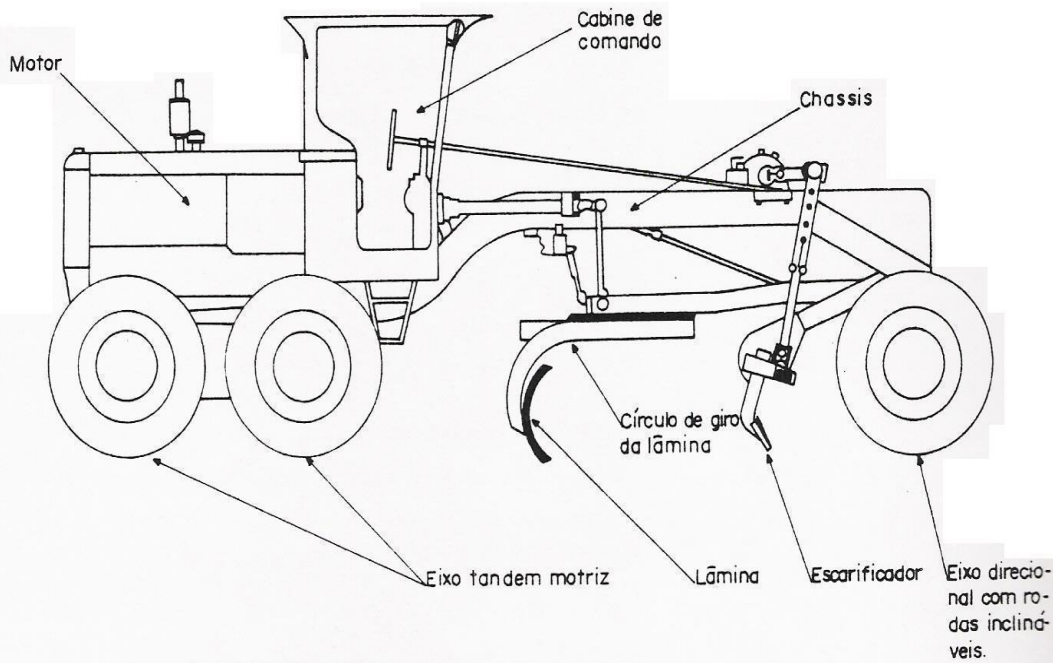
Além da lâmina, que pode ser de vários tipos e tamanhos, a motoniveladora pode ter alguns implementos, sendo mais comum, dentre estes, a utilização de escarificadores (dianteiros e traseiros). O emprego destes escarificadores leves permite a desagregação prévia do terreno, facilitando a ação posterior da lâmina.

Dentre as inúmeras aplicações destes equipamentos, destacam-se as seguintes:

1. Remoção de vegetação leve e de camada vegetal;
2. Construção de valas;
3. Espalhamento de materiais empilhados ou dispostos em cordões;
4. Mistura, na pista, de dois ou mais materiais previamente pulverizados (atividades em geral de pavimentação);
5. Acabamento da plataforma de terraplenagem (ou também de camadas granulares de pavimentos), mediante ação cuidadosa da lâmina trabalhando em corte;
6. Acabamento de taludes, mediante posicionamento lateral de lâmina.

MOTONIVELADORA

a) VISTA LATERAL



b) VISTA FRONTAL

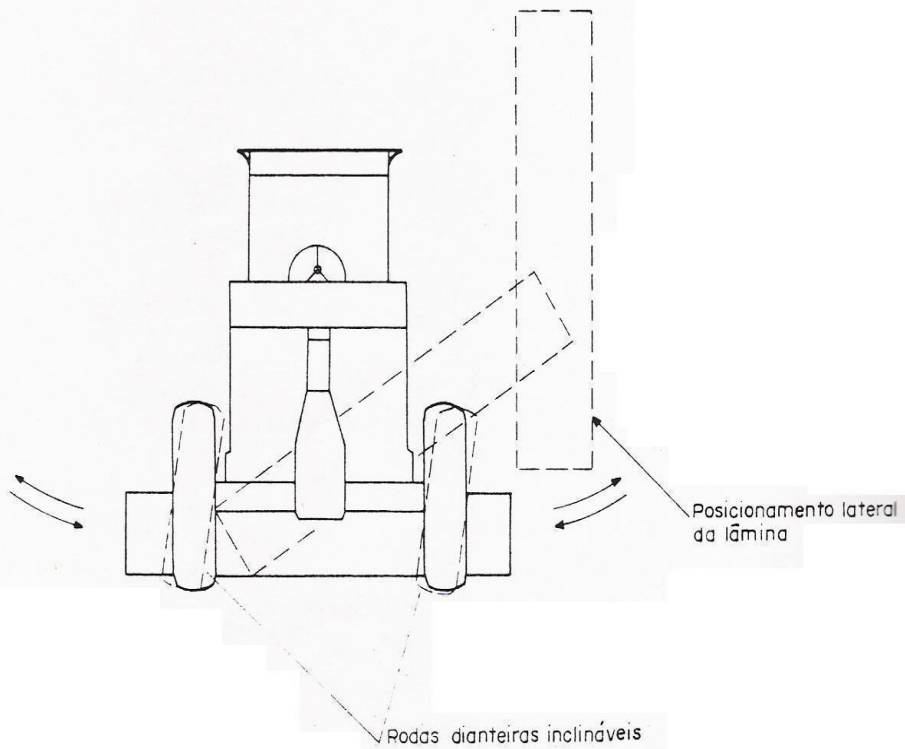


Figura 3.8

3.7 UNIDADES TRANSPORTADORAS

As unidades transportadoras são utilizadas em operações de terraplenagem, quando as distâncias de transporte são elevadas a ponto de tornar anti-econômico o emprego de “motoscrapers”. Executam apenas operações de transporte e descarga, devendo o seu carregamento se dar pela ação de unidades escavo-carregadoras.

As unidades transportadoras mais freqüentemente empregadas são:

- O caminhão basculante;
- Os vagões;
- Os “dumpers”;
- Os caminhões “fora-de-estrada”.

Os caminhões basculantes convencionais possuem caçambas metálicas com capacidade que variam de 4,5 a 6,0 m³. O acionamento da balança é feito por pistão hidráulico, permitindo a descarga através de tampa traseira (Fig.3.9.a.).

Os vagões, por outro lado, são unidades de maior porte, geralmente rebocados por tratores de pneus. Desempenham boa velocidade (até 60 km/h), podendo movimentar, em cada viagem, volumes apreciáveis. A descarga do material pode se dar por basculamento e abertura de tampa traseira, por abertura de comportas situadas no fundo da caçamba ou por basculamento lateral, conforme o tipo de vagão.

Os “dumpers” são unidades transportadoras similares aos caminhões basculantes, porém de estrutura bem mais reforçada. Transportam volumes de 4 a 5 m³ atingindo, quando vazios, velocidade de até 30 km/h. Uma peculiaridade inerente aos “dumpers” é que o operador sempre trabalha olhando para frente, mesmo com o veículo se deslocando para trás. Isto é possível pelo posicionamento da cabine e pela existência de comandos duplos e de assento e volante giratórios.

Os caminhões do tipo “fora-de-estrada” são basculantes de grande porte, com dimensões tais que impedem seu uso em estradas normais. Possuindo caçambas com volumes superiores a 10 m³, atingem velocidades de até 60 km/h. Pelo seu alto custo de aquisição, têm utilização restrita a obras em que os volumes a movimentar são muito grandes (Fig.3.9.b).

UNIDADES TRANSPORTADORAS

a - CAMINHÃO BASCULANTE TRADICIONAL



b - CAMINHÃO "FORA-DE-ESTRADA"

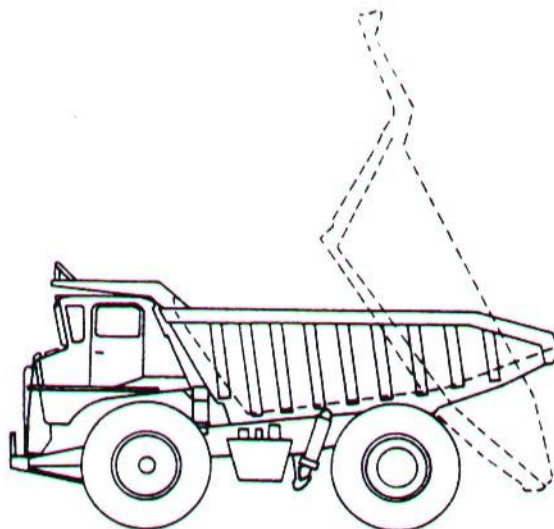


Figura 3.9

3.8 UNIDADES COMPACTADORAS

Estes equipamentos objetivam densificar os solos distribuídos nos aterros, reduzindo os seus índices de vazios e conferindo-lhes maior estabilidade.

Existem diversos tipos de unidades compactadoras à disposição no mercado (Fig.3.10), sendo de uso mais comum as seguintes:

- Rolo de pneumáticos;
- Rolo pé-de-carneiro;
- Rolos vibratórios.

Os rolos de pneumáticos são compostos por uma plataforma equipada com dois eixos, cada um deles possuindo 3 ou mais pneumáticos. A pressão de inflação dos pneumáticos é que governa o adensamento do material submetido à ação deste equipamento. Os melhores rolos possuem sistema de calibração independente, que permite ao operador impor pressões variáveis de 70 a 150 lb/pol². Este equipamento compactador é dos mais versáteis, sendo aplicável a uma ampla gama de solos, desde os finos e coesivos até os de granulação grosseira e pouco plásticos. Aplicam-se igualmente a serviços de pavimentação.

Os rolos pé-de-carneiro consistem de um tambor equipado com saliências denominadas “patas”. Estas saliências penetram na camada de solo no início da compactação, conduzindo a um processo de adensamento de “baixo para cima”, até que, quando completada a compactação, praticamente não há penetração das patas na camada. A grande aplicação dos rolos pé-de-carneiro se dá frente a solos finos e coesivos, siltosos ou argilosos.

Os rolos lisos vibratórios, por outro lado, aplicam-se à compactação de solos não coesivos. As vibrações, provocadas pelo acionamento de uma massa excêntrica em relação ao eixo do tambor, proporcionam o adensamento rápido e uniforme de solos arenosos, pela aproximação de suas partículas. Melhores resultados são obtidos quando as vibrações produzidas entram em ressonância com o solo, o que pode ser obtido pela regulação da frequência aplicada.

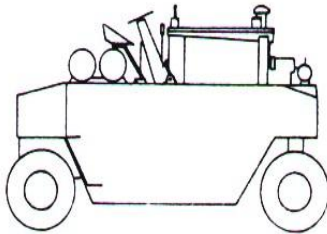
Algumas combinações dos rolos anteriormente citados, como o rolo pé-de-carneiro vibratório, permitem que uma ampla variedade de solos possa ser compactada com sucesso, limitando a diversidade de equipamentos compactadores requerida em obras de terraplenagem.

Outros equipamentos especiais, como o rolo de grelha, composto por um tambor envolto por uma malha de barras de aço de diâmetro de 1 ½”, aplicam-se à densificação de materiais graúdos ou de torrões, os quais são esmagados pelas grelhas.

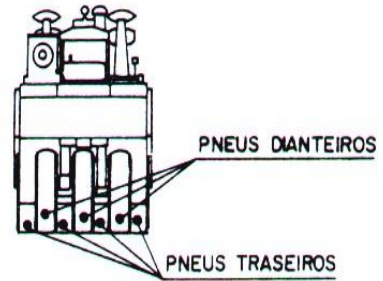
ROLOS COMPACTADORES

a) ROLO DE PNEUMÁTICOS

VISTA LATERAL

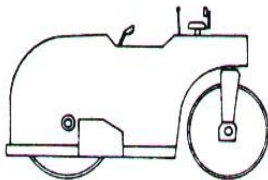


VISTA FRONTAL

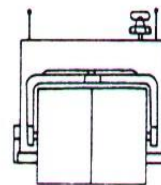


b) ROLO LISO TANDEM

VISTA LATERAL

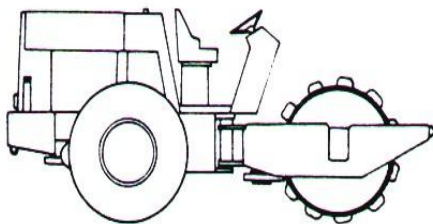


VISTA FRONTAL



c) ROLO PÉ DE CARNEIRO VIBRATÓRIO

VISTA LATERAL



PLANTA

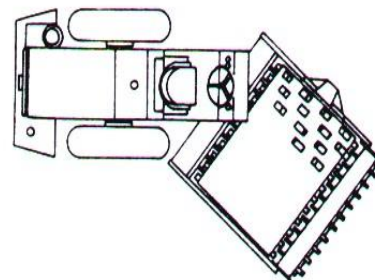


Figura 3.10

3.9 OUTROS EQUIPAMENTOS

Além dos equipamentos e implementos anteriormente descritos, caberia citar os seguintes:

- Grades de discos e pulvimisturadores: equipamentos que objetivam homogeneizar ou baixar o teor de umidade dos solos, previamente à compactação, para que esta se dê nas condições ótimas definidas no ensaio de compactação pertinente;
- Caminhões irrigadores: equipamentos que objetivam distribuir água sobre uma camada de solo, para aumentar o seu teor de umidade, a ponto de atingir-se as condições ótimas de umidade já citadas, requeridas para uma boa compactação;
- Compressores de ar e perfuratrizes: equipamentos que permitem a perfuração de minas em materiais rochosos, para efeito de instalação de explosivos e posterior desmonte de produtos de 3ª categoria.

4 FASES DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM - OBJETIVOS BÁSICOS

4.1 FASE DE ANTEPROJETO

A Fase de Anteprojeto de um “Projeto Final de Engenharia Rodoviária” objetiva, em síntese, o estudo de alternativas de traçado para definição de uma única diretriz a ser levada à Fase de Projeto. Assim sendo, todos os trabalhos desenvolvidos visam a obtenção de dados para um comparativo técnico-econômico ao final desta fase (Estudos de Traçado).

Também, em se tratando de uma fase de definição de traçado, não se dispõe de dados de grande precisão, já que os elementos obtidos oferecem uma gama muito grande de dados, porém, em escalas reduzidas.

Para o Anteprojeto de Terraplenagem, conta-se com subsídios retirados do Anteprojeto Geométrico e das investigações geotécnicas desenvolvidas em cada alternativa. O Anteprojeto Geométrico é elaborado, comumente, sobre plantas topográficas em escala 1:5.000, estas obtidas por processo aerofotogramétrico ou por processo topográfico convencional. Já os Estudos Geotécnicos investigam a natureza dos cortes e subleitos (subdivisões desses Estudos que interessam diretamente à terraplenagem) através de sondagens com coleta de amostras para ensaios de laboratório, com espaçamento da ordem de 1.000 m (no mínimo um furo por corte).

O Anteprojeto de Terraplenagem, com base nesses subsídios, procurará determinar, com as aproximações possíveis, os serviços e as conseqüentes quantidades, com vistas à definição dos custos envolvidos, para cada uma das alternativas.

4.2 FASE DE PROJETO

A Fase de Projeto de um “Projeto Final de Engenharia Rodoviária” tem por objetivo a determinação de todos os elementos necessários à construção, bem como para a elaboração de Editais e Propostas de Empresas Construtoras para execução dos serviços.

Assim sendo, os dados para cada item de projeto devem ser os mais precisos possíveis. Para o caso específico do Projeto de Terraplenagem, os dados obtidos do Projeto Geométrico são provenientes de levantamentos convencionais de campo, com aparelhagem de precisão, desenhada a planta e os elementos horizontais do perfil longitudinal em escala 1:2.000, e os elementos verticais do perfil longitudinal e as seções transversais em escala 1:200. Já os dados das investigações geotécnicas de cortes e subleito são obtidos de sondagens com espaçamento máximo de 100 m.

O Projeto de Terraplenagem terá, então, sua precisão compatível com a precisão desses dois itens de projeto, e não poderá deixar dúvidas acerca dos problemas e soluções construtivas.

5 SISTEMÁTICA A SER ADOTADA NA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM

5.1 AVALIAÇÃO DA DIFICULDADE EXTRATIVA DOS MATERIAIS A SEREM ESCAVADOS

Como já se teve oportunidade de comentar anteriormente, a tarefa de classificação prévia dos materiais envolvidos na terraplenagem, durante a etapa de projeto, é das mais complexas. Justifica-se esta assertiva, porquanto não se dispõe dos cortes abertos, em condições de serem examinados com minúcias e, por fim, classificados.

Para se alcançar os objetivos pretendidos, o projetista dispõe de diversos recursos, alguns sofisticados, outros nem tanto, que lhe permitem obter uma estimativa da dificuldade extrativa dos materiais. Estes recursos são as **sondagens**, levadas a efeito durante o decurso dos Estudos Geotécnicos.

Cumprir notar que a assimilação direta dos resultados das sondagens pode conduzir a imprecisões, sendo indispensável que se proceda a um “policiamento” destes resultados com base em informações geológicas precisas a respeito dos materiais ocorrentes na região. Neste ponto, a experiência do pessoal engajado no projeto é fator fundamental ao bom desempenho dos serviços.

Os tipos de sondagens passíveis de utilização e a suas interpretação são comentados em continuação.

5.1.1 Sondagens Manuais Diretas

Estas sondagens podem ser subdivididas em dois grupos: **sondagens a trado e sondagens a pá e picareta**.

Os trados normalmente utilizados são do tipo “helicoidal”, podendo também fazer-se uso do tipo “cavadeira”, este para iniciar a prospecção. Em ambos os casos, trata-se de prospecção com pequeno poder de penetração. A abertura no terreno é do tipo **furo** (diâmetro de 4” até 10”). A profundidade normalmente prospectável com este tipo de instrumento é de até 8 m, na dependência do tipo de material ocorrente.

Já as sondagens que conjugam a utilização de pás e picaretas, apresentam um poder de penetração superior ao das sondagens a trado. A prospecção é do tipo poço, de sorte que o sondador consegue visualizar o material ocorrente “in situ”. Sem o escoramento das paredes do poço, a profundidade normal de prospecção pode atingir a 12 m.

Um critério expedito, utilizável na avaliação das categorias dos materiais dos cortes, com base nos resultados destas sondagens manuais, é o seguinte:

1. Materiais de 1ª categoria: são considerados penetráveis com facilidade ao trado e à pá e picareta.
2. Materiais de 2ª categoria: são considerados impenetráveis ao trado, porém penetráveis, com dificuldade, à pá e picareta.

3. Materiais de 3ª categoria: são considerados impenetráveis a ambos os tipos de prospecção.

A figura 5.1 procura ilustrar um “perfil de trabalhabilidade” elaborado com base na aplicação do critério acima exposto. Por “perfil de trabalhabilidade” subentende-se o perfil longitudinal do projeto no qual são desenhados os contatos entre os materiais que apresentam diferentes dificuldades extrativas.

Observar que, de acordo com o critério aqui exposto, a anotação exclusiva da cota de impenetrabilidade à sondagem a trado não é conclusiva: o material subjacente poderá ser de 2ª ou 3ª categoria. Há, neste caso, necessidade de se abrir um poço a pá e picareta, que conjugado à sondagem a trado deverá esclarecer o problema.

Evidentemente, este primeiro critério tem suas limitações, especialmente quando se encontram “matacões” (blocos de rocha) disseminados em meio à uma massa de solo. Não obstante, seu uso é respaldado pelas normas em vigor, razão pela qual tem sido o critério de maior emprego, ao menos na área rodoviária.

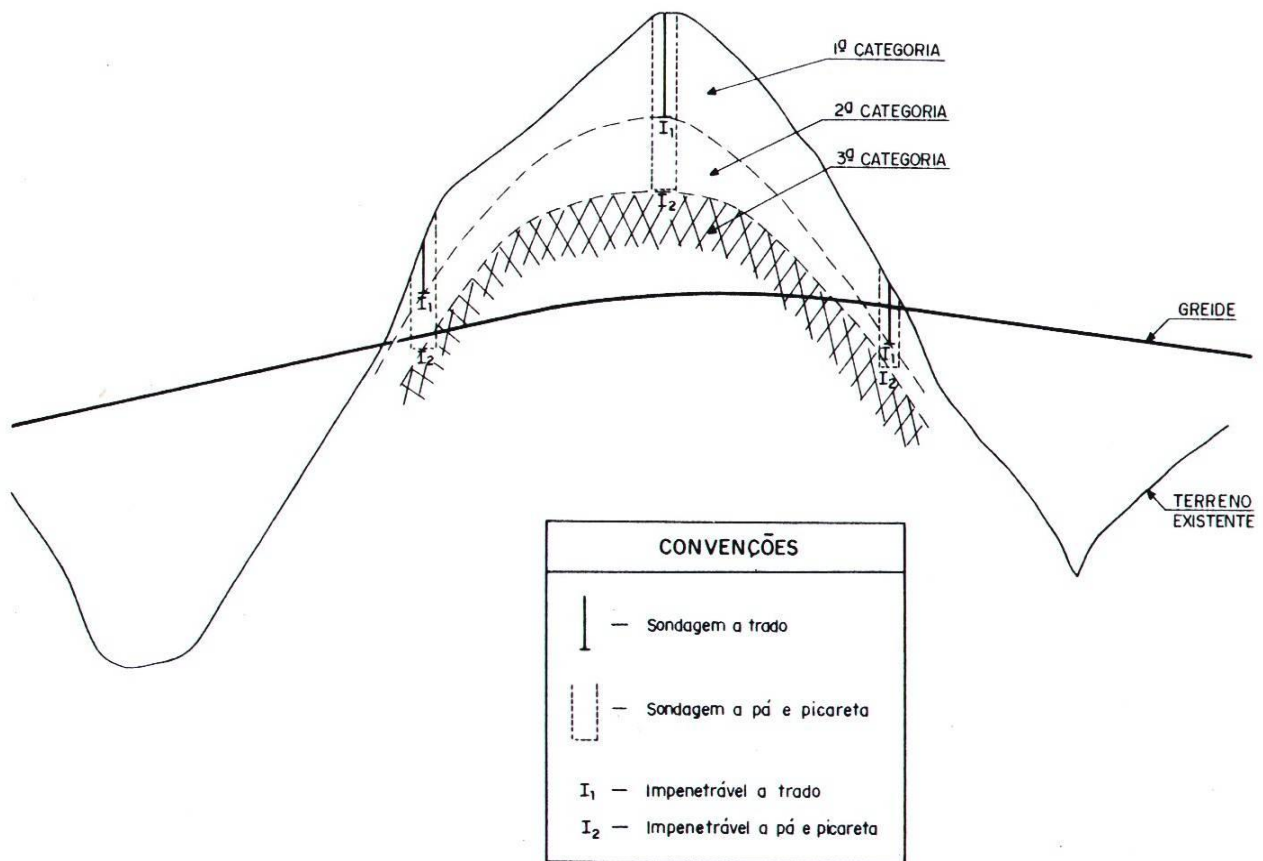


Figura 5.1

5.1.2 Sondagens Mecânicas Diretas

Subdividem-se em dois grupos: **sondagens rotativas e sondagens a percussão.**

a) **Sondagens Rotativas**

Neste caso, uma haste metálica extensível, ponteadada por um barrilete acoplado a uma coroa diamantada e animada de movimento de rotação, é feita penetrar no terreno, sendo possível recuperar no interior do barrilete amostras (ditas “testemunhos”), na medida da maior compacidade do material prospectado. O material incoerente não é recuperado, sendo eliminado juntamente com a água de lavagem que circula no interior do “conjunto”, à medida que a sondagem avança.

A sondagem rotativa é um grande recurso de prospecção, podendo atingir elevadas profundidades, mesmo em materiais compactos.

É possível definir, para este tipo de sondagem, o parâmetro “recuperação”, que indica, percentualmente, a relação entre o tamanho do testemunho recuperado e o avanço da sonda:

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{\text{Testemunho Recuperado}}{\text{Avanço da Sonda}} \times 100$$

Uma recuperação elevada dá uma indicação de grande compacidade do material e, conseqüentemente, de que se trata de produto de difícil extração, provavelmente classificável em 3ª categoria. Por outro lado, uma recuperação nula ou muito baixa caracteriza um material solto, inconsistente, provavelmente classificável em 1ª categoria. Recuperações intermediárias, desde que bem interpretadas, poderiam caracterizar um material de 2ª categoria.

Plotando-se as profundidades prospectadas em ordenadas e as recuperações em abcissas, pode ser traçado o chamado “gráfico de recuperação”, como ilustra a figura 5.2. Neste tipo de gráfico é feita uma descrição das litologias ocorrentes e a respectiva classificação em termos de dificuldades extrativa.

É claro que as sondagens rotativas não teriam sentido em cortes onde incidem materiais de 1ª categoria, detectados com boa precisão pelas sondagens manuais. No entanto, sua utilização, embora onerosa, pode ser estendida aos locais onde as sondagens manuais indiquem presença intensa de materiais de 2ª e/ou 3ª categoria, permitindo que se faça uma definição mais precisa dos contatos entre estes materiais.

GRÁFICO DE RECUPERAÇÃO

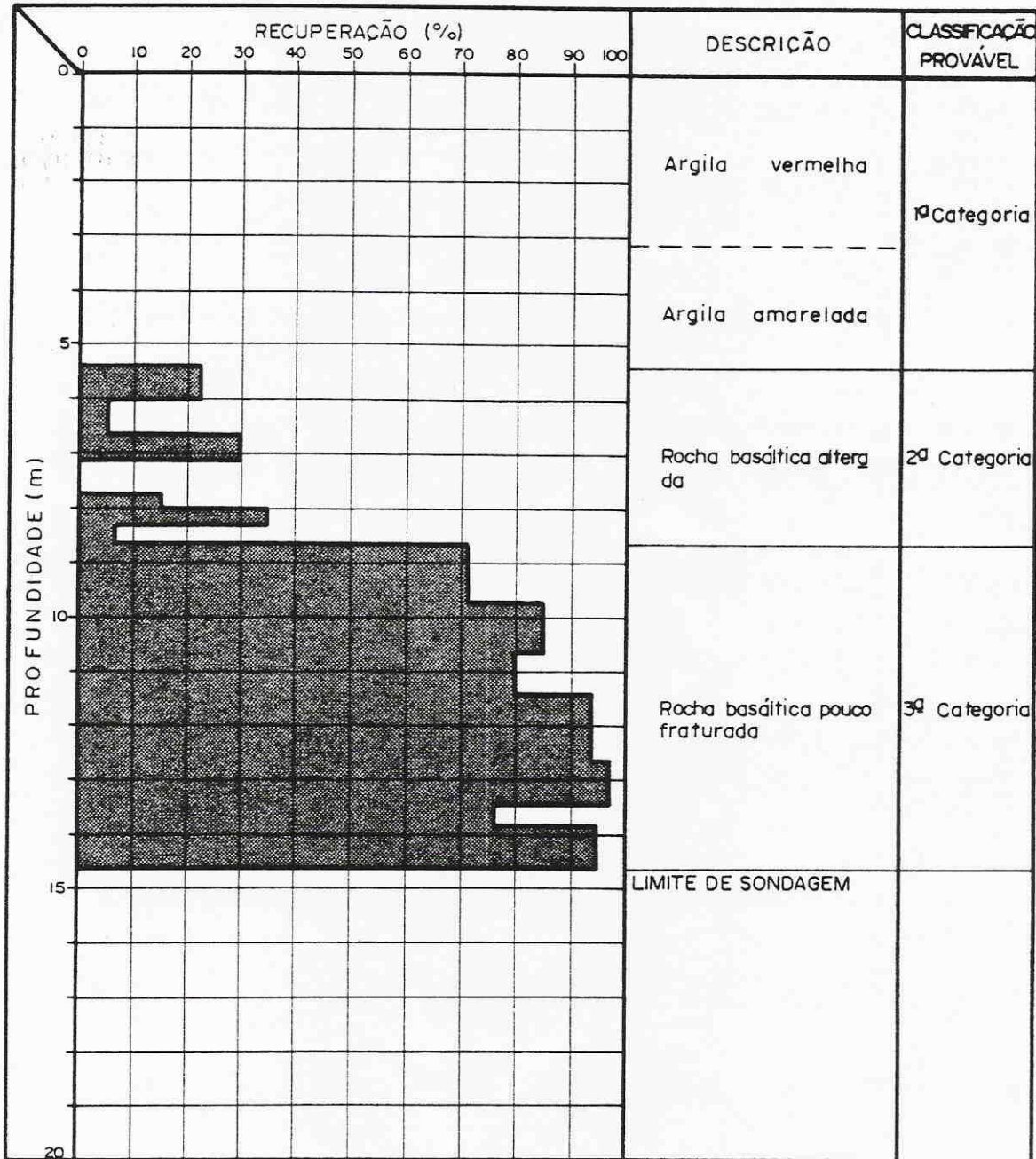


Figura 5.2

b) Sondagens a Percussão

Trata-se de um tipo de sondagem menos poderoso do que as sondagens rotativas, mas de maior validade quando se lida com materiais incoerentes ou de média compactidade.

Consiste em se fazer penetrar no terreno um amostrador padronizado, às custas de impactos de um peso solto a partir de uma certa altura de queda. Em geral, são feitas anotações do número de golpes necessários para fazer penetrar o amostrador 30 cm, a várias profundidades. A relação golpes/penetração é uma medida direta da resistência do material, e, conseqüentemente, de sua dificuldade extrativa. O amostrador permite que se colem amostras deformadas dos materiais prospectados.

A sondagem à percussão, assim descrita, também conhecida como Standard Penetration Test (SPT), não tem poder de penetração em materiais de 3ª categoria, admitindo-se que taxas superiores a 30 golpes/5 cm caracterizem a presença destes materiais.

É possível elaborar um gráfico ilustrando as taxas golpes/penetração observadas a várias profundidades e correlacionar estes valores com a classificação em termos de dificuldade extrativa. A figura 5.3, anexa, procura ilustrar este procedimento.

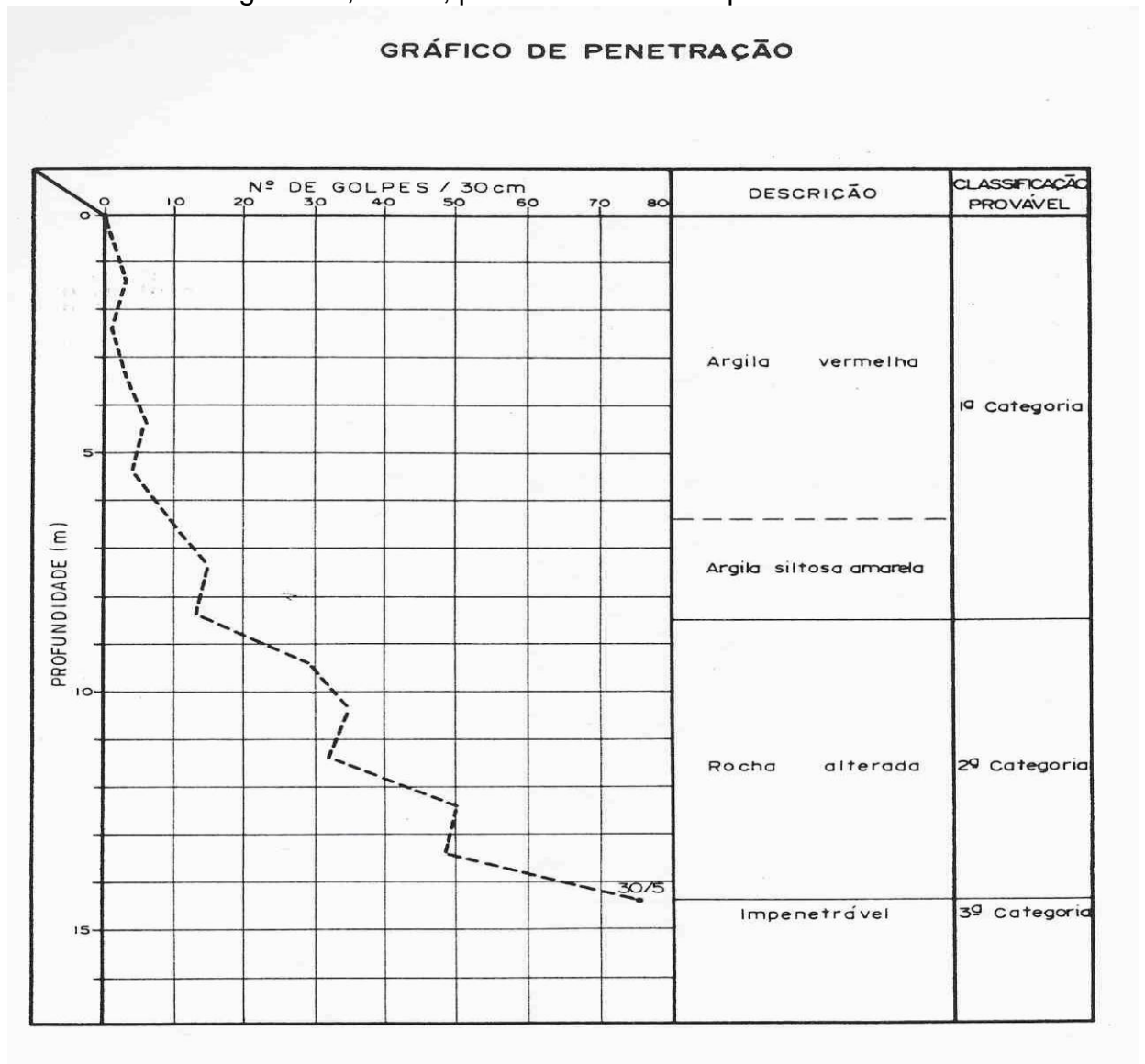


Figura 5.3

5.1.3 Sondagens Indiretas

Prospecções indiretas ou geofísicas são aquelas que propiciam um conhecimento do sub-solo sem que seja necessária a penetração de qualquer instrumento no terreno ou mesmo a coleta de amostras. Destacam-se, neste grupo, dois tipos de sondagens: as **sondagens sísmicas e as sondagens por eletrorresistividade**.

a) *Sondagens Sísmicas*

Para execução das sondagens sísmicas são utilizados aparelhos específicos chamados refratômetros portáteis de ondas ou sismógrafos portáteis que possibilitam a medida da velocidade de propagação de ondas sonoras através dos extratos do sub-solo, que por sua vez é função direta da densidade do material, e cuja análise, pode nos dar boas informações até profundidades em torno de 30 metros.

Cumprir notar, como ressalva, que alguns fatores podem comprometer os resultados das sondagens sísmicas como presença do lençol freático, materiais rochosos compactos porém intensamente fissurados, grande número de matacões disseminados em uma massa de solo, etc. Por esta razão, recomenda-se que um plano de prospecção sísmica seja coadjuvado por inspeções de superfície e sondagens diretas complementares.

b) *Sondagens por Eletrorresistividade*

O processo fundamenta-se no fato de que a resistividade elétrica dos materiais ocorrentes na crosta terrestre decresce com o aumento do teor de umidade, com a salinidade ou ainda a presença de íons livres.

Nas prospecções por eletrorrestividade, materiais compactos, como as rochas ígneas ou metamórficas, são facilmente identificados em relação ao solo sobreposto, por apresentarem condutividade bem superior a estes.

Em linhas gerais, o equipamento consiste de uma fonte de energia (bateria), de um medidor de corrente (amperímetro), de um medidor de voltagem (voltímetro) e de eletrodos para descarga e recepção das ondas elétricas que, cuidadosamente analisadas, oferecem boas informações do subsolo.

5.2 ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO QUALITATIVA DE MATERIAIS NA TERRAPLENAGEM

As condicionantes geológicas de cada região impõem, por vezes, significativas variações nos materiais ocorrentes ao longo do traçado, podendo ser encontrados materiais que se apresentem ou não satisfatórios em termos qualitativos. Estas variações não ocorrem somente como uma alternância longitudinal de diversos produtos, mas poderão existir também em profundidade.

Define-se **seleção qualitativa de materiais** como o processo que visa destinar às camadas finais de terraplenagem (camada final dos aterros e subleito dos cortes), aqueles materiais locais que se apresentam técnica e economicamente como os mais favoráveis, conferindo a essas camadas adequadas condições para suportar a superestrutura projetada, seja ela rodoviária ou ferroviária.

Basicamente, dois aspectos devem ser considerados no projeto, quando se trata de estabelecer um critério de seleção qualitativa:

- As características mecânicas dos materiais envolvidos;
- As características físicas destes materiais.

5.2.1 Características Mecânicas (de Trabalhabilidade)

Normalmente se especifica que as camadas finais de terraplenagem sejam compostas por materiais de 1ª categoria (solos, em geral), admitindo-se o emprego de materiais de 2ª e 3ª categorias somente no corpo dos aterros.

A restrição ao emprego de produtos de 2ª categoria na porção superior dos aterros e no subleito dos cortes deve-se ao fato de que estes apresentam comportamento duvidoso, seja pelas próprias incertezas quanto a sua composição granulométrica como também pela imaturidade que usualmente caracteriza estes produtos. Por imaturidade subentende-se o fato de que as rochas alteradas tendem a se degradar com certa facilidade e rapidez, quando expostas ou retrabalhadas.

Já aos materiais de 3ª categoria associam-se problemas de drenagem profunda (subleito dos cortes) ou de granulometria (camada final dos aterros).

A primeira idéia que o leigo poderia fazer quando à permanência de um material compacto no subleito dos cortes é a de que tal prática seria altamente desejável. Em termos de **suporte**, não há dúvidas de que esta impressão é válida. No entanto, a prática tem demonstrado que pavimentos executados diretamente sobre leitos rochosos não raro exibem inúmeros defeitos. Estes defeitos em geral são associados a problemas de subdrenagem, pois as rochas apresentam, usualmente, grande número de fissuras (diáclases), pelas quais ascendem à plataforma as águas freáticas. Mesmo a execução de drenos longitudinais profundos não resolve o problema, pois, nesses casos, não se pode definir efetivamente um "lençol freático". A solução para o problema, consiste na adoção da seguinte prática executiva:

- Rebaixar o greide de terraplenagem dos cortes em rocha, em profundidade variável entre os valores extremos de 10 e 40 cm;
- Executar, lateralmente à plataforma rebaixada, drenos profundos;
- Preencher a superfície rebaixada com um material granular, de granulometria adequada e insensível à ação da água, o qual funcionará como uma “camada drenante”;
- Sobre este sistema, implantar a superestrutura.

O conjunto assim executado permite que as águas freáticas ascendentes sob a plataforma sejam captadas na camada drenante e aí, subindo de nível, acabem sendo coletadas pelos drenos longitudinais, que as conduzirão até a saída do corte. A figura 5.4 ilustra este procedimento.

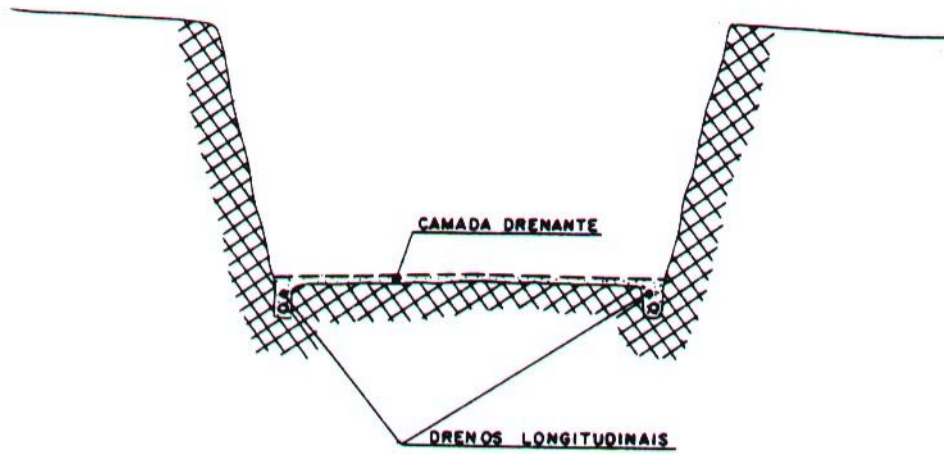
No que diz respeito ao emprego de materiais de 3ª categoria em camadas finais de aterros, verificam-se problemas de ordem granulométrica, pois os produtos extraídos dos cortes apresentam fragmentos de diversos portes, conduzindo a um subleito de comportamento heterogêneo. Ademais, uma camada final executada nestas condições pode apresentar problemas de acomodamento posterior, além de fuga do material fino da camada inferior do pavimento, “per descensum”.

No entanto, determinadas regiões apresentam elevada incidência de materiais de 2ª e 3ª categorias, o que pode levar o projetista a indicar o emprego destes produtos (preferencialmente os de 3ª categoria), tolerando-os nas camadas finais dos aterros, desde que sejam tomados cuidados especiais na execução, principalmente no que diz respeito à utilização de granulometrias mais “cerradas” nas derradeiras camadas, a fim de evitar os problemas de fuga de finos.

Em termos de subleito dos cortes, a presença de materiais de 2ª categoria poderá, nestes casos críticos, ser admitida, desde que o dimensionamento do pavimento leve esta deficiência em consideração. Para materiais de 3ª categoria, a solução de rebaixamento de greide e execução de camada drenante é praticamente imprescindível.

REBAIXAMENTO DE GREIDE DE CORTES EM ROCHA

SEÇÃO TRANSVERSAL



PERFIL LONGITUDINAL

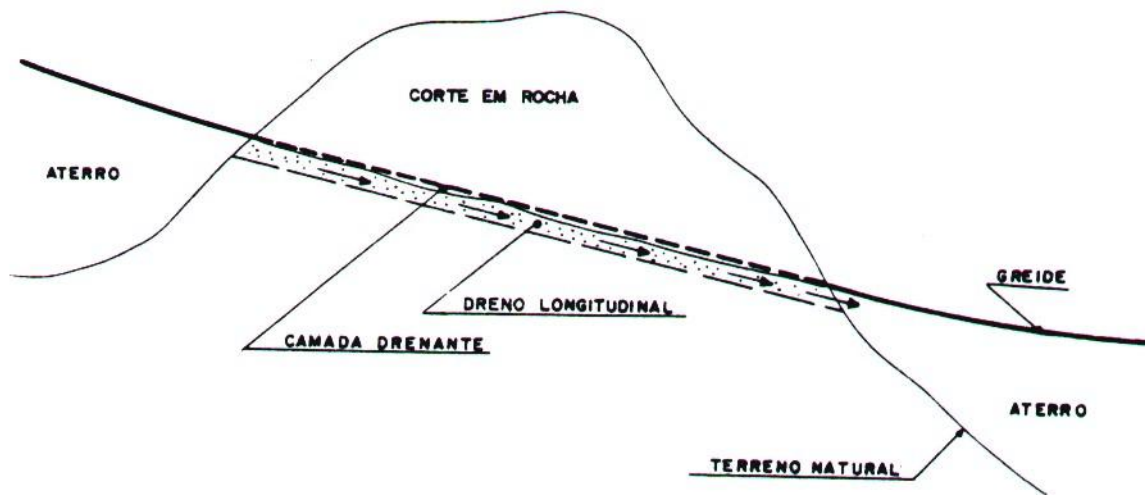


Figura 5.4

5.2.2 Características Físicas

As Especificações Gerais do DNER (ES-T 03-70 e ES-T 05-70) preconizam limitações ao emprego de materiais terrosos na terraplenagem, em função do comportamento físico destes produtos em serviço. De interesse direto para a definição de um critério de seleção qualitativa, estão as propriedades dos solos relacionados à sua **capacidade de suporte e expansão**, esta última uma indicação da sensibilidade do solo à presença de água. Os dois parâmetros em causa podem ser determinados através do ensaio do Índice de Suporte Califórnia (CBR-California Bearing Ratio), idealizado por Porter em 1929.

Na realidade, o que se faz é comparar os valores das pressões obtidas no rompimento ao funcionamento de um corpo de prova compactado em um molde metálico, sob certas condições de compactação (“energia de compactação”), com as correspondentes pressões obtidas por Porter em uma amostra-padrão de pedra britada californiana. Essas pressões são referidas, usualmente, às penetrações de 0,1” e 0,2” , sendo possível obter, portanto, dois valores para o CBR (ou ISC). As expressões que permitem o cálculo deste parâmetro são:

$$\text{para penetração de 0,1"}: (\text{CBR})_{0,1"} = \frac{(\text{Pressão})_{0,1"}}{70} \times 100$$

$$\text{para penetração de 0,2"}: (\text{CBR})_{0,2"} = \frac{(\text{Pressão})_{0,2"}}{105} \times 100$$

Os valores que aparecem no denominador das expressões anteriores são as pressões (em kgf/cm²) obtidas no ensaio da pedra britada-padrão.

O método DNER-ME 49-74, que define toda a seqüência do ensaio CBR, recomenda que seja adotado, para cada corpo de prova compactado e rompido, o maior dos valores determinados para as penetrações de 0,1” ou 0,2” . Para efeito de projeto, é necessário correlacionar o ensaio do CBR ao ensaio de compactação, empregando-se como “valor de projeto do CBR” aquele ponto correspondente à umidade ótima do ensaio de compactação, como explicitado na figura 5.5 (reportar-se também ao item 5.3.2).

Para procurar expressar, no ensaio CBR, as condições mais severas futuramente ocorrentes no campo, costuma-se submeter os corpos de prova compactados a 4 (quatro) dias de imersão em água, só após levando-os ao rompimento.

DEFINIÇÃO DO VALOR "CBR DE PROJETO"

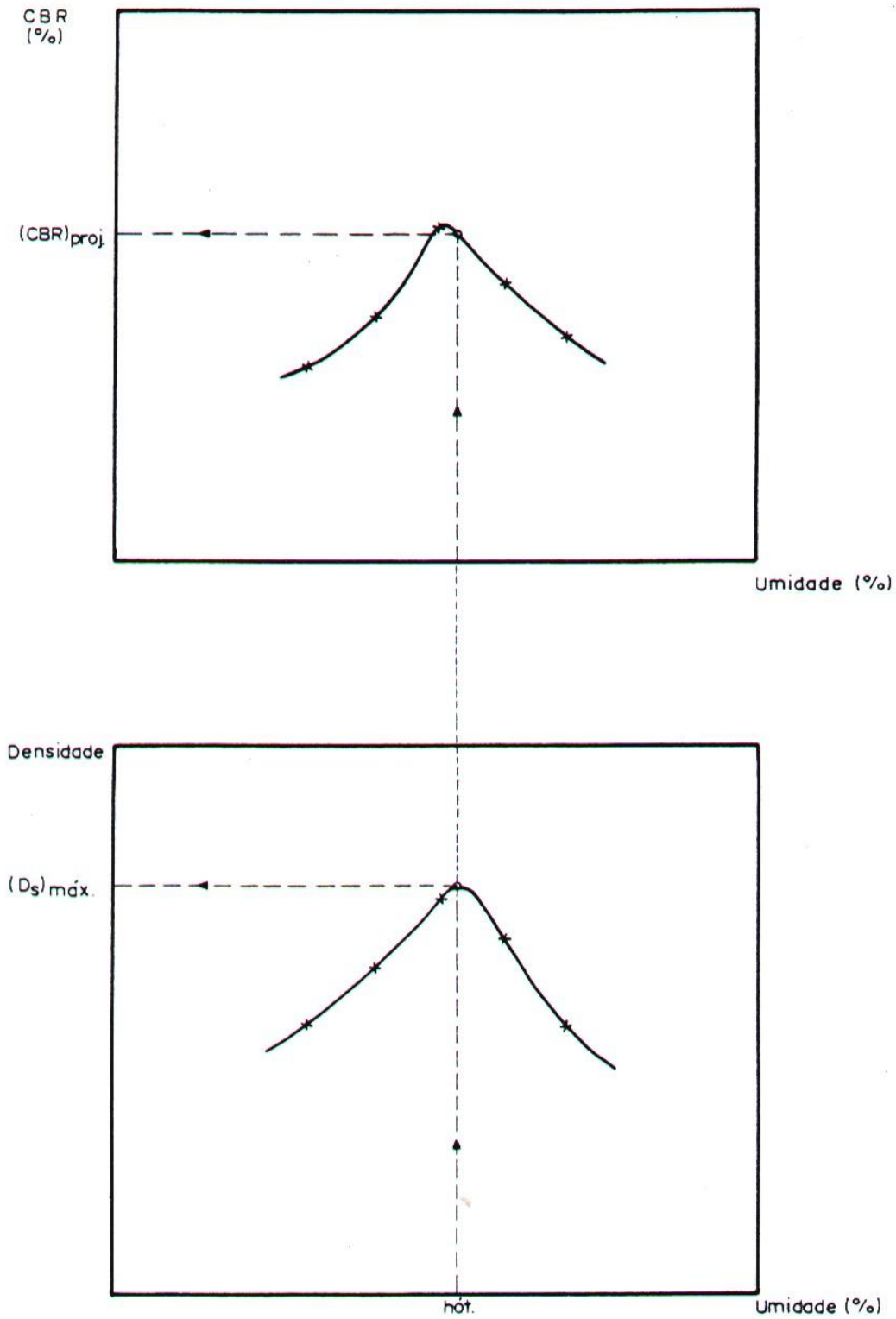


Figura 5.5

Define-se “expansão” como o acréscimo percentual verificado na altura do corpo de prova após imersão, em relação à sua altura inicial, ou seja:

$$e(\%) = \frac{\Delta h}{h_i} \times 100$$

Onde:

- $e(\%)$ = expansão.
- h_i = altura do corpo de prova compactado, antes da imersão.
- Δh = acréscimo na altura do corpo de prova, após 4 dias de imersão.

Como regra geral, um material para emprego em terraplenagem será tanto melhor quanto maior for a sua capacidade de suporte (CBR) e quanto menor for a sua expansão (e) em presença da água.

Em termos de expansão, as Especificações Gerais admitem os seguintes valores extremos:

1. para camadas finais de terraplenagem, em cortes ou aterros: $e < 2\%$
2. para corpo de aterros: $e < 4\%$

No que respeita à capacidade de suporte (CBR), recomenda-se o emprego, nas camadas finais e mesmo no corpo dos aterros, de materiais que se apresentem como os melhores dentre os disponíveis. Dadas as peculiaridades inerentes a cada região, é impossível fixar-se um critério de uso geral para a aplicação deste parâmetro, o que deverá ser feito, para cada caso em particular, levando-se em conta os aspectos técnicos e econômicos inerentes à questão.

Apenas como uma orientação ao leigo, a fim de que possa “aferir” a sua sensibilidade em relação ao uso do CBR como um definidor da melhor ou pior qualidade de um material, apresenta-se a tabela abaixo:

CBR(%)	QUALIFICAÇÃO	UTILIZAÇÃO POSSÍVEL
> 60	Excelente	Base de pavimentos
20 a 60	Muito Bom	Sub-base de pavimentos
10 a 20	Bom	Reforço do subleito e camadas finais de terraplenagem
5 a 10	Regular	Corpo de aterro e camadas finais de terraplenagem
2 a 5	Ruim	Corpo de aterro
< 2	Péssimo	Evitar inclusive em corpo de aterro

5.3 AVALIAÇÃO DOS FATORES DE HOMOGENEIZAÇÃO

Como visto no item 2.6, o fator de homogeneização é definido pela relação entre o volume de material no corte de origem e o volume que este mesmo material ocupará no aterro, após ser adequadamente compactado. Na etapa de projeto, o fator de homogeneização pode ser avaliado, com maior facilidade, pela relação inversa entre as correspondentes densidades aparentes secas, ou seja:

$$F_h = \frac{D_{\text{comp}}}{D_{\text{corte}}},$$

Sendo:

- D_{corte} : densidade (massa específica) aparente seca do material ocorrente no corte de origem, também chamada de densidade “in situ”.
- D_{comp} : densidade aparente seca do material, extraído do corte, após compactação no aterro.

Desde que se proceda à avaliação destes dois parâmetros, é possível, portanto, inferir-se o fator de homogeneização aplicável a um determinado segmento possuidor de características semelhantes. Em continuação, expõe-se a sistemática de avaliação usual.

5.3.1 Avaliação da Densidade “In Situ” (D_{corte})

Existem diversos procedimentos de ensaio normalizados, para a estimativa da densidade aparente seca de um material “in situ”. Dentre estes, destacam-se:

- O método do frasco de areia (DNER-ME 92-64);
- O método do balão de borracha (DNER-ME 36-71);
- O método do óleo (DNER-ME 37-71).

Além desses procedimentos convencionais, há a possibilidade do emprego de densímetros nucleares, cujo procedimento de ensaio é normalizado pela ASTM.

Far-se-á menção ao método do frasco de areia, que tem sido de utilização mais freqüente entre nós. O instrumental básico necessário à determinação da densidade “in situ” por este procedimento é o seguinte:

- Conjunto frasco+cone, equipado com registro;
- Bandeja quadrada, contendo orifício circular em seu centro, que permita o encaixe do funil;

- Balança;
- Cápsula para acondicionamento de amostra;
- Talhadeira e pá de mão;
- Estufa.

Além deste instrumental, é necessário que se disponha de uma areia lavada e seca, cuja densidade aparente solta (**U_a**) tenha sido previamente determinada em laboratório.

A seqüência de ensaio (Figura 5.6) é a seguinte:

- i. Pesa-se o conjunto frasco+cone, estando o frasco cheio de areia (**P₁**).
- ii. Instala-se a bandeja sobre a superfície do material cuja densidade “in situ” se deseja determinar.
- iii. Faz-se uma cavidade cilíndrica no solo, limitada pelo orifício da bandeja, recolhendo nesta o material extraído e pesando este material (**P_h**).
- iv. Coleta-se em uma cápsula uma quantidade pequena do solo úmido extraído. Esta cápsula, devidamente lacrada, é levada a laboratório, onde se determina a umidade do material (**h%**), após secagem em estufa. Calcula-se o peso seco do solo extraído da cavidade pela expressão:

$$P_s = \frac{P_h}{1 + h}$$

- v. Instala-se o conjunto frasco+cone sobre a bandeja, abrindo o registro até que todo o volume ocupado pelo orifício e pelo cone esteja preenchido pela areia.
- vi. Fecha-se o registro e pesa-se o conjunto mais a areia restante (**P₄**). O peso da areia que preencheu o cone mais o orifício será:

$$P_5 = P_1 - P_4$$

O peso da areia no interior do cone (**P₆**), é uma constante previamente determinada em laboratório, na ocasião do processo de calibração da areia. O peso da areia no interior do orifício será, portanto:

$$P_7 = P_5 - P_6$$

- vii. O volume do orifício pode ser calculado a partir do conhecimento da densidade solta da areia (**U_a**):

$$V_o = P_7 / U_a$$

- viii. Finalmente, a densidade aparente seca do solo “in situ” pode ser calculada pela expressão:

$$D_{in situ} = D_{corte} = \frac{P_s}{V_o}$$

SEQUÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" PELO MÉTODO DO FRASCO DE AREIA





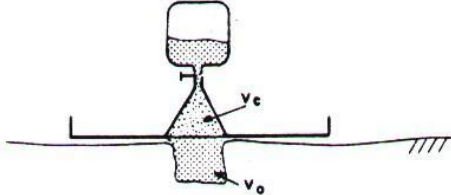



REF. DO TEXTO	ESQUEMA OPERACIONAL	FÓRMULAS / ANOTAÇÕES
i)		P_1 (frasco + areia)
ii)		
iii)		P_h (peso solo úmido)
iv)		$h (\%) = \frac{P_2 - P_3}{P_3} \times 100$ $P_s = \frac{P_h}{1+h}$ (peso solo seco)
v)		
vi)		P_4 (areia restante) $P_5 = P_1 - P_4$ (areia cone + orifício) $P_7 = P_5 - P_6$ (areia no orifício)
vii)		$V_o = \frac{P_7}{U\sigma}$ (volume orifício)
viii)		$D_{in situ} = \frac{P_s}{V_o}$

Figura 5.6

A determinação do valor U_a pode ser feita com facilidade em laboratório, instalando-se o conjunto frasco preenchido com areia mais cone sobre um recipiente de volume conhecido. Seguindo o caminho inverso do descrito no roteiro de ensaio, é possível calcular o valor U_a , em condições inclusive similares às de ensaio.

5.3.2 Avaliação de Densidade do Material no Aterro, após Compactação (D_{comp})

Para avaliar este parâmetro, coletam-se amostras nas fontes fornecedoras dos materiais a serem utilizados nos aterros, ou seja: nos cortes ou nas caixas de empréstimo. Estes materiais serão submetidos, em laboratório, ao ensaio de compactação, no qual se relaciona, para uma certa energia de compactação, a variação das densidades aparentes secas dos corpos de prova em função de incrementos no teor de umidade. Em geral, com cinco corpos de prova é possível definir a curva de compactação do solo ensaiado, que tem o aspecto adiante ilustrado:

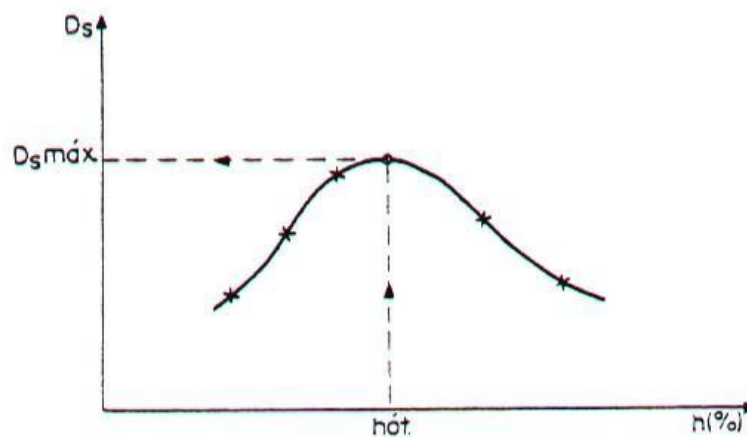


Figura 5.7

Nota-se que a curva esquematizada apresenta um ponto de máximo ($D_{s\text{máx}}$), ao qual corresponde um teor de umidade ótimo ($h_{ót}$). Esta é a condição ideal de compactação para aquela energia empregada, o que, aliás, procurar-se-á reproduzir no campo.

Pode ser ainda definido o conceito de grau de compactação (GC), como a relação entre a densidade obtida no campo, após compactação, e a densidade seca máxima de laboratório, ou seja:

$$GC = \frac{\text{densidade obtida em campo}}{D_{s\text{ n;ax}}} \times 100 \quad (\%)$$

As especificações construtivas definem qual o grau de compactação mínimo a ser obtido na execução da terraplenagem, em geral 100% para as camadas finais e 95% para o corpo dos aterros.

Finalmente, a estimativa da densidade do material no aterro após compactação será dada por:

$$D_{\text{comp}} = \frac{D_{S \text{ máx}} \times GC}{100}$$

5.3.3 Cálculo do Fator de Homogeneização Médio

Mostrou-se anteriormente, em 5.3.1 e 5.3.2, como proceder à determinação dos valores D_{corte} (densidade do material “in situ”) e D_{comp} (densidade do material extraído do corte e compactado no aterro).

Na prática, costuma-se trabalhar com valores médios para D_{corte} e D_{comp} , aplicáveis a um determinado segmento de características geológicas homogêneas, aplicando-se, ainda, um fator de segurança (usualmente 5%), destinado a compensar as inevitáveis perdas ocorrentes durante o transporte dos materiais terraplenados, e possíveis excessos na compactação, já que os graus especificados são mínimos.

É comum também que se considere, em prol da simplicidade, um único grau de compactação para fins de cálculo, constante e igual a 100%. Isto posto, a expressão final para o cálculo do fator de homogeneização será:

$$F_h = 1,05 \times \frac{(D_{\text{comp}})_{\text{média}}}{(D_{\text{corte}})_{\text{média}}}$$

ou

$$F_h = 1,05 \times \frac{(D_{S \text{ máx}})_{\text{média}}}{(D_{\text{in situ}})_{\text{média}}}$$

5.4 CÁLCULO DE VOLUMES

5.4.1 Generalidades

Diversos são os procedimentos de cálculo que poderão ser mobilizados com vistas à determinação dos volumes de cortes e aterros. Alguns, mais elaborados e, portanto, de maior precisão, são compatíveis com o nível de detalhamento requerido pela fase de projeto; outros, menos requintados, porém de aplicação mais simples, condizem com o caráter aproximativo pertinentes à fase de anteprojeto. Os primeiros são aqui chamados de processos precisos e os últimos de processos expeditos.

Nestes procedimentos, os volumes de cortes ou aterros são calculados para os “prismas” compreendidos entre duas seções transversais consecutivas, os quais são denominados interperfis.

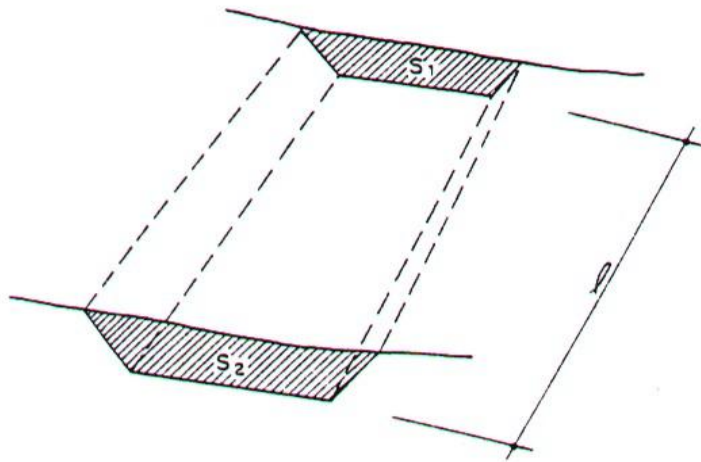


Figura 5.8

O cálculo do volume de cada interperfil é elaborado a partir das áreas das seções transversais, pela aplicação do método da média das áreas:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times l,$$

sendo l o espaçamento entre duas seções subseqüentes.

Caso o valor de l seja constante e igual a 20 m, que é o usual para a etapa de projeto, a fórmula anterior passa a assumir o seguinte aspecto:

$$V = (S_1 + S_2) \times 10$$

Para um determinado segmento, de corte ou aterro, o volume total correspondente será a somatória dos volumes de cada interperfil.

Em verdade, a avaliação das áreas das seções transversais, com menor ou maior precisão, é que determinará o processo de cálculo, como se mostra em continuação.

5.4.2 Cálculo de Áreas das Seções Transversais

a) Processos Expeditos

Os processos expeditos têm a vantagem de não requerem, para que seu emprego seja viável, o desenho e a gabaritação de todas as seções transversais, tarefas estas bastantes laboriosas. Consistem em se deduzir expressões analíticas, que fornecem o valor das áreas das seções em função da cota vermelha e declividade transversal do terreno em cada seção.

No livro “Curso de Estradas” (Carvalho, M.Pacheco), são encontradas expressões de cálculo para áreas de corte ou aterro pleno e para seções mistas, as quais são a seguir reproduzidas:

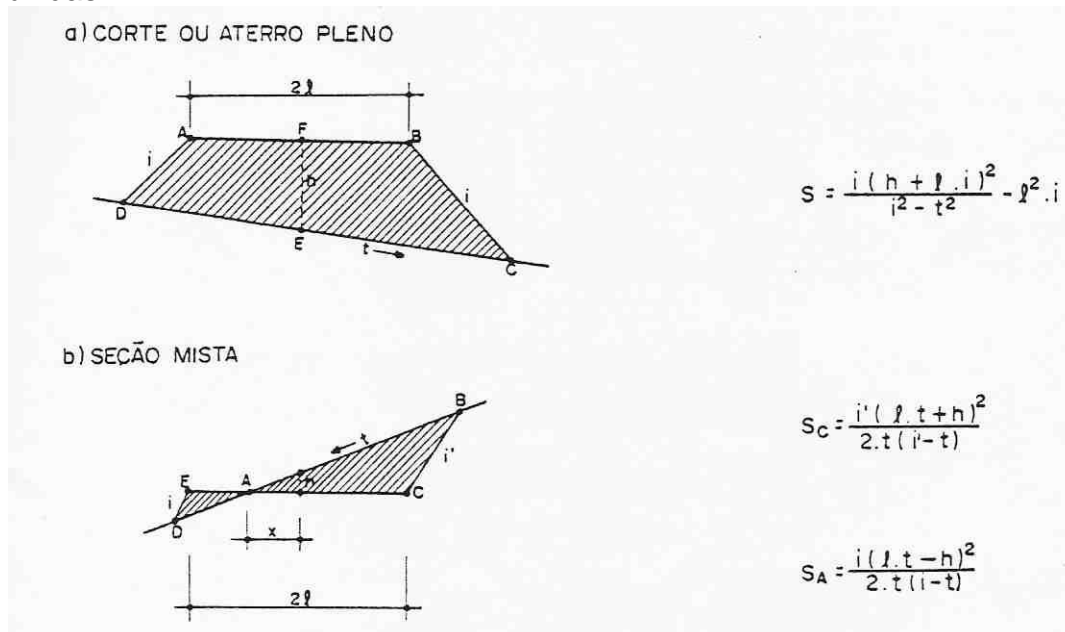


Figura 5.9

Nas expressões e figuras anteriores, as variáveis têm o seguinte significado:

- h: cota vermelha, medida no perfil do anteprojeto geométrico.
- t: declividade transversal média do terreno, definida na planta do anteprojeto geométrico, contando-se o número de curvas de nível (desnível) no âmbito de cada seção transversal.
- $2l$: largura da plataforma de terraplenagem. Constante para um dado trecho e definida em função da classe da rodovia.
- i, i': declividade dos taludes de aterro e de corte, definidas pelo setor de geotécnica e constantes para um dado trecho.

Um outro procedimento ainda mais simplista consiste em considerar sempre horizontal a linha do terreno, fazendo o cálculo das áreas de cortes ou aterros como uma função exclusiva da cota vermelha. A expressão geral, aplicável a qualquer situação, seria a seguinte:

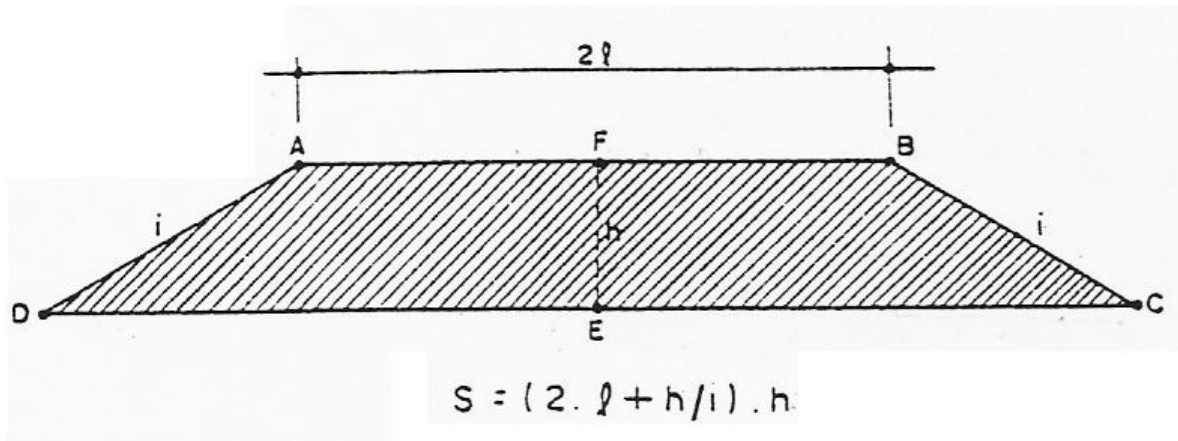


Figura 5.10

Este segundo procedimento expedito despreza as compensações laterais, o que, na realidade, parece razoável, tendo em vista o caráter aproximativo do anteprojeto de terraplenagem, que visa informar ao setor de projeto geométrico sobre eventuais descompensações de greide. Apresenta, em relação ao procedimento anterior, a vantagem de não depender da declividade transversal média do terreno (t), que só pode ser obtida após a conclusão do desenho do anteprojeto geométrico em planta.

b) Processos Precisos

Dois métodos de boa precisão têm aplicação à determinação das áreas das seções transversais na fase de projeto: o método mecânico e o método computacional.

No método mecânico o cálculo das áreas é feito através da utilização do aparelho chamado planímetro, cujo esquema funcional apresenta-se a seguir:

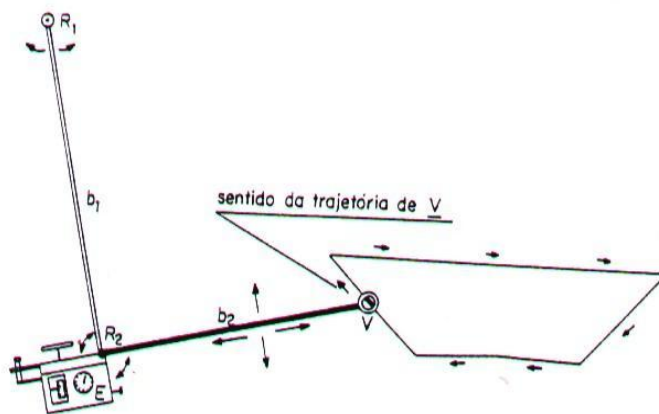


Figura 5.11

O braço b_1 do planímetro é fixado no papel no ponto R_1 , o qual funciona como uma rótula. Este mesmo braço tem sua outra extremidade apoiada no ponto R_2 do braço b_2 , que também é uma articulação rotulada, porém com possibilidade de sofrer movimentos translacionais.

O braço b_2 possui um dispositivo em sua extremidade (pode ser uma lente ou um estilete), com o qual é possível percorrer todo o contorno da seção transversal cuja área deseja-se determinar, a partir de uma origem arbitrária, porém sempre no sentido horário. Este dispositivo é representado no esquema funcional pelo ponto **V**. À medida que o ponto **V** descreve sua trajetória ao longo do contorno da seção, uma roda apoiada no papel transmite a combinação dos movimentos assim gerados ao registrador **E**.

Segundo a teoria dos polos e polares, na qual se baseia o funcionamento do planímetro, a área da seção transversal (**S**) pode ser determinada pela expressão:

$$S = K \times L \quad ,$$

Sendo:

- K = constante pertinente à escala de desenho adotada.
- L = leitura anotada no registrador do planímetro, após se executar todo o percurso segundo o contorno da figura em apreço, tomando-se a precaução de zerar previamente o registrador.

A determinação da constante do planímetro, aplicável a uma determinada escala de desenho, é tarefa bastante simples. Basta que se execute a planimetria de uma figura geométrica de área conhecida, desenhada na escala desejada, calculando-se então o valor da constante pela expressão:

$$K = \frac{\text{Área da Figura Desenhada}}{\text{Leitura Obtida na Planimetria}}$$

O método mecânico acima descrito conduz a bons resultados, ao se considerar a escala usual de desenho das seções transversais na fase de projeto (1:200). Seu único inconveniente é a lentidão relativa, ao que se alia o fato da obrigatoriedade do desenho e gabaritação das seções transversais.

Os processos computacionais apresentam-se como a melhor opção para a determinação das áreas das seções transversais, desde que se disponha de acesso a um CAD específico para projetos rodoviários. Em verdade, a utilização de um processo numérico deve ser precedida de todos os cuidados, inclusive prevendo-se que as atividades topográficas forneçam insumos compatíveis com a forma de alimentação do programa.

5.4.3 Influência das Operações de Limpeza

Cumprir observar, ainda, que a forma segundo a qual foi apresentado o cálculo das áreas das seções transversais, por qualquer dos procedimentos comentados (expeditos ou precisos), não levou em consideração um aspecto de grande relevância, que diz respeito à influência das operações de limpeza do terreno nas áreas efetivas de cortes ou aterros.

Em se tratando de trecho a ser construído em terreno virgem, é necessário que, previamente à execução de qualquer outra operação de terraplenagem, se execute a remoção de todas as espécies vegetais existentes e também da camada superior do terreno, conhecida como "camada vegetal". Esta camada (horizonte "A" da pedologia), rica em substâncias orgânicas, é de grande importância para a agricultura, mas inservível para fins rodoviários, pelas suas más características geotécnicas.

Como as operações prévias de limpeza removem a porção superior do terreno natural, é fácil constatar que:

- i. Para seções em corte, a área (e conseqüentemente o volume, que lhe é função direta) efetiva com que se pode contar será obtida pela diferença entre a área total e a área resultante da remoção da camada vegetal, ou seja:

$$(S_{\text{corte}})_{\text{efetiva}} = (S_{\text{corte}})_{\text{total}} - S_{\text{cam.vegetal}}$$

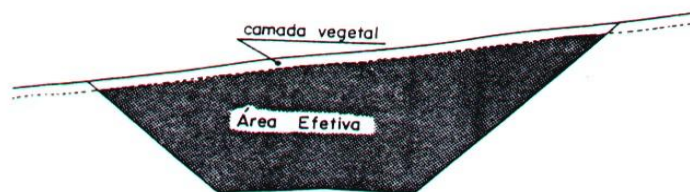


Figura 5.12

- ii. Já para as seções em aterro, o processo é o inverso: a remoção da camada vegetal, anterior à execução do aterro, torna a área (e conseqüentemente o volume) efetiva a aterrar maior do que a área total obtida por um dos processos expeditos ou precisos:

$$(S_{\text{aterro}})_{\text{efetiva}} = (S_{\text{aterro}})_{\text{total}} + S_{\text{cam.vegetal}}$$



Figura 5.13

Esta influência da camada vegetal pode ser desprezada na fase de anteprojeto, em vista do grau de precisão condizente a esta etapa. Na fase de projeto, as áreas de remoção da camada vegetal podem ser avaliadas, em cada seção, multiplicando-se a distância que separa os “off-sets” pela espessura média de solo vegetal, obtida nas sondagens.

5.5 DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL A SER ESCAVADO

5.5.1 Generalidades

Calculados os volumes de cortes e aterros existentes entre cada par de seções sucessivas e estabelecidos os demais controles do projeto de terraplenagem (classificação quanto à dificuldade extrativa, critérios para a seleção qualitativa e fatores de homogeneização), é necessário que se execute a distribuição teórica do material a ser escavado, ou seja: definir toda a **origem e destino** dos materiais envolvidos na terraplenagem, seus **volumes e classificação** e as correspondentes **distâncias médias de transporte**. Notar que o transporte dos materiais escavados é computado, para fins de pagamento, em conjunto com a execução dos cortes (escavação, carga e transporte).

O conceito de **distância média de transporte** advém dos primórdios da construção de estradas, quando a distribuição dos materiais era feita de forma sumária, pela observação do perfil da locação e acompanhamento simultâneo das operações de terraplenagem. Cada volume escavado e o aterro correspondente eram anotados neste perfil.

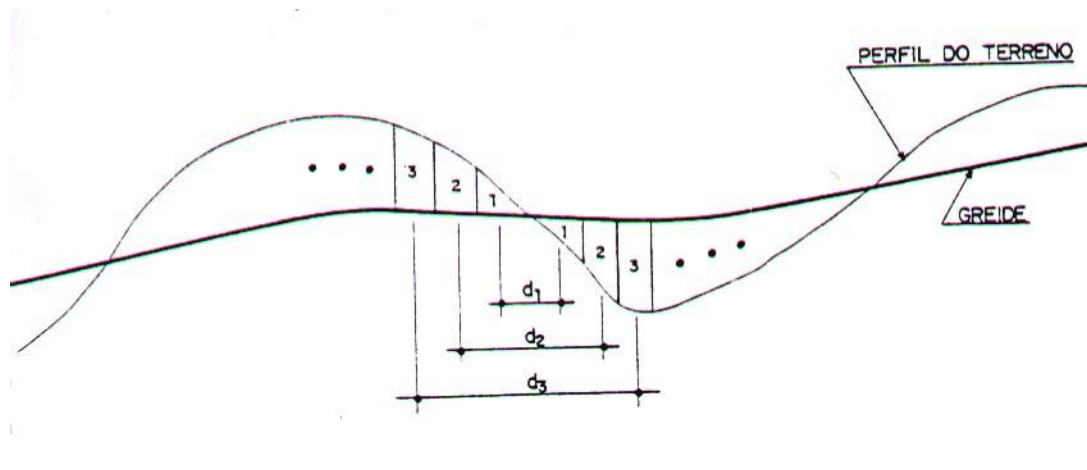


Figura 5.14

As distâncias de transporte resultantes eram tomadas graficamente, medindo-se na escala do desenho as distâncias entre os centros de gravidade de cada escavação e cada aterro. Para fins de pagamento do transporte, calculava-se a distância média resultante pela expressão:

$$DMT = \frac{\sum v_i \times d_i}{\sum v_i}$$

Onde:

- v_i : volumes parciais escavados.
- d_i : distâncias de transporte parciais.
- $\sum v_i$: volume total escavado.

O produto de um volume escavado pela distância segundo a qual este volume é transportado representa, em terraplenagem, o parâmetro conhecido como momento de transporte. O numerador da expressão de cálculo anterior indica, portanto, o momento de transporte total de distribuição em causa:

$$MT = \sum v_i \times d_i$$

As unidades usuais para o momento de transporte são o $m^3 \times km$ e o $m^3 \times dam$.

É fácil de imaginar que existem inúmeras possibilidades de se executar uma distribuição de terras na terraplenagem. A cada uma destas alternativas corresponderá uma distância média de transporte global e, conseqüentemente, um determinado custo de construção. Assim, o projeto de terraplenagem deverá procurar indicar a melhor distribuição de terras, de sorte que a distância média de transporte e, conseqüentemente, o custo das operações de terraplenagem, sejam reduzidos a valores mínimos, ou próximos a estes.

A prática de projeto de estradas tem desenvolvido, em seus vários estágios, diversos procedimentos gráficos visando a execução de uma adequada distribuição de materiais na terraplenagem. Sucederam-se o “diagrama das áreas”, o “diagrama de Lalanne” e, como uma evolução deste, o “diagrama de Brückner”, ainda de uso corrente em projetos atuais. Sobre este último, apresentam-se, na seqüência, as considerações de ordem teórica pertinentes.

5.5.2 Diagrama de Brückner

a) Construção

Para que seja possível a construção gráfica do diagrama de Brückner, é necessário que se calculem as chamadas “ordenadas de Brückner”. Estas ordenadas são, em verdade, volumes de cortes e aterros acumulados sucessivamente, seção a seção, considerando-se os primeiros com sinal positivo e os segundos com sinal negativo. A somatória dos volumes é feita a partir de uma ordenada inicial arbitrária, em geral um volume suficientemente grande para evitar o aparecimento de ordenadas negativas, que dificultariam os cálculos.

Os volumes envolvidos no cálculo das ordenadas de Brückner são aqueles ditos “efetivos”, ou seja: considerada a influência da camada vegetal.

O fator de homogeneização é aplicado sobre os volumes de aterro, atuando neste como um multiplicador. Assim se procede, “expandindo” os volumes de aterro, para tornar realística a compensação com os volumes de cortes, que, como se sabe, sofrem redução após compactação nos aterros.

Nos casos de seções mistas, a compensação lateral é feita de forma automática quando do cálculo das ordenadas de Brückner, pois os volumes de corte e de aterro são, respectivamente, somados e subtraídos a cada seção, de forma que o acréscimo ou decréscimo nas ordenadas será dado pela diferença entre os dois volumes considerados. Como regra prática, pode-se dizer que a compensação lateral será o menor dos dois volumes e que o volume disponível para compensação longitudinal, que afeta as ordenadas, será a diferença entre estes volumes. A figura abaixo exemplifica o exposto anteriormente, para uma situação em que o volume de corte disponível entre duas estacas consecutivas supera ao volume do aterro (homogeneizado) da seção mista:

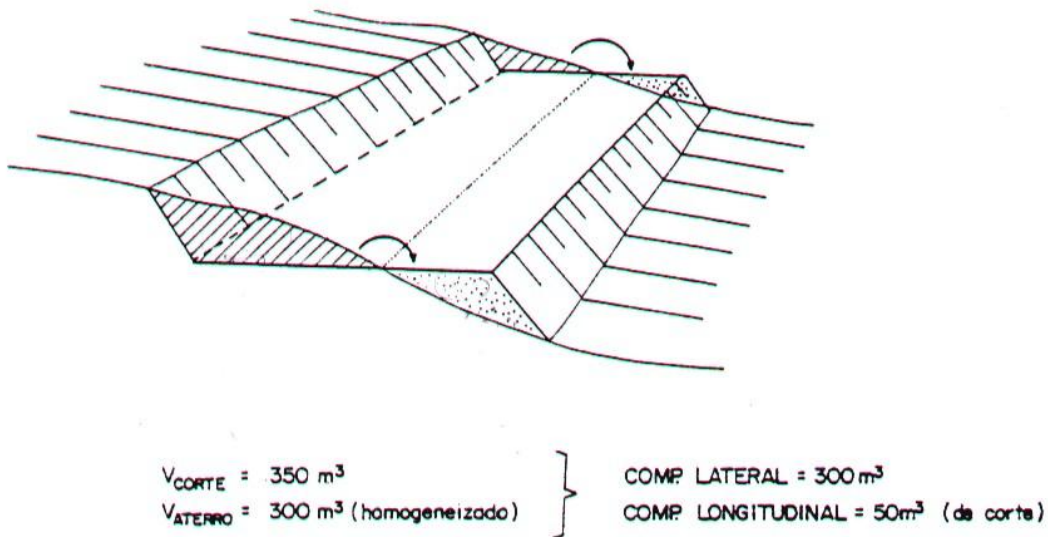


Figura 5.15

Cabe notar, ainda, que para fins práticos, o volume existente entre duas consecutivas (interperfis) é considerado aplicado na estaca correspondente à segunda seção. Este procedimento facilita a utilização do diagrama e a própria distribuição de terras, como será visto adiante.

As ordenadas calculadas (planilha anexa), são plotadas geralmente sobre uma cópia do perfil longitudinal do projeto. Em abcissas é marcado o estaqueamento e em ordenadas, numa escala adequada, os valores calculados para as ordenadas de Brückner, seção a seção. Os pontos assim marcados, unidos por uma linha curva, sintetizam o diagrama de Brückner.

b) Propriedades

As propriedades básicas do diagrama de Brückner, em geral decorrentes da forma segundo a qual o mesmo é construído, são as seguintes:

1ª Propriedade: Considerando-se o sentido crescente do estaqueamento, os ramos ascendentes do diagrama correspondem a cortes (ou predominância de cortes em seções mistas) e os ramos descendentes correspondem a aterros (ou predominância de aterros nas seções mistas).

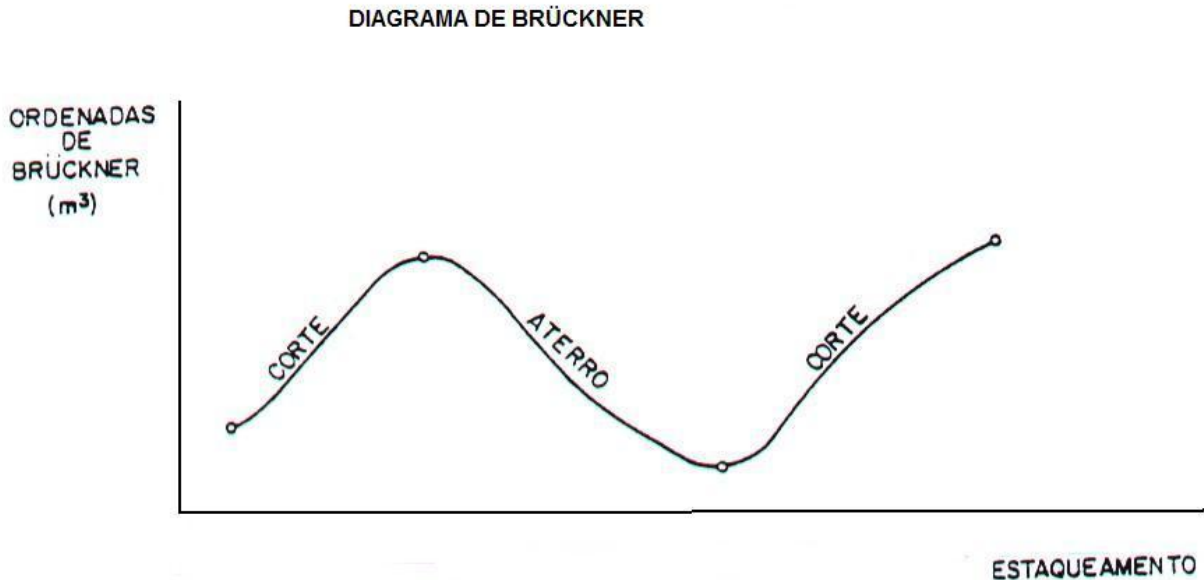


Figura 5.16

2ª Propriedade: Os pontos de máximo do diagrama representam a passagem de cortes para aterros e os de mínimo a passagem de aterros para cortes.

3ª Propriedade: Considerando um mesmo ramo, a diferença entre duas ordenadas mede o volume (de corte ou aterro) existente entre as seções correspondentes.

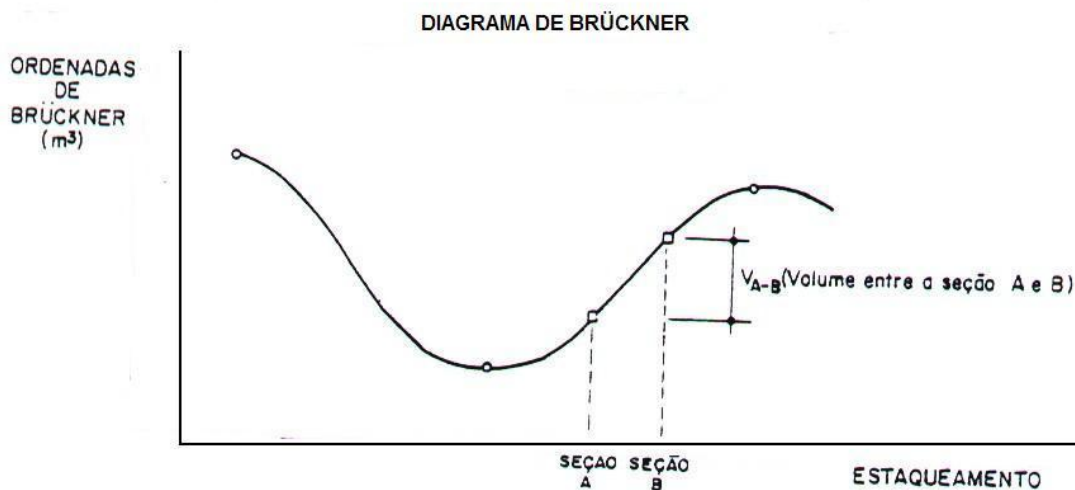


Figura 5.17

4ª Propriedade: Linhas horizontais (ditas “linhas de compensação” ou “linhas de distribuição”), interceptando ramos ascendentes e descendentes, destacam segmentos que correspondem a volumes de cortes e aterros compensados.

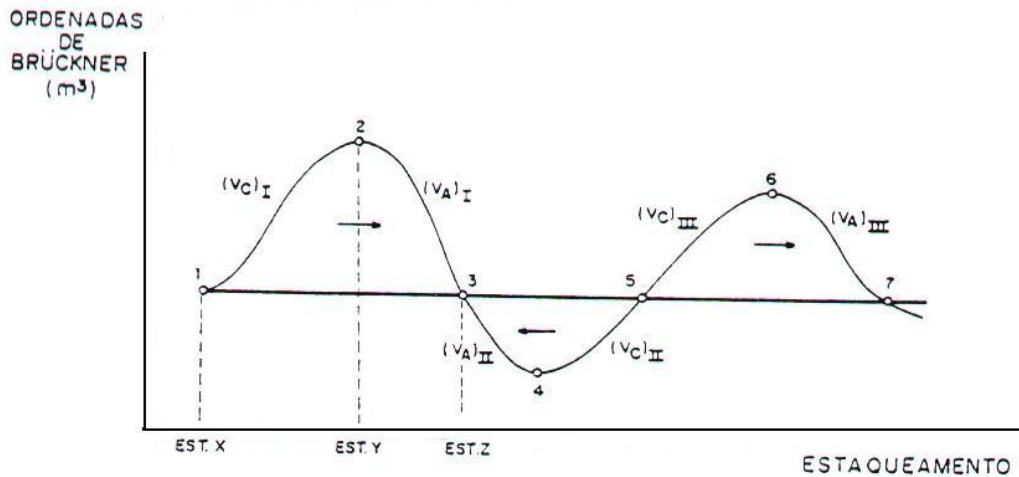


Figura 5.18

Como a linha lançada é horizontal, as ordenadas dos pontos 1, 3, 5 e 7 são iguais. Logo, aplicando-se ao exemplo acima exposto a 3ª propriedade, é fácil concluir que:

$$\begin{aligned}(V_c)_I &= (V_A)_I \\ (V_c)_{II} &= (V_A)_{II} \\ (V_c)_{III} &= (V_A)_{III}\end{aligned}$$

As setas indicadas dentro de cada segmento compensado representam, em linhas gerais, a origem e a destinação de cada porção de material a ser escavado. Se, por exemplo, fossem designadas as estacas correspondentes aos pontos 1, 2 e 3 por X, Y e Z, poder-se-ia enunciar a seguinte orientação para o primeiro segmento compensado: “o corte que inicia na estaca X e termina na estaca Y, possuidor de volume $(V_c)_I = (2) - (1)$, será destinado ao aterro que inicia na estaca Y e termina na estaca Z. Neste enunciado, faltam as referências quanto à dificuldade extrativa do material do corte (1ª, 2ª ou 3ª categoria) e a distância de transporte que resultará desta operação. Este último aspecto é focado na 6ª propriedade.

Ressalta-se, neste ponto, que os volumes de aterros utilizados para a construção do diagrama devem ter sido afetados pelo fator de homogeneização. Portanto, se fosse desejado o cálculo do volume real de aterro (“volume geométrico”) para fins de pagamento, no exemplo literal do primeiro segmento compensado, ter-se-ia que aplicar a expressão:

$$(V_A)_I \text{ GEOMÉTRICO} = \frac{(V_c)_I}{F_h} = \frac{(V_A)_I}{F_h}$$

5ª Propriedade: A área compreendida entre a curva de Brückner e a linha de compensação mede o momento de transporte da distribuição considerada. Para o caso abaixo figurado tem-se que: $S = MT$

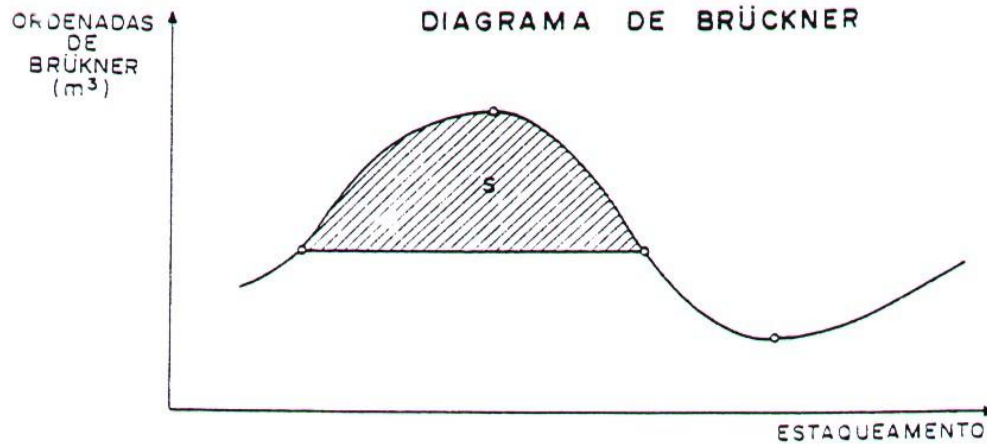


Figura 5.19

Para se compreender esta propriedade, tomam-se inicialmente duas paralelas à linha de compensação, no âmbito do segmento compensado, destacando-se um volume v bastante pequeno.

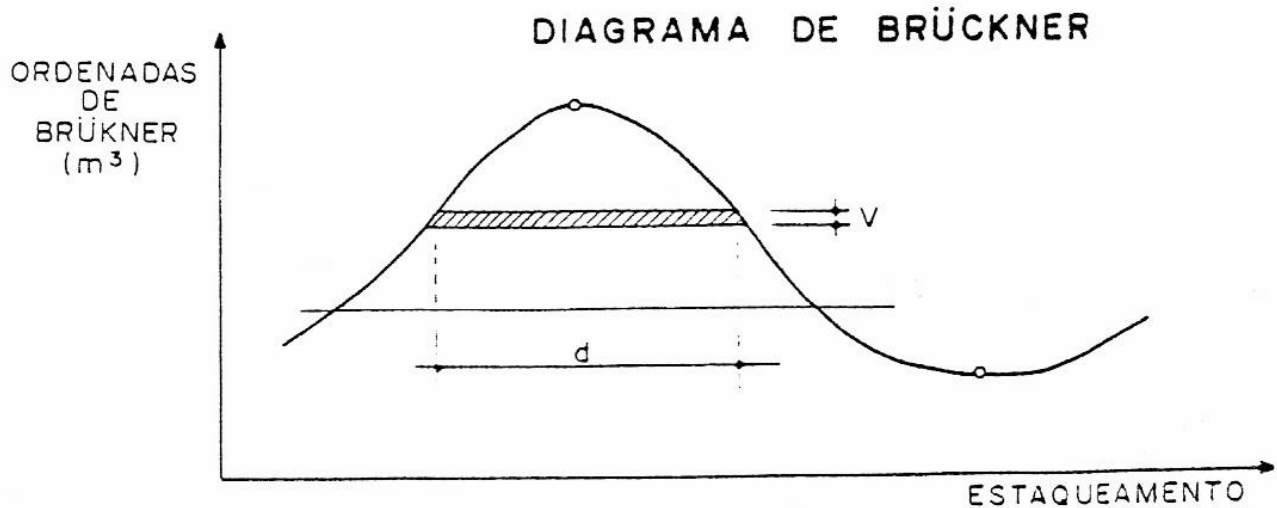


Figura 5.20

O volume v do corte deve ser transportado ao aterro segundo uma distância de transporte d . Sendo este volume muito pequeno, a figura representada pela faixa situada entre as duas paralelas pode ser assimilada a um retângulo de área $S' = v \times d$. Ora, por definição, o produto $v \times d$ representa o momento de transporte desta distribuição parcial (MT'):

$$MT' = S' = v \times d$$

A área total **S** pode ser obtida pela somatória de todas as áreas de pequenas distribuições parciais como a esquematizada:

$$S = \sum S'_i$$

Em conseqüência, é possível deduzir que a área total **S** é também a somatória de todos os momentos de transporte parciais, ou seja: representa efetivamente o momento de transporte do segmento compensado:

$$S = \sum MT'_i = MT$$

6ª Propriedade: A distância média de transporte (DMT) de cada distribuição pode ser considerada como a base de um retângulo de área equivalente à do segmento compensado e de altura igual à máxima ordenada deste segmento. Na figura abaixo esquematizada, segundo esta propriedade, a distância média de transporte do segmento compensado seria dada por:

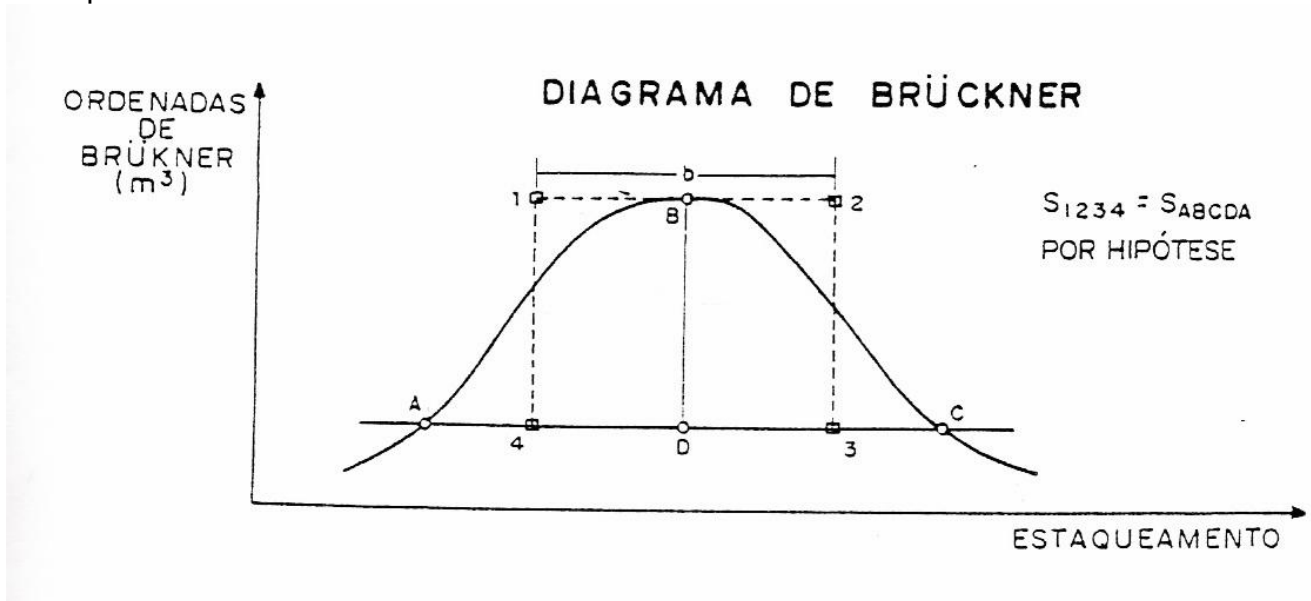


Figura 5.21

Pela 4ª propriedade, sabe-se que a diferença de ordenadas entre **B** e **D** representa o volume total compensado no segmento: **V = BD**.

Por outro lado, foi demonstrado na 5ª propriedade que a área do segmento compensado representa o momento de transporte da distribuição. Então: **S_{ABCD} = MT**.

Como, por hipótese, o retângulo ilustrado tem área igual à do segmento compensado, resulta: **S₁₂₃₄ = MT**.

A área do retângulo pode ser calculada por:

$$S_{1234} = b \times BD = b \times V.$$

Sabendo-se, finalmente, que o momento de transporte da distribuição é dado pelo produto do volume compensado (**V**) pela correspondente distância média de transporte (**DMT**), resulta:

$$MT = V \times DMT = S_{1234}$$

Logo:

$$b \times V = V \times DMT, \text{ ou } \quad b = DMT \quad \text{c.q.d..}$$

Na prática, o traçado do retângulo de área equivalente é feito de forma subjetiva, porém bastante facilitado pelo fato de se trabalhar sobre papel milimetrado. O grau de precisão obtido na determinação das distâncias médias de transporte é perfeitamente compatível, já que a quantificação do serviço de corte é efetuada por “faixas” de distância de transporte (ver item 5.7 adiante).

A teoria do diagrama de Brückner envolve, ainda, duas outras propriedades, que visam definir, dentre as diversas possibilidades de lançamento de linhas de compensação, qual seria aquela que conduziria a um custo de transporte mínimo. No entanto, muito embora razoavelmente defensáveis sob o ponto de vista teórico, estas propriedades são de difícil aplicação prática, para a grande maioria das situações normalmente verificadas em um projeto de terraplenagem, quais seja:

- i. Extensões de projeto relativamente elevadas, conduzindo a diagramas linearmente bastante extensos.
- ii. Necessidade freqüente de lançamento de diversas linhas de compensação auxiliares, pelo aspecto assumido pelo diagrama, como ilustrado a seguir:
- iii. Necessidade de se procurar correlacionar o sentido preferencial de escavação com a geometria longitudinal da estrada. Por exemplo: prevendo a abertura de um corte no sentido descendente do greide, com o aterro-destinatário situado a jusante

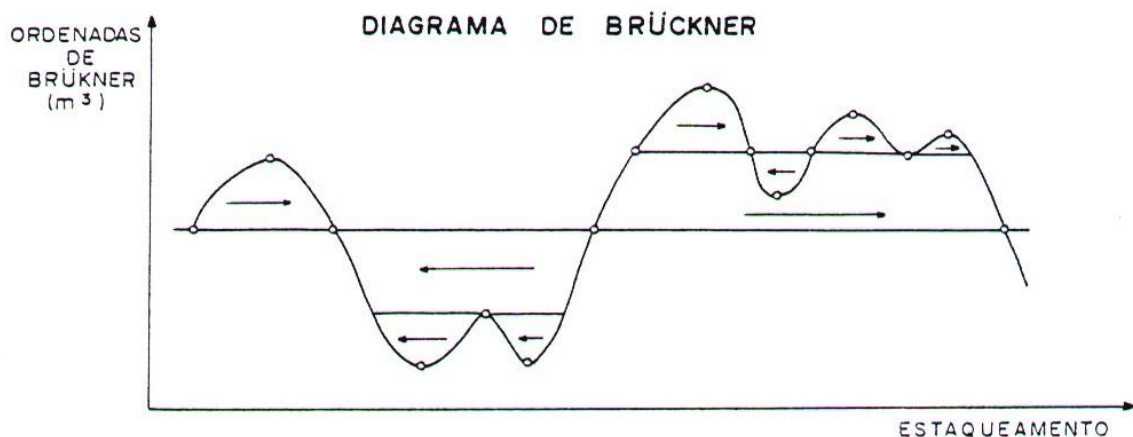


Figura 5.22

Pelo exposto, parece mais razoável que o lançamento das linhas de compensação seja feito em bases lógico-subjetivas, sem o que se cairia em um processo iterativo onde o número de combinações possíveis pode assumir proporções tão grandes que a solução ótima é praticamente inatingível. O projetista de terraplenagem, com alguma dose de experiência, fica capacitado a solucionar o problema de distribuição de terras de forma plenamente satisfatória, sem usar de tais requintes teóricos, razão pela qual estas propriedades são aqui omitidas.

No item 7.0 apresenta-se exercício sobre aplicação prática do diagrama de Brückner, que permite ao leitor sentir as reais dificuldades de uma distribuição de terras, e, ao mesmo tempo, familiarizar-se com os procedimentos usualmente adotados.

5.6 ELABORAÇÃO DOS QUADROS DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM

Os quadros de orientação da terraplenagem encerram todas as indicações obtidas na distribuição do material escavado, com auxílio do diagrama de Brückner.

Esses quadros, como pode ser visualizado na página seguinte, são divididos, em inicialmente em duas partes: uma para origem do material e outra para o seu destino. Na parte referente à origem são relacionados, através de colunas, a localização (pelos limites das estacas), a finalidade (corte, empréstimo lateral, empréstimo concentrado, denteamento em fundações de aterros, banquetamento de taludes, remoção de solos moles ou rebaixamento de plataforma de corte), o volume escavado e a classificação segundo a dificuldade de extração, ou seja, todas as informações acerca do material, na sua procedência. Na parte referente ao destino do material escavado entram as colunas relativas à finalidade do transporte e depósito do material, ou seja: aterro (camada superior, camada inferior ou simplesmente aterro quando não houver distinção na utilização do material), bota-fora (neste caso indicando o seu posicionamento em relação à rodovia - lado esquerdo, lado direito, fora da faixa de domínio, etc.), reposição de camada de solos moles removida, preenchimento de rebaixos de plataforma em corte ou compensação lateral, com a indicação das estacas limites de cada finalidade e da distância média de transporte da movimentação.

No preenchimento dos quadros de orientação, é recomendável que se relacione em linhas cada movimentação e na seqüência prevista para a construção, objetivando que o conjunto de quadros ofereça, ao executor dos serviços, a ordem cronológica de ataque (em muitos casos há necessidade de se fazer compensações intermediárias, para depois, aproveitando a plataforma já aberta, se completar a compensação entre corte e aterro mais distante). O quadro de localização e distribuição dos materiais de terraplenagem anexo, que é uma das formas para apresentação da orientação da terraplenagem, exemplifica o que foi exposto.

5.7 QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS

Em qualquer item do projeto há necessidade de se quantificar os diversos serviços envolvidos, a fim de se poder, atribuindo-se custos unitários a cada um deles, orçar o item referido e, por conseguinte, o trecho rodoviário. Esse orçamento, na fase de projeto, objetiva fornecer subsídios ao Órgão Contratante para alocação de recursos para a construção, e para o julgamento da condizência ou não dos preços propostos pelas Empresas Construtoras, na concorrência para execução dos serviços. Já na fase de construção, a quantificação se fará conforme o que efetivamente for executado, e o pagamento com base nos preços propostos na concorrência, devidamente reajustados.

A sistemática para quantificação dos serviços de terraplenagem, normalizada pelo DNER, e que a maioria dos outros Órgãos adota com algumas variantes, engloba o seguinte:

5.7.1 *Serviços Preliminares*

a) Desmatamento, destocamento de árvores até 15 cm e limpeza - para este serviço, que envolve o corte de árvores, qualquer que seja seu porte ou densidade, a retirada dos tocos das mesmas que tenham diâmetro até 15 cm (medido a 1 m de altura do terreno) e a remoção da camada vegetal, a quantificação se faz em m² (metros quadrados);

b) Destocamento de árvores com diâmetro compreendido entre 15 e 20 cm - este item engloba unicamente a retirada dos tocos restantes após o desmatamento, nos limites de diâmetro acima referidos. Quantificado em unidades;

c) Destocamento de árvores com diâmetro superior a 30 cm - igual ao caso anterior. Quantificação em unidades;

d) Remoção de estruturas - este serviço engloba a retirada de todas as construções (casas, galpões, depósitos, etc., de alvenaria ou de madeira) existentes dentro dos limites nos quais se processarão os serviços de terraplenagem propriamente ditos (off-sets), sendo a medição efetuada, conforme a sua natureza, em m² (metros quadrados);

e) Remoção ou remanejamento de cercas delimitadoras - para o caso da existência de cercas margeando aproximadamente a diretriz do traçado da rodovia, se julgará, pelo estado de conservação e espécie das mesmas, a conveniência de sua remoção pura e simples ou o seu remanejamento para a posição final da faixa de domínio, quantificação esta efetuada em m (metros lineares);

f) Remanejamento de postes ou torres - este é um serviço que deverá ser medido em unidades, com discriminação explícita do tipo e de sua utilidade, uma vez que o remanejamento dependerá de autorização da Empresa proprietária, ou mesmo, como acontece na grande maioria dos casos, esse remanejamento só se efetiva por intermédio da referida Empresa;

g) Outros serviços - para cada caso particular poderá se encontrar outros tipos de obstáculos a serem retirados para a execução da terraplenagem e cada um deles terá a quantificação determinada da maneira mais adequada. Como exemplo, podem ser citados: remoção de muro de alvenaria (metros lineares), remoção de muros de arrimo ou blocos de concreto (metros cúbicos), remoção de bueiros (metro linear de corpo para cada diâmetro), etc.

5.7.2 Caminhos de Serviço

Este é um item de difícil quantificação antes da fase de construção, pois as condições locais e das estradas existentes, quando da época da execução, é que definirão a forma de ataque à obra e, conseqüentemente, a medição.

Na fase de projeto, como somente alguns casos específicos de travessias de rios, acessos a ocorrências de materiais e canteiros de serviço, podem ser quantificados, o que se adota é a previsão de um valor percentual do total de escavações e aterros (em torno de 5 a 10% conforme a configuração topográfica da região) ou a não medição específica, englobando-se no preço de cada serviço que necessitar caminhos de serviço, uma parcela referente ao seu custo.

5.7.3 Cortes e Empréstimos

Para o caso de cortes e empréstimos, além da escavação (e carga), tem-se ainda que considerar a parcela referente ao transporte (e descarga) do material. Assim sendo, é preconizado que se faça a quantificação por volumes escavados, separados conforme a dificuldade extrativa (1^a, 2^a ou 3^a categoria), transportados a “faixas” de distâncias médias de transporte. Em geral utilizam-se faixas para:

		DMT	<	50 m
50	<	DMT	<	100 m
100	<	DMT	<	200 m
200	<	DMT	<	400 m
400	<	DMT	<	600 m
600	<	DMT	<	800 m
800	<	DMT	<	1000 m
1000	<	DMT	<	1200 m
1200	<	DMT	<	1400 m
1400	<	DMT	<	1600 m
1600	<	DMT	<	2000 m
2000	<	DMT	<	3000 m

e acima de 3000 m, de 1000 em 1000 m.

Desta maneira teremos especificado um certo total de volume de escavação transportado a uma distância até 50 m, um outro total de volume escavado e transportado a uma distância compreendida entre 50 e 100 m e assim por diante.

5.7.4 Aterros

Os aterros são quantificados em bases volumétricas, conforme o grau de compactação a ser empregado (para corpo de aterros se especifica um grau de compactação mínimo de 95%, e para camada superior de 100%, em relação a máxima massa específica aparente seca obtida para o material, no ensaio DNER-ME 47-64). Assim sendo, se procede à medição em m³ (metros cúbicos) acabados, ou seja já compactados, separadamente, para corpo e camada final de aterro.

5.7.5 Serviços Especiais

Dos serviços especiais relacionados no sub-item 2.3.7, somente o caso de remoção de solos moles recebe quantificação específica, já que os serviços de escalonamento de terreno de fundação de aterros com elevada declividade e de banquetamento de taludes, são considerados como “cortes” e como tal quantificados.

O trabalho de remoção de solos moles é medido em m² (metros cúbicos) e, caso haja necessidade de transporte do material, este também será quantificado.

5.8 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE TERRAPLENAGEM

A apresentação de um “Projeto Final de Engenharia Rodoviária” se faz através de quatro volumes e alguns anexos de estudos e projetos específicos, sendo que o Projeto de Terraplenagem, como parte integrante deste, aparece constituindo alguns capítulos esses volumes.

A relação dos volumes e o que se apresenta sobre terraplenagem nos mesmos está a seguir transcrita.

Volume 1 - Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência:

Este Volume tem a finalidade de dar uma visão geral do projeto, constituindo-se, basicamente, no seu extrato. Ele destina-se ao uso de técnicos que queiram ter um conhecimento geral do projeto e às Firms Construtoras interessadas na licitação da obra, razão pela qual deve reunir todos os elementos que sejam de interesse à concorrência de construção. Pela sua finalidade, neste volume não são justificados os métodos usados, mas simplesmente apresentadas soluções e os resultados encontrados.

- Seguindo a itemização preconizada pelo DNER, informações acerca da terraplenagem são inseridas nos seguintes capítulos:
- Informativo do Projeto, onde em algumas poucas linhas deve-se enfatizar as condições principais da terraplenagem (dificuldades ou facilidades);
- Ficha-Resumo do Projeto, que conterà o volume total a ser escavado e as percentagens de 1^a, 2^a e 3^a categorias;
- Resumo do Projeto, onde serão fornecidas, sucintamente, as informações mais importantes sobre a terraplenagem, os resultados obtidos e as metodologias utilizadas para obtê-los;
- Plano de Execução da Obra, que conterà comentários sobre as dificuldades ou facilidades e recomendações para execução da terraplenagem;
- Documentos da Proposta, nos quais se encerrarão as quantidades de todos os serviços de terraplenagem, para apreciação e efetivação do orçamento pelas Firms interessadas na licitação para construção, e
- Especificações Complementares e Particulares, onde serão descritos os métodos para a execução, controle, medição e pagamento, além da relação dos equipamentos e materiais a serem utilizados em cada serviço, quando esses itens não estiverem contidos ou estiverem incompletos nas “Especificações Gerais” do DNER.

Volume 2 - Projeto de Execução:

Este volume tem por objetivo fornecer as plantas, gráficos e demais desenhos necessários à execução da obra.

O Projeto de Terraplenagem, além de ser apresentado em um capítulo específico, tem suas quantidades relacionadas em outro, denominado Quadro-Resumo de Quantidades. No Capítulo específico são apresentadas pranchas de desenhos que contenham, no mínimo, o seguinte:

- Seções transversais-tipo de terraplenagem;
- Quadros-resumo da distribuição de terras;
- Gráficos com indicação do posicionamento de empréstimos e bota-foras;
- Plantas, seções transversais, perfis longitudinais e demais elementos de interesse de caixas de empréstimos localizadas;
- Detalhes e soluções particulares referentes à fundação de aterros, estabilidade, banquetamento ou escalonamento de taludes, etc.;
- Quadros de orientação da terraplenagem.

Volume 3 - Memória Justificativa:

Tem por objetivo justificar as soluções apresentadas, expondo claramente as metodologias adotadas e resultados obtidos. Destina-se essencialmente ao exame do Órgão Contratante, servindo posteriormente como elemento de consulta na fase de execução da obra.

O Projeto de Terraplenagem encerra um capítulo específico, onde se segue, usualmente, a seguinte orientação na exposição da matéria:

- Elementos básicos, onde são referidos os elementos usados e resultantes da elaboração do projeto;
- Estudos de alternativas e de soluções específicas;
- Análise técnica e econômica para definição das melhores alternativas;
- Descrição detalhada das soluções adotadas, fazendo-se ainda referência aos métodos, normas e especificações consideradas;
- Discriminação dos métodos adotados e cálculos realizados para obtenção das quantidades apresentadas.

Volume 4 - Orçamento e Plano de Execução

Fornece o custo de todas as obras necessárias à execução da rodovia, indicando e justificando os métodos adotados na sua obtenção. Apresenta ainda o Plano de Execução aplicável às obras.

Neste volume, baseando-se em pesquisas de mercado, são definidos os custos unitários e totais de cada item de serviço quantificado e o custo total da terraplenagem e dos demais serviços previstos. Os resultados são apresentados no Resumo do Orçamento, que indica o custo total, o custo por quilômetro e a percentagem do custo total.

Volume 3.A - Projeto de Desapropriação (Anexo)

O Projeto de Desapropriação tem por objetivo definir e especificar os serviços de avaliação de imóveis nos Projetos de Engenharia Rodoviária, com a finalidade de fornecer elementos necessários à execução do processo administrativo de indenização por desapropriação.

Para o caso específico da terraplenagem, sempre que qualquer atividade de retirada ou depósito de material se der fora dos limites da faixa de domínio, ter-se-á de proceder a levantamentos completos da área e coleta de todas as informações necessárias acerca dos proprietários e situação da posse.

Volume 3.B - Estudos Geotécnicos (Anexo)

Este volume apresenta todos os boletins de sondagens e quadros de resultados de ensaios efetuados. É através desses boletins e quadros que se fará a análise das categorias e da qualidade dos materiais envolvidos na terraplenagem, com o que se julgará a necessidade ou não de seleção qualitativa.

Volume 3.C - Memória de Cálculo de Estruturas (Anexo)

É o volume destinado à apresentação da memória de cálculo estrutural das obras de arte especiais (pontes, viadutos, cortinas atirantadas, muros de arrimo, etc.).

Volume 3.D - Notas de Serviço e Cálculos de Volumes

Encerra este volume os elementos que forneceram subsídios para a elaboração dos quadros de orientação da terraplenagem (cálculo de volumes) e os dados necessários para execução da terraplenagem propriamente dita, segundo a geometria definida no projeto (notas de serviço).

6 NOTAS DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM

As **notas de serviço de terraplenagem** constituem um conjunto de planilhas nas quais são relacionados todos os pontos característicos da seção transversal necessários à implantação da geometria projetada, estaca por estaca. Os pontos são referenciados nas notas de serviço em termos de seus **afastamentos** (distâncias) em relação ao eixo de locação e as correspondentes cotas. Os principais pontos de interesse, conforme ilustra a figura 6.1, são os seguintes:

- Eixo: terreno natural e greide;
- Bordos da plataforma;
- Off-sets;
- Canteiro central (fundo);
- Banquetas (crista e fundo).

Em cada seção transversal deve ser considerada a plataforma efetivamente projetada, ou seja, levando em conta o **abaulamento** transversal em tangente e a **superelevação e a superlargura** calculadas para as extensões em curva.

O cálculo da nota de serviço por processo convencional (não informatizado) é fundamentalmente analítico, estando associado à gabaritação da seção de projeto. Para a gabaritação de uma seção típica de rodovia em pista simples, sem banquetas, é recomendável a seguinte seqüência:

1. Cálculo da caderneta de nivelamento da seção transversal, determinando afastamentos (distâncias) e cotas da seção, à direita e à esquerda do eixo;
2. Desenho da seção transversal do terreno, usualmente em escala 1:200;
3. Marcação, na posição correspondente ao eixo, da cota do greide. A diferença entre a cota do terreno e a cota do greide, como visto anteriormente, é designada por cota vermelha;
4. Considerado o abaulamento transversal ou a superelevação (em tangente ou em curva, conforme o caso), desenhar com auxílio de par de esquadros o caimento de cada semi-plataforma a partir do eixo;
5. Na distância correspondente à soma entre a semi-plataforma e a eventual superlargura, marcar o bordo da plataforma de terraplenagem;
6. Novamente com auxílio de par de esquadros, traçar a partir do bordo da plataforma a direção do talude de corte ou aterro, consideradas as correspondentes inclinações;
7. Na interseção de cada talude com o terreno natural, ficam definidos os off-sets.

PONTOS A SEREM DEFINIDOS NAS
NOTAS DE SERVIÇO

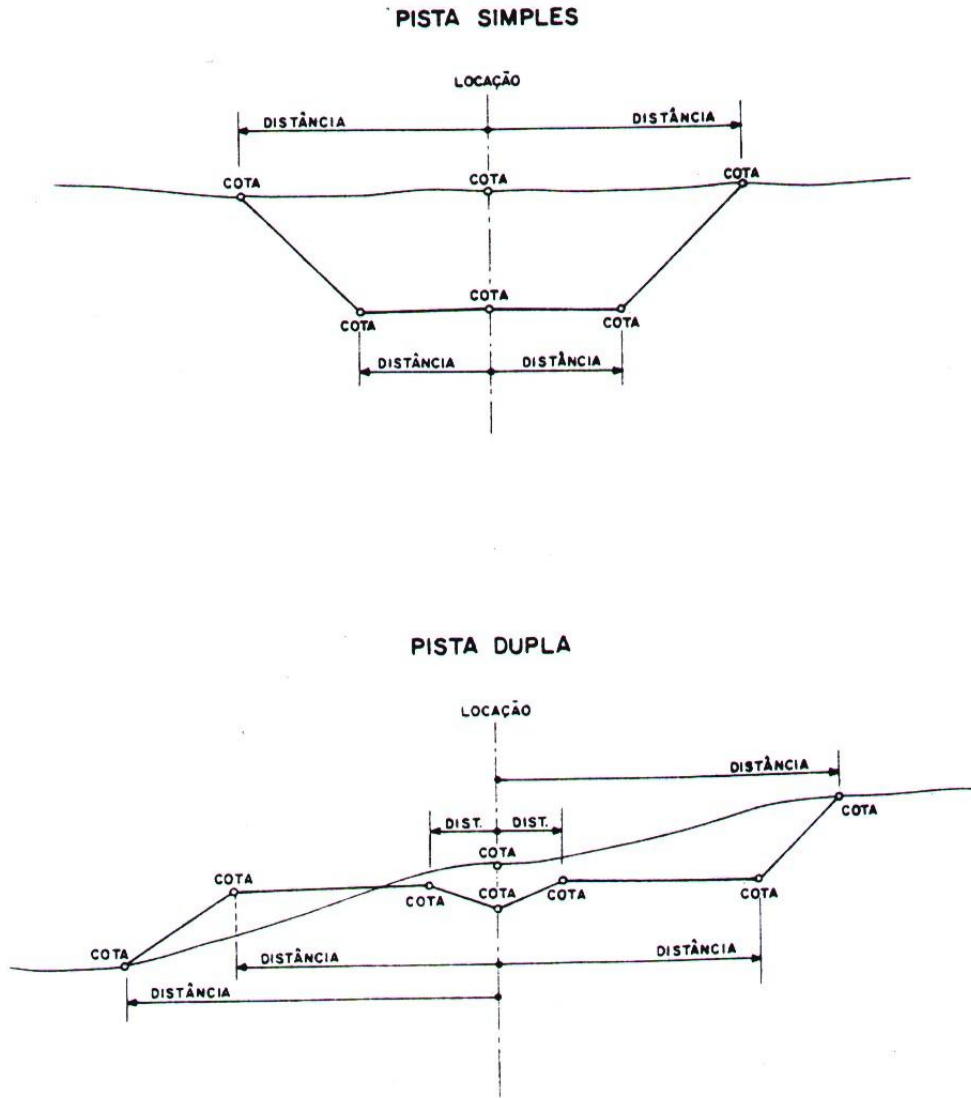


Figura 6.1

Para o cálculo da nota de serviço, os dados são registrados em planilha específica, conforme modelo anexo, adotando-se, para rodovia em pista simples, em seção sem banquetas, a seguinte seqüência:

1. Transcrição, para a linha da planilha correspondente à estaca considerada, da cota do terreno e da cota do greide na posição do eixo locado;
2. Cálculo da cota vermelha, considerando sinal algébrico positivo para cortes e negativo para aterros;
3. Anotação da distância de cada bordo ao eixo, tomando-se para tal a soma da largura da semi-plataforma com a superlargura (se existente);
4. Cálculo da cota de cada bordo, levando em conta a distância anteriormente anotada e o abaulamento transversal ou a superelevação;
5. Medir graficamente, na seção gabaritada, a distância de cada off-set ao eixo, registrando no campo específico;
6. Cálculo da cota de cada off-set, da seguinte forma: calcular inicialmente a distância do bordo ao off-set; com a inclinação do talude chegar à cota do off-set, a partir da cota do bordo.

A imprecisão decorrente da medida gráfica que dá origem à definição do off-set é aceitável, sendo corrigida na fase de obra.

7 EXERCÍCIOS

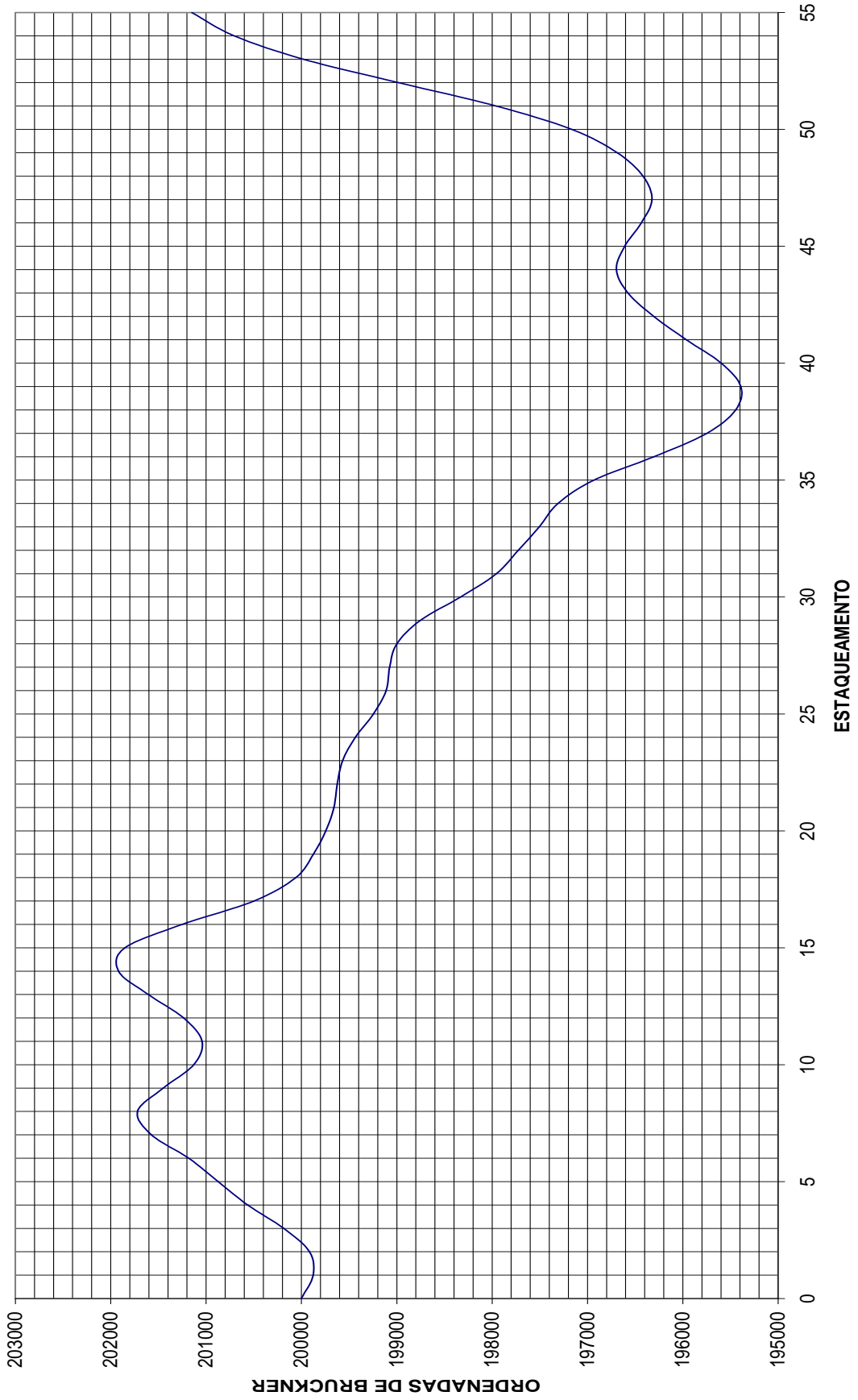
7.1 DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS

Elaborar a distribuição de materiais de terraplenagem correspondente a um segmento rodoviário de 1100 m de extensão, com base nos dados apresentados nas planilhas anexas, intituladas “Cálculo das Ordenadas de Brückner”. Considerar as seguintes informações e instruções gerais:

1. Todos os materiais a serem escavados são de 1^a. categoria;
2. As áreas totais e de camada vegetal encontram-se calculadas e registradas nas planilhas, para todas as estacas;
3. As áreas efetivas, soma das áreas, volumes dos interperfis, compensações laterais e ordenadas de Brückner encontram-se calculadas e registradas nas planilhas, para o segmento situado entre as estacas 15 e 55 = PF;
4. Para o segmento situado entre as estacas 0=PP e 14, no espaço demarcado pelo retângulo tracejado da primeira planilha, há necessidade de todos os cálculos a partir das áreas efetivas;
5. A ordenada inicial do diagrama de Brückner foi pré-estabelecida em 200.000 m³;
6. As estacas a considerar são de 20 m (semi-distância de 10 m);
7. O fator de homogeneização foi definido em 1,40;
8. Após o cálculo da parte complementar da planilha, traçar a porção inicial do diagrama de Brückner, no desenho apresentado após o conjunto de planilhas, conectando-o à porção já traçada;
9. Em seguida, lançar linhas de distribuição convenientes, sob orientação do professor instrutor, e definir todas as compensações longitudinais;
10. Utilizando o processo do “retângulo de áreas equivalente” apresentado na teoria, definir todas as distâncias médias de transporte;
11. A diferença existente entre a ordenada inicial e a ordenada final do diagrama indica que haverá excesso de material na terraplenagem. Sugere-se que o bota-fora seja efetuado dispondo o material lateralmente ao segmento de aterro mais próximo do local da escavação;
12. Montar o quadro de orientação da terraplenagem (“Localização e Distribuição dos Materiais para Terraplenagem”), com base nas informações extraídas do diagrama de Brückner resolvido. Para as compensações laterais, extrair as informações das planilhas “Cálculo das Ordenadas de Brückner”;
13. A partir do quadro de orientação da terraplenagem, sintetizar as quantidades de serviços resultante, utilizando o “Quadro-Resumo da Movimentação de Terra”. Os volumes de compactação de aterros deverão ser obtidos a partir dos volumes de cortes mobilizados para este fim, aplicando-se, de forma inversa, o fator de homogeneização. Considerar, a bem da simplicidade, que os aterros serão compactados integralmente com grau de compactação de 100% em relação ao ensaio normal;
14. Finalmente, calcular o custo global dos itens principais da terraplenagem, com base em custos unitários fornecidos pelo professor, preenchendo a planilha “Orçamento da Terraplenagem”.

CÁLCULO DAS ORDENADAS DE BRÜCKNER														FATOR DE HOMOGENEIZAÇÃO			
ESTACA	CATEGORIA	ÁREAS (m ²)										SEMI-DISTÂNCIA (m)		COMPENSAÇÃO LATERAL (m ³)	ORDENADAS DE BRÜCKNER (m ³)		
		TOTAIS		CAMADA VEGETAL		EFETIVAS		SOMA DAS ÁREAS (m ²)		VOLUMES DOS INTERPERFIS (m ³)							
		CORTE	ATÉRRO	CORTE	ATÉRRO	CORTE	ATÉRRO	GEOM. P/ ATÉRRO	NEC. P/ ATÉRRO	CORTE	ATÉRRO	CORTE	ATÉRRO				
24	1ª		6,8					6,8	9,4					13,4	10	134	199.434
25	1ª		5,6			1,1		6,7	9,4					18,9	10	189	199.245
26	1ª		1,7			1,2		2,9	4,1					13,5	10	135	199.110
27	1ª	0,9	0,2					0,2	0,3	0,9				4,4	10	44	199.075
28	1ª		4,8			1,0		5,8	8,1					8,4	10	84	199.000
29	1ª		10,4			1,4		11,8	16,5					24,5	10	245	198.574
30	1ª	2,7	18,7	2,3				18,7	26,2	0,4				42,7	10	427	198.331
31	1ª		6,8			1,5		8,3	11,6					37,8	10	378	197.957
32	1ª		6,8			1,4		8,2	11,5					23,1	10	231	197.726
33	1ª		6,4			1,1		7,5	10,5					22,0	10	220	197.506
34	1ª		5,6			0,9		6,5	9,1					19,6	10	196	197.310
35	1ª		18,4			2,1		20,5	28,7					37,8	10	378	196.932
36	1ª	2,7	24,7	1,9				24,7	34,6	0,8				63,3	10	633	196.307
37	1ª		14,8			0,9		15,7	22,0	0,8				56,6	10	566	195.749
38	1ª	0,1	6,0	0,1				6,0	8,4	0,0				30,4	10	0	195.445
39	1ª	3,3		0,3				3,0		3,0				8,4	10	84	195.391
40	1ª	18,4		1,0				17,4		20,4				204	10	204	195.595
41	1ª	21,2		1,9				19,3		36,7				367	10	367	195.962
42	1ª	16,8		2,1				14,7		34				340	10	340	196.032
43	1ª	14,8		2,4				12,4		27,1				271	10	271	196.573
44	1ª	2,3		2,4				0,1	0,1	12,4				124	10	1	196.696
45	1ª		3,2			2,9		6,1	8,5					86	10	86	196.610
46	1ª		5,3			1,1		6,4	9,0					17,5	10	175	196.435
47	1ª	5,9	4,2	0,8		1,0		5,1	7,3	5,1				16,3	10	51	196.323

ORDENADAS DE BRUCKNER



LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS PARA TERRAPLENAGEM									
ESCAVAÇÃO					DESTINO DO MATERIAL ESCAVADO				
LOCALIZAÇÃO		FINALIDADE	VOLUME ESCAVADO (m ³)	CATEGORIA	LOCALIZAÇÃO		FINALIDADE	DMT (m)	
ESTACA	ESTACA				ESTACA	ESTACA			
1	2+10	CORTE	125	1ª	0=PP	1	ATERRO	20	
2+10	5+10	CORTE	1042	1ª	16+10	18	ATERRO	260	
5+10	8	CORTE	676	1ª	8	11	ATERRO	60	
11	14	CORTE	875	1ª	14	16+10	ATERRO	60	
49	53	CORTE	3304	1ª	18	35+10	ATERRO	430	
39	44	CORTE	1305	1ª	35+10	39	ATERRO	80	
47	49	CORTE	371	1ª	44	47	ATERRO	60	
53	55	CORTE	1150	1ª	44	47	BOTA-FORA (LE/LD)	170	
0=PP	2	CORTE	52	1ª	0=PP	2	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
7	12	CORTE	206	1ª	7	12	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
14	15	CORTE	98	1ª	14	15	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
26	28	CORTE	18	1ª	26	28	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
29	31	CORTE	8	1ª	29	31	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
35	37	CORTE	16	1ª	35	37	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
38	39	CORTE	30	1ª	38	39	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
43	44	CORTE	1	1ª	43	44	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	
46	48	CORTE	124	1ª	46	48	COMPENSAÇÃO LATERAL	50	

QUADRO RESUMO DA MOVIMENTAÇÃO DE TERRA		
DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
1. Escavação, carga e transporte da material de 1ª categoria		
DMT ≤ 50 m	m ³	678
50 m < DMT ≤ 100 m	m ³	3227
100 m < DMT ≤ 200 m	m ³	1150
200 m < DMT ≤ 400 m	m ³	1042
400 m < DMT ≤ 600 m	m ³	3304
2. Compactação de aterros a 100% do Proctor Normal		
	m ³	5893
		$V_{AT} \text{ Geométrico} = \frac{\Sigma V \text{ Corte} - \text{Bota Fora}}{F_h}$ $V_{AT} \text{ Geométrico} = \frac{9401 - 1150}{1,40}$ $V_{AT} \text{ Geométrico} = 5893 \text{ m}^3$

ORÇAMENTO DA TERRAPLENAGEM				
DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE.	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO. R\$/m³	CUSTO TOTAL R\$
1. Escavação, carga e transporte de material de 1a. categoria				
DMT < 50m	m ³	678	0,84	569,52
50m < DMT < 100m	m ³	3227	0,84	2.710,68
100m < DMT < 200m	m ³	1150	0,84	966,00
200m < DMT < 400m	m ³	1042	0,98	1.021,16
400m < DMT < 600m	m ³	3304	1,16	3.832,64
2. Compactação de aterros a 100% do Proctor Normal	m ³	5893	0,53	3.123,29
CUSTO TOTAL				12.223,29
CUSTO POR km (55 estacas X 20,0 metros = 1,1 Km)				11.112,08

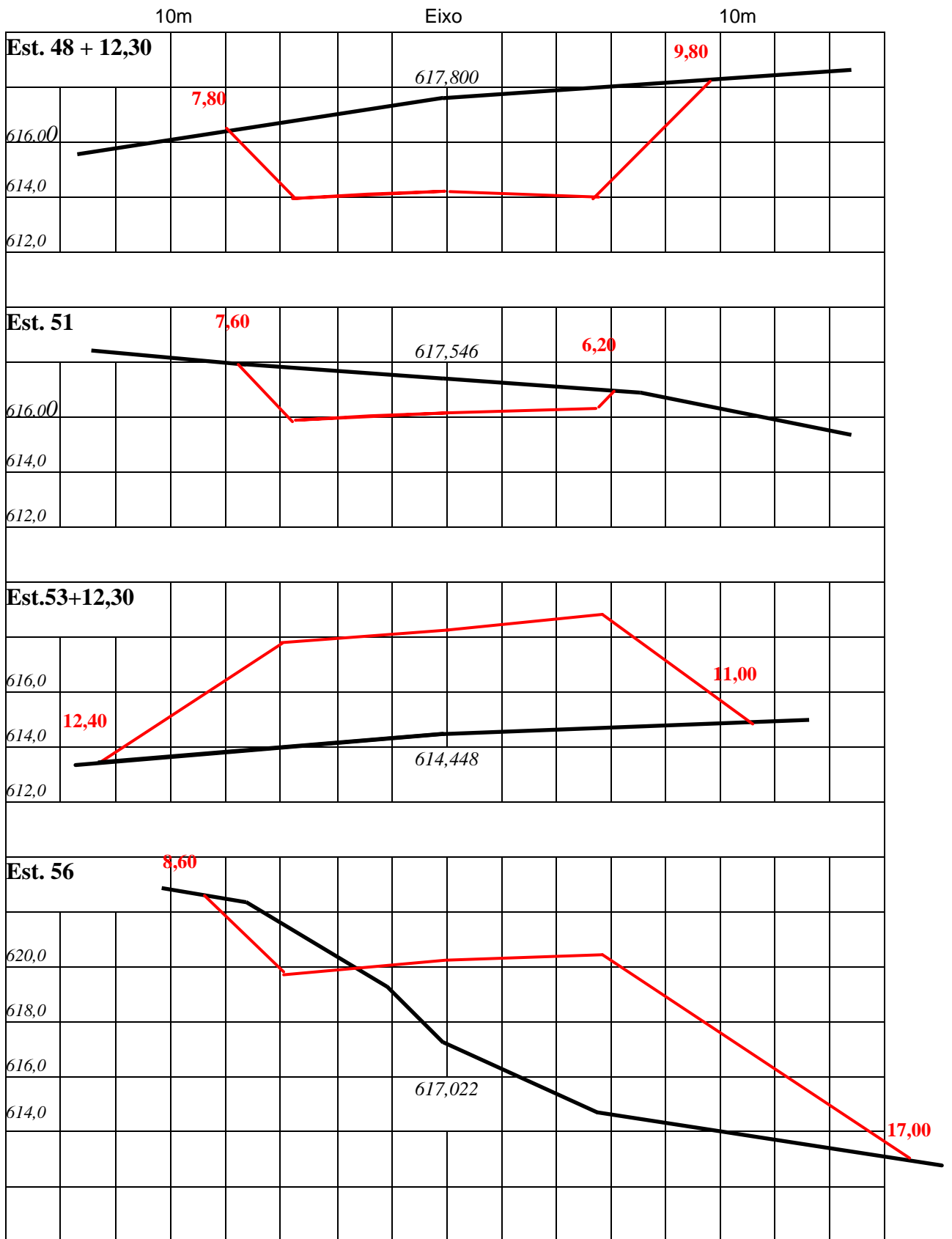
7.2 CÁLCULO DE NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM

Gabaritar a seção de projeto e calcular a nota de serviço de terraplenagem correspondente às estacas **48+12,30**, **51**, **53+12,30** e **56**, considerando:

1. Giro pelo eixo;
2. Abaulamento transversal em tangente: $d_t = -3\%$
3. Plataforma de terraplenagem: $L=11\text{m}$
4. Superelevação e superlargura:

Estaca	Ponto	Esquerda		Direita	
		(L/2) + SL	SE (%)	(L/2) + SL	SE(%)
48		5,50	-3,00	5,50	-3,00
48+12,30	TS	5,50	-3,00	5,50	-3,00
49		5,52	-3,00	5,52	-2,31
50		5,58	-3,00	5,58	-0,51
51		5,64	-3,00	5,64	+1,29
52		5,70	-3,09	5,70	+3,09
53		5,76	-4,90	5,76	+4,90
53+12,30	SC	5,80	-6,00	5,80	+6,00
54		5,80	-6,00	5,80	+6,00
55		5,80	-6,00	5,80	+6,00
56		5,80	-6,00	5,80	+6,00

5. Seções transversais: conforme desenho anexo.
6. Cotas do greide e cotas do terreno no eixo: inseridas na planilha “Nota de Serviço de Terraplenagem”, anexa.



Seções Transversais

NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM												
ESTACA	PONTO	LADO ESQUERDO				EIXO			LADO DIREITO			
		DIST.	COTA	DIST.	BORDO COTA	TERRENO	GREIDE	COTA VERMELHA	DIST.	BORDO COTA	DIST.	OFF-SET COTA
48+12,30	TS	7,80	616,366	5,50	614,066	617,800	614,231	3,569	5,50	614,066	9,8	618,366
51		7,6	617,930	5,64	615,970	617,546	616,139	1,407	5,64	616,211	6,2	616,771
53+12,30	SC	12,40	613,483	5,80	617,883	614,448	618,231	-3,783	5,80	618,579	11,00	615,112
56		8,6	622,591	5,80	619,791	617,022	620,139	-3,117	5,80	620,487	17,00	613,020

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNER - Especificações Gerais para Obras Rodoviárias - 1974.

DNER - Manual de Serviços de Consultoria - 1978.

DNER - Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária - Volume 2 - 1974.

DNER - Materiais para Obras Rodoviárias - Métodos e Instruções - 1955.

REGO CHAVES, C. - Terraplenagem Mecanizada - Editora Rodovia - 1955.

SOUZA RICARDO, H. e CATALANI, G. - Manual Prático de Escavação - Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda. - 1977.

LA TECHNIQUE MODERNE-CONSTRUCTION - Le Matériel de Travaux Publics, Tomos I e II - DUNOD - 1951.

CARVALHO, M.P. - Curso de Estradas - Volume 1 - Editora Científica - 1966.

MARQUES, P.L. e HEY, S. - Prospecção de Sub-Superfície para Obras de Engenharia - UFPR.

GISCO - General Catalog - New Edition - 1981.

CATERPILLAR - Manual de Produção - 4ª Edição - 1974.

CATERPILLAR - Princípios Básicos de Terraplenagem - 1977.

LOPES, J.A.U. - Conferência proferida na IV SEDEGEO - Porto Alegre - 1969.

Catálogos diversos de fabricantes de equipamentos rodoviários.

PEREIRA, D.R.M. e COSTA, R. - TERRAPLENAGEM Tomo I - Editora EDUCA - 1983.

PEREIRA, D.R.M. e COSTA, R. - TERRAPLENAGEM Tomo II - 1988.

IPT - Sísmica de Refração e Sondagens Elétricas, Metodologia de Campo

RHODIA-STER - Fortrac, Geogrelha de Poliéster de Alta Tenacidade para Reforço de Solos