



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS
DE RODAGEM DO PARANÁ



MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

TERRAPLENAGEM TOMO I

2023



CONSÓRCIO APPE-VIAPONTE
Contrato: Nº 100/2021

MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

TERRAPLENAGEM TOMO I

2023

CARLOS ROBERTO MASSA JÚNIOR
GOVERNADOR DO ESTADO DO PARANÁ

FERNANDO FURIATTI SABÓIA
SECRETÁRIO DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

ALEXANDRE CASTRO FERNANDES
DIRETOR GERAL DO DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER/PR

JANICE KAZMIERCZAK SOARES
DIRETORA TÉCNICA DO DER/PR

RUI CEZAR DE QUADROS ASSAD
DIRETOR DE OPERAÇÕES DO DER/PR

MARCO AURÉLIO CORDEIRO
DIRETOR ADMINISTRATIVO-FINANCEIRO DO DER/PR

Coordenação dos trabalhos

Diretoria Geral – DG
Diretoria Técnica – DT
Coordenadoria de Pesquisa e Desenvolvimento – CPD

Coordenadora Geral dos Trabalhos

Janice Kazmierczak Soares

Coordenadora Técnica dos Trabalhos

Larissa Vieira

Colaboradores Técnicos

Corpo Técnico do DER/PR

REVISÃO

Consórcio APPE-VIAPONTE



EQUIPE TÉCNICA

Engº Luiz Henrique Dias Figueiredo
Coordenador Geral

Engº Carlos Eugênio Gonçalves Butze
Coordenador Local

Engº Geovane Gomes
Equipe de Apoio

Lucas Gabriel Franco Laidens
Equipe de Apoio

Arqº Daniela Bussolo Cunha
Equipe de Apoio

Nicolle de Souza
Equipe de Apoio

Renan de Bonfim Pelepenko
Equipe de Apoio

COLABORAÇÃO TÉCNICA

Engº Alceu de Oliveira Maciel

Engº Glicério Trichês

Econª Joseane Maria Koerich

Engº Klaus Eduardo Mouta Wojcikiewicz

Bioº Newton Marcellino

Engº Paulo Eduardo Rocha de Carvalho

Engº Saulo de Castro S.Thiago

Engº Vitor Manuel Ribeiro Fonseca



SECRETARIA DA INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER/PR
DIRETORIA TÉCNICA
COORDENADORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Avenida Iguaçu, 420 – Rebouças
CEP 80230-020 – Curitiba – PR
Tel/Fax.: (41) 3304-8000
e-mail: dt.cpd@der.pr.gov.br

TÍTULO: MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS
TERRAPLENAGEM – TOMO I

Edição: 2023

Revisão: DER/PR / Consórcio APPE-VIAPONTE
Contrato: DER/PR / Consórcio APPE-VIAPONTE Nº 100/2021 DER/DT

Aprovado pelo Conselho Diretor em: 08/08/2023
Deliberação Nº 265/2023

APRESENTAÇÃO

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado Paraná, no âmbito da atualização e ampliação da documentação padronizada do Órgão, vem apresentar a 3ª edição do “Manual de Execução de Serviços Rodoviários” que, desde sua primeira edição, de 1991, teve como principal finalidade servir como referência aos engenheiros encarregados das obras de construção rodoviária, visando estabelecer critérios uniformes para a execução destas obras, adotando como referência, métodos advindos de sua experiência e de outros centros de tecnologia.

Com o objetivo de manter o “Manual de Execução de Serviços Rodoviários” o mais atualizado possível foi realizado uma atualização em 1996 e, no âmbito do Contrato para revisão e atualização da documentação técnica do DER/PR, o Manual foi também revisto e atualizado com a presente 3ª edição, aprovada em 2023.

Para tornar a consulta mais fácil, a presente edição do Manual é apresentada em Tomos da forma seguinte:

- TOMO I – Terraplenagem;
- TOMO II – Drenagem;
- TOMO III – Pavimentação;
- TOMO IV – Obras de Arte Especiais;
- TOMO V – Obras Complementares;
- TOMO VI – Sinalização e Segurança Rodoviária.

Tal como nas outras edições, o presente Manual objetiva expor, sob forma didática, os diversos conceitos ligados à técnica dos serviços rodoviários, fornecendo detalhes a respeito de aspectos particulares julgados mais importantes à boa concepção, fiscalização e execução de obras rodoviárias. Complementa em inúmeros pontos as “Especificações de Serviços Rodoviários” do DER/PR, sendo desejável que seu uso esteja associado, ainda, a outros documentos técnicos elaborados pelo DER/PR, a saber:

- a) Normas Gerais de Licitação;
- b) Álbum de Projetos-Tipo;
- c) Especificações de Materiais para Serviços Rodoviários;
- d) Especificações de Ensaios Tecnológicos para Serviços Rodoviários;
- e) Manual de Gerenciamento de Obras;
- f) Manual de Instruções Ambientais;
- g) Tabela de Preços Rodoviários.

Assim, o Manual de Execução de Serviços Rodoviários descreve um grande conjunto de regras, informações técnicas e orientações que se mostram de grande utilidade, não só para o acompanhamento dos vários trabalhos de natureza rodoviária lançados pelo DER/PR, mas também para o meio rodoviário brasileiro, tais como outros órgãos e associações, na implementação de seus programas.

A evolução tecnológica dos últimos 25 anos, trouxe inovações não só nos materiais e equipamentos, mas nos métodos de execução e, nesse sentido, tornou-se necessária a revisão do Manual, para que possa continuar a atender seus objetivos com essas inovações.

Nessas condições, a presente terceira edição promoveu ajustamentos nos textos, nas figuras e nos quadros, bem como uma reordenação de diversos trechos que compõem este documento, resultando num aprimoramento geral em relação a alguns aspectos sem, contudo, introduzir modificações conceituais significativas no conteúdo técnico.

Embora o presente seja um documento puramente técnico sobre a execução de obras rodoviárias, no TOMO I desta terceira edição foram inseridas algumas Notas Introdutórias que têm como objetivo dar uma ideia sobre a evolução das Infraestruturas Rodoviárias, sobre a Malha Rodoviária do Estado do Paraná, sobre a nomenclatura dada aos elementos rodoviários e Informações e Recomendações Gerais sobre o tema.

Ciente da importância da presente obra e do interesse geral em mantê-la sempre em sintonia com o desenvolvimento das tecnologias de pavimentação, o DER/PR acolhe



quaisquer comentários, observações e críticas pertinentes de leitores e especialistas, que possam subsidiar uma futura reedição, tão breve quanto ela se revelar necessária.

Portanto, o Manual de Execução de Serviços Rodoviários - 2023 é apresentado à comunidade rodoviária, esperando que os técnicos e profissionais que venham a utilizá-lo possam usufruir dos benefícios decorrentes, visando atingir a necessária uniformização e normatização de métodos e procedimentos.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| APRESENTAÇÃO..... | vii |
| SUMÁRIO..... | x |
| LISTA DE FIGURAS | xv |
| LISTA DE QUADROS | xviii |
| LISTA DE TABELAS..... | xix |
| A ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE INFRAESTRUTURAS | |
| RODOVIÁRIAS | xx |
| B AS INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS ATUAIS NO BRASIL..... | xxvi |
| C ELEMENTOS QUE CONSTITUEM UMA RODOVIA E SUA | |
| CARACTERIZAÇÃO..... | xxxvi |
| D INFORMAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE ORDEM GERAL..... | xlii |
| TOMO I - TERRAPLENAGEM | 1 |
| ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM..... | 2 |
| 1 SERVIÇOS PREPARATÓRIOS PARA O INÍCIO DOS TRABALHOS..... | 3 |
| 1.1 Planejamento da Obra e Definição do Plano de Trabalho | 3 |
| 1.1.1 Volume dos serviços a realizar e prazo de execução contratual..... | 3 |
| 1.1.2 Condicionamentos Ambientais e Arqueológicos | 4 |
| 1.1.3 Precipitação pluviométrica..... | 4 |
| 1.1.4 Apoio logístico | 4 |
| 1.1.5 Acessos e Caminhos de Serviço..... | 5 |
| 1.1.6 Interferências..... | 5 |
| 1.1.7 Sinalização Provisória e Segurança Operacional..... | 6 |
| 1.2 Serviços Preliminares ao Início da Terraplenagem..... | 6 |
| 1.2.1 Instalação do canteiro da obra | 6 |
| 1.2.2 Locação Topográfica do Traçado | 7 |
| 1.2.2.1 Elementos Planimétricos | 10 |
| 1.2.2.2 Elementos altimétricos..... | 11 |
| 1.2.2.3 Elementos de seção transversal..... | 12 |
| 1.2.3 Transporte dos equipamentos | 14 |
| 1.2.4 Construção de estradas de serviço e acesso às frentes de trabalho | 14 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.2.5 | Consolidação dos terrenos de fundação dos aterros | 15 |
| 1.2.6 | Drenagem das áreas alagadas..... | 15 |
| 1.2.7 | Remoção de obstáculos | 15 |
| 1.2.8 | Cruzamento com estradas existentes | 16 |
| 1.2.9 | Vedação da faixa de domínio | 16 |
| 2 | MOVIMENTAÇÃO DE SOLOS E TERRAPLENAGEM PROPRIAMENTE DITA..... | 17 |
| 2.1 | Trabalhos Iniciais..... | 17 |
| 2.1.1 | Marcação dos “off-sets” | 17 |
| 2.1.2 | Limpeza, desmatamento e destocamento da faixa de ocupação | 18 |
| 2.1.3 | Caracterização dos fatores que afetam a execução do desmatamento..... | 19 |
| 2.1.3.1 | Porte da vegetação..... | 20 |
| 2.1.3.2 | Terra Vegetal | 20 |
| 2.1.3.3 | Condições do solo | 20 |
| 2.1.3.4 | Topografia..... | 21 |
| 2.1.4 | Especificações dos serviços e da obra..... | 21 |
| 2.1.5 | Aspectos executivos e particularidades..... | 21 |
| 2.1.5.1 | Empurrador de árvores | 23 |
| 2.1.5.2 | Destocador | 24 |
| 2.1.5.3 | Ancinho..... | 25 |
| 2.1.6 | Outros elementos de obstrução | 25 |
| 2.1.7 | Relocação do eixo e dos “off-sets” | 26 |
| 2.2 | Seleção dos Equipamentos para Terraplenagem | 27 |
| 2.2.1 | Natureza do Solo..... | 28 |
| 2.2.2 | Topografia | 29 |
| 2.2.3 | Regime de chuvas..... | 29 |
| 2.2.4 | Volume a ser movimentado..... | 30 |
| 2.2.5 | Distância de transporte..... | 30 |
| 2.2.6 | Fator econômico..... | 31 |
| 2.3 | Descrição e Caracterização dos Equipamentos Principais a Utilizar..... | 31 |
| 2.3.1 | Trator de esteiras com lâmina | 31 |
| 2.3.1.1 | Utilização em escavação e transporte a curtas distâncias..... | 33 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1.2 | No espalhamento do material na ponta de aterro | 34 |
| 2.3.1.3 | Na raspagem | 34 |
| 2.3.1.4 | No preparo das áreas de corte e de aterro | 34 |
| 2.3.1.5 | Na escarificação | 37 |
| 2.3.1.6 | No emprego como trator "pusher"..... | 37 |
| 2.3.1.7 | No acabamento de taludes..... | 38 |
| 2.3.1.8 | Nas escavações em trincheira..... | 38 |
| 2.3.1.9 | Na escavação em valas e valetas | 39 |
| 2.3.1.10 | Na operação conjunta de duas máquinas | 39 |
| 2.3.2 | "Motoscrapers" | 40 |
| 2.3.2.1 | Utilização do "motoscraeper" convencional | 42 |
| 2.3.2.2 | Utilização do "motoscraeper" com dois motores..... | 43 |
| 2.3.2.3 | Utilização do "scraeper" rebocado por trator de esteiras | 43 |
| 2.3.2.4 | Uniformização da frota..... | 44 |
| 2.3.2.5 | Técnicas de carregamento | 45 |
| 2.3.2.6 | Área de corte | 45 |
| 2.3.2.7 | Assistência de rampa - carregamento em declive | 47 |
| 2.3.2.8 | Carregamento em materiais arenosos..... | 47 |
| 2.3.2.9 | Carregamento em faixas alternadas | 48 |
| 2.3.2.10 | Pré-escarificação..... | 48 |
| 2.3.2.11 | Adensamento da carga..... | 48 |
| 2.3.2.12 | Carga..... | 48 |
| 2.3.2.13 | Espessura do corte..... | 49 |
| 2.3.2.14 | Travamento | 49 |
| 2.3.2.15 | Conservação da área de corte | 49 |
| 2.3.2.16 | Transporte | 50 |
| 2.3.2.17 | Resistência de rolamento | 50 |
| 2.3.2.18 | Conservação das pistas | 51 |
| 2.3.2.19 | Drenagem..... | 52 |
| 2.3.2.20 | Largura da pista..... | 52 |
| 2.3.2.21 | Visibilidade | 53 |
| 2.3.2.22 | Velocidade..... | 53 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2.23 Descarga | 53 |
| 2.3.3 Escavadeira com Caçamba Frontal “Shovel” | 54 |
| 2.3.4 Escavadeiras com Caçamba “Dragline” (Arrasto) | 56 |
| 2.3.5 Escavadeiras com Caçamba “Clamshell” (Mandíbulas) | 59 |
| 2.3.6 Escavadeiras com Caçamba Retroescavadeira (“Back-Shovel”) | 59 |
| 2.3.7 Escavadeiras de Acionamento Hidráulico | 61 |
| 2.3.8 Carregadeiras de Esteiras | 63 |
| 2.3.9 Carregadeiras de Pneus | 64 |
| 2.3.10 Motoniveladora | 66 |
| 2.3.11 Unidades Transportadoras | 68 |
| 2.3.12 Equipamento de Compactação | 71 |
| 2.3.12.1 Rolos pé-de-carneiro | 71 |
| 2.3.12.2 Rolos de pneus | 73 |
| 2.3.12.3 Rolos vibratórios | 74 |
| 2.3.12.4 Grades de Disco | 75 |
| 2.3.12.5 Caminhões pipa irrigadores | 75 |
| 2.3.13 Equipamentos para desmonte de rocha | 76 |
| 2.3.13.1 Rompedores Hidráulicos | 76 |
| 2.3.13.2 Carreta de Perfuração (Rockdrill) | 77 |
| 2.3.14 Compactadores Manuais | 77 |
| 2.4 Cortes | 78 |
| 2.4.1 Corte e transporte de solos para aterros ou “bota fora” | 78 |
| 2.4.1.1 Corte de material de 1ª categoria | 79 |
| 2.4.1.2 Escavação de material de 2ª categoria | 80 |
| 2.4.1.3 Desmonte de rochas – materiais de 3ª categoria | 81 |
| 2.4.1.3.1 Plano de fogo | 82 |
| 2.4.1.3.2 Ciclo de fogo | 84 |
| 2.4.1.3.3 Segurança da operação | 84 |
| 2.4.1.3.4 Equipamentos específicos | 85 |
| 2.4.1.3.5 Limpeza e remoção da rocha extraída | 86 |
| 2.4.2 Controle de execução dos taludes de corte | 87 |
| 2.4.3 Escavação de materiais de empréstimo e seu transporte para aterros | 89 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.4 Escavação ou remoção de solos moles e sua substituição..... | 90 |
| 2.4.4.1 Retirada dos solos de má qualidade por escavação ou remoção..... | 92 |
| 2.4.4.2 Reenchimento das valas com material importado | 93 |
| 2.4.4.3 Remoção do material instável por deslocamento | 95 |
| 2.4.4.3.1 Deslocamento por sobrecarga | 95 |
| 2.4.4.3.2 Deslocamento por explosivos | 97 |
| 2.4.4.4 Outras soluções..... | 99 |
| 2.4.4.4.1 Construção de drenos verticais de areia..... | 99 |
| 2.4.4.4.2 Construção de estivas de madeira..... | 101 |
| 2.4.4.4.3 Construção de bermas de equilíbrio | 102 |
| 2.4.4.4.4 Utilização de geotêxteis | 103 |
| 2.4.4.4.5 Utilização de “geogrades” | 103 |
| 2.5 Aterros | 104 |
| 2.5.1 Execução e compactação de aterros | 104 |
| 2.5.1.1 A Importância da compactação dos Aterros | 105 |
| 2.5.1.2 Aspectos construtivos e particularidades..... | 106 |
| 2.5.1.3 Compactação dos aterros..... | 108 |
| 2.5.1.3.1 Particularidades dos solos ante a compactação | 109 |
| 2.5.1.3.2 Mecânica da compactação | 110 |
| 2.5.1.3.3 Equipamentos de compactação..... | 111 |
| 2.5.2 Execução de aterros com materiais rochosos..... | 113 |
| 2.5.3 Execução de aterros sobre solos moles..... | 115 |
| 2.5.4 Execução de aterros junto a encontros com obras-de-arte especiais | 115 |
| 2.5.5 Controle de execução dos taludes de aterro | 117 |
| 2.6 Taludes | 118 |
| 2.6.1 Estabilidade dos taludes..... | 119 |
| 2.6.2 Escalonamento dos taludes | 121 |
| 2.6.3 Acabamento final e cuidados dos taludes de corte e de aterro | 123 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 124 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1 – Via Ápia | xx |
| Figura 2 – Matrizes de Transporte em diversos países do Mundo (2019)..... | xxv |
| Figura 3 – Sistemas funcionais e funções básicas | xxvii |
| Figura 4 – Exemplo de Via Expressa..... | xxix |
| Figura 5 – Exemplo de Via Classe I-A | xxx |
| Figura 6 – Exemplo de Via Classe I-B | xxx |
| Figura 7 – Exemplo de Via Classe II..... | xxxii |
| Figura 8 – Exemplo de Via Classe III..... | xxxii |
| Figura 9 – Exemplo de Via Classe IV-A..... | xxxii |
| Figura 10 – Exemplo de Via Classe IV-B..... | xxxii |
| Figura 11 – Mapa Rodoviário da Rede Viária do Estado do Paraná | xxxiii |
| Figura 12 – Plataforma de uma rodovia com pista única | xxxvii |
| Figura 13 – Plataforma de uma rodovia com pista dupla no mesmo nível..... | xxxvii |
| Figura 14 – Plataforma de uma rodovia com pista dupla em diferentes níveis..... | xxxvii |
| Figura 15 – Amarração em V..... | 13 |
| Figura 16 – Seção transversal de corte | 16 |
| Figura 17 – Seção transversal de aterro..... | 17 |
| Figura 18 – Desmatamento – Corte em paralelo | 22 |
| Figura 19 – Desmatamento – Corte em retângulo..... | 23 |
| Figura 20 – Empurrador de árvores..... | 24 |
| Figura 21 – Destocador | 24 |
| Figura 22 – Ancinho..... | 25 |
| Figura 23 – Trator de Esteira com Lâmina..... | 32 |
| Figura 24 – Corte transversal com plataforma horizontal | 35 |
| Figura 25 – Trator com lâmina inclinável | 36 |
| Figura 26 – Corte com rampa inicial | 36 |
| Figura 27 – Escavações com trator de lâmina..... | 39 |
| Figura 28 – Operação conjunta de duas máquinas | 40 |
| Figura 29 – Motoscraeper..... | 40 |
| Figura 30 – Motoscraeper com dois motores..... | 41 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31 – Scraper rebocado | 42 |
| Figura 32 – Carregamento do “motoscaper” com auxílio do trator “pusher” | 45 |
| Figura 33 – Operação em Lançadeira | 46 |
| Figura 34 – Operação em Série..... | 46 |
| Figura 35 – Carregamento em faixas alternadas | 48 |
| Figura 36 – Escavadeira com caçamba frontal..... | 54 |
| Figura 37 – Técnica de Terraceamento | 55 |
| Figura 38 – Escavadeira com caçamba Dragline | 56 |
| Figura 39 – Carregamento Alternado | 57 |
| Figura 40 – Escavadeira com caçamba Dragline | 58 |
| Figura 41 – Escavadeiras com Caçamba “Clamshell” | 59 |
| Figura 42 – Escavadeiras com Caçamba back shovel | 60 |
| Figura 43 – Escavadeiras com Caçamba Retroescavadeira | 60 |
| Figura 44 – Escavadeiras de Acionamento Hidráulico | 61 |
| Figura 45 – Escavadeiras trabalhando em níveis diferentes | 62 |
| Figura 46 – Tráfego de caminhões em dois planos diferentes | 63 |
| Figura 47 – Carregadeira de Esteiras | 63 |
| Figura 48 – Carregadeira de Pneu | 65 |
| Figura 49 – Motoniveladora | 66 |
| Figura 50 – Angulação da lâmina | 67 |
| Figura 51 – Caminhão basculante comum | 69 |
| Figura 52 – Caminhão “fora de estrada” | 69 |
| Figura 53 – Rolo pé-de-carneiro | 72 |
| Figura 54 – Rolo de Pneus | 73 |
| Figura 55 – Rolo vibratório..... | 74 |
| Figura 56 – Grades de disco..... | 75 |
| Figura 57 – Caminhão pipa..... | 76 |
| Figura 58 – Rompedores hidráulicos | 76 |
| Figura 59 – Carreta de perfuração..... | 77 |
| Figura 60 – Compactador manual | 78 |
| Figura 61 – Plano de Fogo | 83 |
| Figura 62 – Plano de fogo mostrando a sequência da explosão | 83 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 63 – Controle de taludes de cortes – Esquadro..... | 87 |
| Figura 64 – Marcação de taludes de cortes com esquadros | 88 |
| Figura 65 – Obtenção de materiais de empréstimo tipo “falsos aterros” | 90 |
| Figura 66 – Remoção de solos moles..... | 92 |
| Figura 67 – Deslocamento por sobrecarga..... | 96 |
| Figura 68 – Deslocamento por explosivos | 98 |
| Figura 69 – Deslocamento por explosivos | 98 |
| Figura 70 – Drenos verticais de areia | 100 |
| Figura 71 – Estivas de madeira | 102 |
| Figura 72 – Bermas de equilíbrio..... | 103 |
| Figura 73 – Implantação de aterros | 106 |
| Figura 74 – Aterro em meia encosta..... | 107 |
| Figura 75 – Marcação de taludes de aterros com esquadros..... | 118 |
| Figura 76 – Marcação de taludes de aterros – Régua..... | 118 |
| Figura 77 – Estabilidade de taludes – Desprendimento..... | 120 |
| Figura 78 – Estabilidade de taludes – Escorregamento | 120 |
| Figura 79 – Estabilidade de taludes – Rastejo..... | 121 |
| Figura 80 – Seção transversal de um corte escalonado..... | 122 |
| Figura 81 – Vista longitudinal de um corte escalonado | 122 |



LISTA DE QUADROS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|
| Quadro 1 – Parâmetros para classificação funcional de rodovias | xxviii |
| Quadro 2 – Diminuição da velocidade com o aumento do afundamento..... | 51 |



LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabela 1 – Resumo da malha rodoviária paranaense – Jurisdição | xxxiv |
| Tabela 2 – Resumo das Rodovias Federais – Responsabilidade..... | xxxiv |
| Tabela 3 – Resumo das Rodovias Estaduais – Responsabilidade..... | xxxv |
| Tabela 4 – Total de rodovias administradas pelo DER/PR..... | xxxv |
| Tabela 5 – Total de rodovias concedidas pelos Governos Federal e Estadual | xxxv |

A ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

A.1 Breves considerações sobre a evolução das infraestruturas rodoviárias no Mundo

Mostra a História que desde as civilizações mais antigas os comerciantes, para fazer face às trocas de mercadorias entre produtores e consumidores, tiveram necessidade de criar caminhos para circular com os meios de transporte da época. Prova disso foram os romanos que, há dois milênios atrás, já tinham caminhos construídos com uma alguma técnica, como se pode ver, como exemplo, na figura a seguir, a célebre “Via Ápia”.

Figura 1 – Via Ápia



Fonte: <https://www.romapravoce.com/via-apia-antiga-roma/>

O transporte, inserido no processo produtivo e de consumo com destacada função na atividade meio, posiciona-se com relevância no contexto do desenvolvimento global do Brasil, a par de constituir-se em grande indutor ao desenvolvimento socioeconômico e em fator de segurança e de integração político/administrativa.

As primeiras rodovias construídas no Brasil foram abertas durante o Segundo Reinado, governado pelo imperador D. Pedro II, das quais fazia parte a Estrada da Graciosa, no Paraná, que foi concluída em 1873 para fazer a integração do Planalto Curitibano com o Litoral.

Com o advento da República foi elaborado o Plano da Comissão de 1890, que estabelecia as competências federais e estaduais no transporte ferroviário e fluvial, prevendo futuras ligações destes modais. (Ministério dos Transportes - Planos de Viação - Evolução Histórica). Seguiu-se um período com poucas ações governamentais para organização dos transportes nacionais.

Desde 1838, se reconhecia que a ferrovia e a navegação marítima e fluvial eram os meios, por excelência, de transportes a baixo custo, para o tráfego de produtos entre grandes distâncias. No planejamento geral, a primazia ainda era para a ferrovia, mesmo com as campanhas em prol das rodovias iniciadas já na década de 1920, através de diversas associações particulares destinadas ao estudo e à divulgação do rodoviarismo.

Durante o Governo de Washington Luís (1926-1930) ocorreu o grande impulso para o desenvolvimento do rodoviarismo brasileiro. Com o Plano Catrambi foram estabelecidas as bases da Rede Rodoviária do Brasil, o primeiro do gênero. Nele estavam categorizadas duas classes de rodovias:

- a) Estradas Federais ou troncais de penetração em número de 17; e
- b) Estradas Estaduais ou de união dos estados em número de 12.

Em 1927, foi criado o Fundo Especial para a Construção e Conservação de Estradas de Rodagem, um imposto adicional sobre os combustíveis e veículos importados. Também nesta época foram construídas as antigas Rio-São Paulo e Rio-Petrópolis, inauguradas em agosto de 1928, trechos iniciais dos grandes troncos ligando todo o Oeste-Sul com todo Norte-Este do Brasil.

A Rio-Petrópolis foi a primeira rodovia asfaltada do país e considerada um marco da engenharia nacional. Muitos populares pensavam que as obras foram realizadas por norte-americanos e outros estrangeiros. A Rio-São Paulo reduziu o tempo de viagem terrestre rodoviária entre as duas principais cidades do país, de 33 dias (tempo da primeira viagem de automóvel completada em 1908) para 14 horas.

Ainda em 1927, Luiz Schnoor, Ministro da Viação e Obras Públicas, aprimorou o Plano de 1926, com base na futura capital do país no planalto central em Goiás, imaginando um sistema de rodovias irradiando deste ponto central para as demais regiões.

Para o presidente Washington Luís, além de "abrir estradas", era preciso "construir estradas para todas as horas do dia e para todos os dias do ano" e, ainda: a rodovia seria um elo com as ferrovias.

Em 1930, início do governo de Getúlio Vargas, existiam 2.255 km de estradas de rodagem e 5.917 km de estradas carroçáveis.

A Constituição de 1934 ainda priorizava a navegação, mas já preceituava o estabelecimento de um plano nacional ferroviário e de estradas de rodagem, e propunha regulamentar o tráfego rodoviário interestadual.

O Plano Geral de Viação Nacional de 1934, criado no Governo Getúlio Vargas (1930-1937), foi o primeiro projeto nacional para os transportes aprovado oficialmente, apesar de ainda ter uma grande influência dos anteriores. Era de natureza multimodal, mas a prioridade conferida pelo governo à modalidade rodoviária já começava, desde então, a se revelar.

No ano de 1937 foi fundado o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e na década de 1940 começaram a ser implementados os Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais, os quais tiveram a tarefa de desenvolver a construção das principais redes rodoviárias do país, cujo incremento se deu entre as décadas de 1960 a 1990.

A.2 Breves considerações sobre a evolução das infraestruturas rodoviárias no Estado do Paraná

A abertura de estradas no Paraná está vinculada à história da ocupação e do povoamento do território brasileiro, iniciada no século XVI. Dos caminhos indígenas e coloniais, terrestres e marítimos, aos primeiros planejamentos privados e públicos voltados a criar

condições de comunicações a garantir a unidade geopolítica do imenso espaço redescoberto pelos europeus, foi um longo progresso.

Nessa época, a economia paranaense baseada principalmente na produção e comercialização da erva-mate, madeira e pecuária, tinha como principais meios de comunicação as ferrovias e as estradas carroçáveis. Essas vias constituíam uma forma de atender à circulação de riquezas, já que o governo não apresentava condições de investir no prolongamento das vias férreas. As estradas de rodagem, ligando as zonas mais povoadas e as zonas produtoras às estradas ferroviárias, passavam por Guarapuava, Palmeira, Lapa, Bocaiúva do Sul, Jacarezinho, Colônia Mineira e Vila do Piraí.

A Estrada da Graciosa - PR-410, ou Caminho da Graciosa foi o primeiro dos cinco caminhos coloniais, em território paranaense que atravessaram a barreira natural da Serra do Mar, integrando o litoral e o Planalto Curitibano. As primeiras notícias deste caminho datam de 1721.

Essa estrada, que levou vinte anos para ser construída, foi concluída em 1873. Trinta anos depois, foi reconstruída em pouco mais de dois anos, marcando os primeiros ensaios de pavimentação. Foi por ela que se transportou o mate, um dos principais produtos de exportação que saía dos Campos Gerais e Guarapuava, passava por Curitiba e seguia pela Graciosa em direção aos portos de embarque.

A grande expansão do rodoviarismo do Paraná ocorreu até os anos 80, com pesados investimentos e programas na área de construção. Só em 1986 o Estado do Paraná ampliou sua malha pavimentada em cerca de 3.000 Km.

A rede rodoviária do Paraná, estruturada em três níveis distintos, federal, estadual e municipal, possuía, em 2020, uma extensão de aproximadamente 120,9 mil quilômetros. Desse total, 104,9 mil quilômetros se referem às rodovias municipais, 12,2 mil quilômetros às rodovias estaduais e 3,8 mil quilômetros às federais.

A.3 Breves considerações sobre o papel das infraestruturas rodoviárias nos transportes em geral

Em um país de características continentais como o Brasil, um transporte integrado equilibrado é condição prévia para o desenvolvimento sustentável. A intermodalidade deixou de ser uma alternativa para se tornar um requisito essencial à competitividade do Brasil no cenário internacional.

O crescimento econômico de uma nação está diretamente relacionado às facilidades de mobilidade e acessibilidade de sua população em termos de deslocamento urbano, entre regiões e países, bem como ao escoamento de sua produção de mercadorias de maneira que cheguem aos pontos de consumo, seja no contexto nacional ou internacional. Neste sentido os custos de operação podem ser decisivos na competitividade desses produtos. Já no primeiro Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT - 2005) estimava-se que os custos logísticos evitáveis, caso a matriz de transportes do Brasil fosse mais equilibrada, seriam da ordem de US\$ 2,5 bilhões por ano, considerando a redução dos custos de transporte para determinadas cargas, os fretes poderiam ser reduzidos em 62% para o modal hidroviário e de 37% no ferroviário em comparação ao rodoviário.

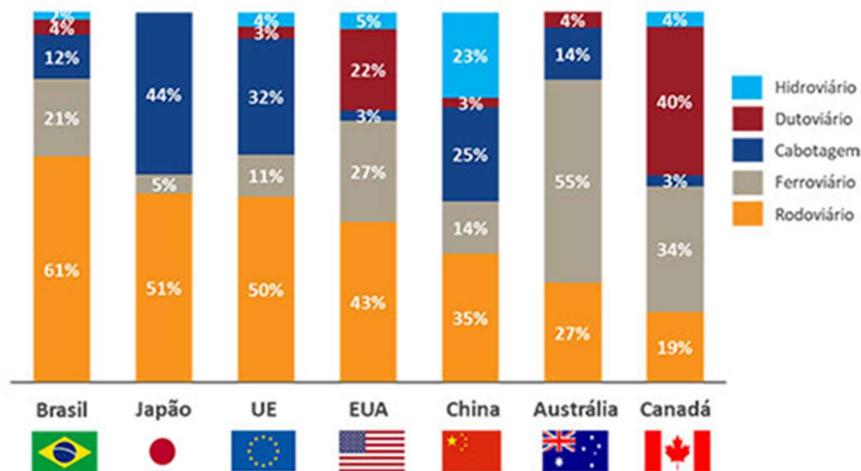
Em 2019, o Brasil movimentou 61% de suas cargas através das rodovias, considerando os TKU's (tonelada-quilômetro útil) movimentados. No mesmo período, 21% das cargas seguiram pelo modal ferroviário, 12% por cabotagem, 4% por dutos, 2% por hidrovias e menos de 1% pelo modal aéreo.

Comparando com a matriz de transportes de outros países, podemos perceber o quão desequilibrado é a utilização dos diferentes modais para transporte de cargas no Brasil.

Considerando o modal ferroviário, por exemplo: a Austrália movimenta 55% de suas cargas através deste modal, enquanto o Canadá movimenta 34% e os Estados Unidos 27%. Já o modal Aquaviário (cabotagem + hidroviário) é amplamente utilizado na China, onde 48% dos TKU's movimentados no país utilizam rios e mares, além de também ser bastante utilizado no Japão (44%) e na União Europeia (36%). Dutos são bastante utilizados no

Canadá (40%) e nos Estados Unidos (22%). O único modal em que o Brasil se destaca é, de fato, o modal rodoviário, em que o Brasil atinge índices muito superiores a países e regiões como o Japão (51%), União Europeia (50%), Estados Unidos (43%) e China (35%). O comparativo das matrizes pode ser visualizado na figura a seguir¹.

Figura 2 – Matrizes de Transporte em diversos países do Mundo (2019)



Fonte: <https://www.ilos.com.br/matriz-de-transportes-do-brasil-a-espera-dos-investimentos/>

Destas breves considerações sobre infraestruturas rodoviárias pode concluir-se, que o planejamento de transportes multimodal no Brasil praticamente nunca existiu. No início do século XIX, a matriz dos transportes estava desequilibrada porque era essencialmente constituída pelos modais ferroviário e aquaviário. Desde o início do século XIX até quase ao final do século XX, com predominância das décadas de 40 até 90 do século XX, o Brasil investiu fundamentalmente no modal rodoviário, sem dar a devida atenção aos modais ferroviário e aquaviário existentes, e entramos no século XXI com a matriz desequilibrada, desta vez por uma predominância excessiva do modal rodoviário.

Hoje o Brasil está de novo tentando equilibrar a sua Matriz Intermodal de Transportes, através de concessões ao setor privado, planejando a construção de cerca de 7.000 km de ferrovias no sentido de melhorar a competitividade do Brasil no comércio internacional.

¹ ALVARENGA, Henrique. Matriz de transporte do Brasil à espera de investimentos.2020. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/matriz-de-transportes-do-brasil-a-espera-dos-investimentos/>. Acesso em: 21/07/2022.

B AS INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS ATUAIS NO BRASIL

B.1 Caracterização atual das Malhas Rodoviárias

As infraestruturas rodoviárias no Brasil tiveram uma evolução notável a partir de 1960, por um lado com o crescimento significativo do número de veículos e, por outro lado, com o aumento da utilização dos veículos pelas populações, que passou a ser muito mais frequente.

Nestes termos a administração federal e as administrações estaduais foram forçadas a acompanhar esse crescimento do tráfego, primeiro com uma expansão das malhas rodoviárias e mais tarde com uma melhor gestão das mesmas, estabelecendo uma hierarquização das diversas rodovias que constituem a malha, de forma a diferenciar a sua função. As rodovias principais passaram a privilegiar o tráfego de passagem perto dos centros urbanos mais significativos, não só para não perturbarem o tráfego das vias locais e coletoras, mas também para permitir que os veículos que não se destinavam a esses centros, pudessem chegar muito mais rápido aos locais para onde se dirigiam.

Embora a classificação funcional ou técnica das rodovias deva ser bem avaliada durante a elaboração do Projeto Executivo, pretende-se dar neste documento uma ideia dessas classificações.

B.2 Classificação Funcional de Rodovias

A Associação Americana dos Órgãos Rodoviários e de Transporte (*American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO*) desenvolveu um sistema de classificação de rodovias, associando o tipo de serviço oferecido por uma rodovia a partir das funções básicas de mobilidade e de acessibilidade que propicia.

Essas duas funções conflitavam-se na medida que para uma rodovia proporcionar uma boa mobilidade, fazem-se necessários o controle e a limitação de acesso às propriedades

lindeiras. Ao mesmo tempo, na medida que existe a necessidade de fornecer acesso à essas propriedades, a mobilidade fica prejudicada.

O conceito no atendimento dessas funções básicas de mobilidade e acessibilidade forma a base conceitual para a classificação funcional, agrupando as rodovias hierarquicamente em subsistemas funcionais, de acordo com as características básicas dos serviços oferecidos.

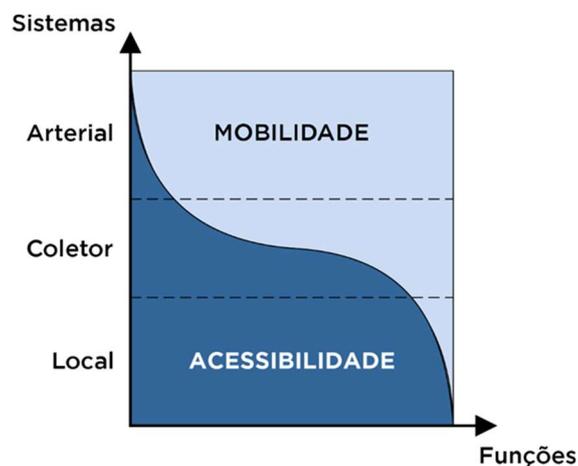
É importante destacar que também devem ser considerados no momento da classificação funcional, a densidade e o tipo de solo, distinguindo-se entre áreas urbanas e rurais.

Os sistemas funcionais adotados na classificação funcional são:

- a) Sistema arterial: que compreende as rodovias cuja função principal é a de propiciar mobilidade;
- b) Sistema coletor: compreendendo as rodovias que propiciam um misto de funções de mobilidade e de acessibilidade;
- c) Sistema local: que abrange as rodovias cuja principal função é a de oferecer acesso.

A figura apresentada a seguir, relaciona os sistemas funcionais com as funções básicas das rodovias.

Figura 3 – Sistemas funcionais e funções básicas



Fonte: Lee, Shu Han, 2013.

Os sistemas arterial, coletor e local podem ser divididos em subsistemas, agrupando algumas características e parâmetros de referência que as rodovias devem atender.

A seguir é apresentado o Quadro 1, com o resumo das características e parâmetros de referência de cada subsistema funcional.

Quadro 1 – Parâmetros para classificação funcional de rodovias

| SISTEMAS FUNCIONAIS | | FUNÇÕES BÁSICAS | PARÂMETROS DE REFERÊNCIA |
|---------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ARTERIAL | PRINCIPAL | <ul style="list-style-type: none"> • Viagens internacionais e inter-regionais. • Elevados níveis de mobilidade. • Formar sistema contínuo na região. • Articulação com rodovias similares em regiões vizinhas. • Conectar capitais e cidades com população superior a 150.000 hab. | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 2,0% a 3,0% da rede. • Serviço: 30% a 35% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 120 km. • Velocidade de operação: 60 km/h a 120 km/h. • Tráfego médio diário: 1.000 vpd. |
| | PRIMÁRIO | <ul style="list-style-type: none"> • Viagens inter-regionais e interestaduais. • Atender função essencial de mobilidade. • Formar sistema contínuo na região. • Conectar cidades com população média de 50.000 hab. | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 1,5% a 3,5% da rede. • Serviço: 15% a 20% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 80 km. • Velocidade de operação: 50 km/h a 100 km/h • Tráfego médio diário: 500 vpd. |
| | SECUNDÁRIO | <ul style="list-style-type: none"> • Viagens intraestaduais e interestaduais não servidas pelos sistemas superiores. • Formar sistema contínuo com rodovias dos sistemas superiores, atendendo função essencial de mobilidade. • Conectar cidades com população superior a 10.000 hab. | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 2,5% a 5,0% da rede. • Serviço: 10% a 20% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 60 km. • Velocidade de operação: 40 km/h a 80 km/h • Tráfego médio diário: 250 vpd. |
| COLETOR | PRIMÁRIO | <ul style="list-style-type: none"> • Viagens intermunicipais. • Atender função de mobilidade e de acesso a geradores de tráfego (portos, mineração, parques turísticos, produção agrícola etc.). • Conectar cidades com população superior a 5.000 hab. | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 4,0% a 8,0% da rede. • Serviço: 8% a 10% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 50 km. • Velocidade de operação: 30 km/h a 70 km/h • Tráfego médio diário: 150 vpd. |
| | SECUNDÁRIO | <ul style="list-style-type: none"> • Ligar áreas servidas pelo sistema coletor primário ou pelo sistema arterial. • Acesso a grandes áreas de baixa densidade populacional. • Conectar centros com população superior a 2.000 hab. e sedes municipais não servidas por sistemas superiores. | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 10,0% a 15,0% da rede. • Serviço: 7% a 10% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 35 km. • Velocidade de operação: 30 km/h a 60 km/h • Tráfego médio diário: 50 vpd. |
| LOCAL | | <ul style="list-style-type: none"> • Viagens intramunicipais. • Acesso de pequenas localidades e áreas rurais às rodovias de sistemas superiores | <ul style="list-style-type: none"> • Extensão: 65,0% a 80,0% da rede. • Serviço: 5% a 30% dos vpd.km. • Extensão média de viagens: 20 km. • Velocidade de operação: 20 km/h a 50 km/h • Tráfego médio diário: 10 vpd. |

Fonte: Lee, Shu Han, 2013.

B.3 Classificação Técnica das Rodovias

A classificação técnica das rodovias permite a definição de características geométricas e da configuração espacial que as rodovias deverão ser projetadas para atender satisfatoriamente à demanda que a solicitarão e, conseqüentemente, às funções a que se destinam.

A classificação técnica de uma rodovia é feita segundo critérios de volume de tráfego a ser atendido e a orografia da região atravessada.

Estão estabelecidas cinco classes técnicas para o projeto de rodovias rurais, quais sejam:

a) **Via Classe 0 – Expressa ou Freeway:** Rodovia do mais elevado padrão técnico, com controle total de acesso, devendo possuir, no mínimo, pista dupla de duas faixas de tráfego por sentido. Esta classe é adotada: quando a função absolutamente preponderante da rodovia for a de atender à demanda do tráfego de passagem por uma região (função mobilidade), sem maiores considerações quanto ao atendimento do tráfego local e das propriedades lindeiras (função acessibilidade) que, por hipótese, devem ser atendidas por outras vias; quando há interferência recíproca entre atividades humanas nas propriedades lindeiras ou áreas vizinhas à faixa de domínio (pedestres, paradas de ônibus, tráfego local), e o fluxo de tráfego direto causar atritos indesejáveis, sob aspectos operacionais e de segurança (controle do uso do solo).

Figura 4 – Exemplo de Via Expressa



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

Quando os volumes de tráfego forem elevados e os custos operacionais o justificarem

(geralmente não inferiores àqueles que requerem uma rodovia classe I-A).

b) **Via Classe I-A** - Rodovia com pista dupla, controle de acesso parcial e com número total de faixas por pista que não deve superar três. Esta classe é adotada: quando a função absolutamente preponderante da rodovia for a de atender à demanda do tráfego de passagem por uma região (função mobilidade), mas permitindo atendimento a algum tráfego local e algumas propriedades lindeiras (fábricas, aglomerados habitacionais etc.) que deveriam ser atendidas por outras vias. Deverá ser adotada quando o volume de tráfego previsto reduzir o nível de serviço em uma rodovia de pista simples abaixo do nível “C”.

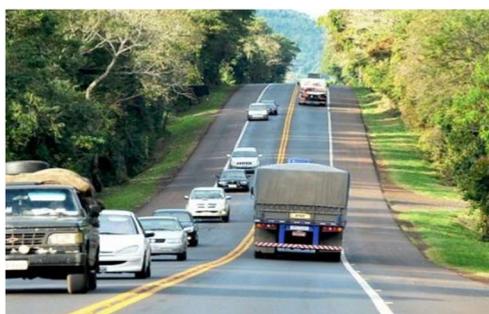
Figura 5 – Exemplo de Via Classe I-A



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

c) **Via Classe I-B** - Rodovia de pista simples com acostamentos, projetada para um limite inferior de tráfego de 200 veículos horários bidirecionais ou um volume médio diário bidirecional de 1.400 veículos mistos e para um limite superior igual ao requerido no caso da classe I-A.

Figura 6 – Exemplo de Via Classe I-B



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

Via Classe II - Rodovia de pista simples com acostamento, projetada para o 10º ano, para um limite inferior de tráfego médio diário bidirecional de 700 veículos mistos e para um limite superior de tráfego médio diário bidirecional de 1.400 veículos mistos.

Figura 7 – Exemplo de Via Classe II



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

d) **Via Classe III** - Rodovia de pista simples, projetada para o 10º ano, para um limite inferior de tráfego médio diário bidirecional de 300 veículos mistos e para um limite superior de tráfego médio diário bidirecional de 700 veículos mistos.

Figura 8 – Exemplo de Via Classe III



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

e) **Via Classe IV A** - Rodovia de pista simples, frequentemente dotada apenas de revestimento primário, suportando tráfego médio diário, no ano de abertura, compreendido entre 50 veículos e 200 veículos.

Figura 9 – Exemplo de Via Classe IV-A



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

f) **Via Classe IV B** - Rodovia simples suportando tráfego médio diário no ano de abertura inferior a 50 veículos. Ex.: Rodovias pioneiras, estradas de serviço, estradas agrícolas.

Figura 10 – Exemplo de Via Classe IV-B



Fonte: Costa, Glauber Carvalho, 2020.

B.3 A malha rodoviária atual do Estado do Paraná (2020)

Tendo em consideração o alto nível técnico atingido pelo DER/PR desde as décadas de 1950/60 o Estado do Paraná dispõe hoje de uma malha rodoviária moderna e eficiente nas suas características técnicas, tendo sido um dos primeiros órgãos rodoviários estaduais a concessionar parte da sua malha rodoviária para o setor privado, que chegou a 2.519,78 km em 2020 (1.809,00 km de rodovias federais e 710,78 km de rodovias estaduais).

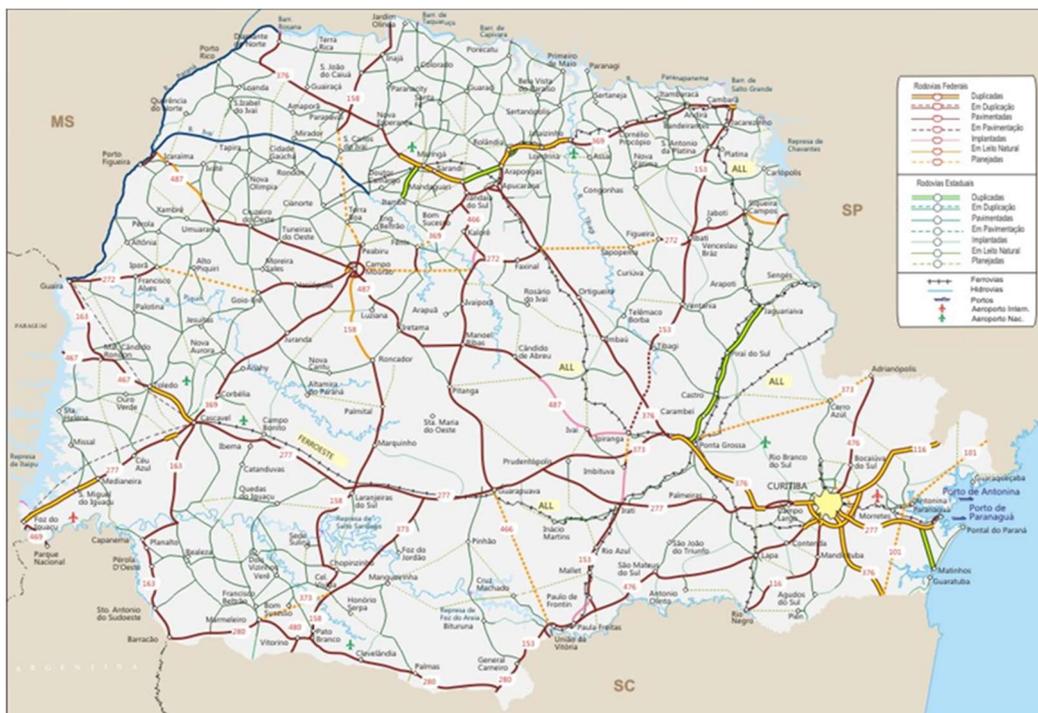
Hoje a Malha Rodoviária de jurisdição federal e estadual do Paraná conta com um total de 16.081,83 km de rodovias, sendo 1.519,67 km de rodovias não pavimentadas e 14.216,91 km de rodovias pavimentadas.

Nas Tabelas 1 a 5, apresentadas mais à frente, mostram-se como estão distribuídas as extensões de rodovias da Malha Estadual Paranaense de acordo com a responsabilidade institucional pela sua administração.

O mapa que se segue mostra a malha rodoviária do Estado do Paraná com uma adequada hierarquização das suas rodovias, segundo a sua função e fluxos de tráfego.

O Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR), em parceria com a Companhia de Tecnologia da Informação e Comunicação do Paraná (Celepar), lançou o Mapa Interativo do Sistema Rodoviário Estadual, o GeoDER. O mapa interativo traz todas as rodovias identificadas pela denominação oficial, bem como pelos códigos utilizados no Sistema Rodoviário Estadual (SRE), documento oficial que organiza a malha rodoviária paranaense.

Figura 11 – Mapa Rodoviário da Rede Viária do Estado do Paraná



Fonte: <http://der.mapas.pr.gov.br/>

É possível visualizar também as divisões entre regionais do DER/PR, os pontos de início e fim de cada trecho, a situação de cada rodovia (duplicada, pavimentada, e não

pavimentada, e se está em andamento a pavimentação ou duplicação).

Trata-se de uma ferramenta gratuita que traz detalhes sobre todas as rodovias estaduais, federais e concessionadas que compõem a malha viária do Paraná, com base nas informações geográficas do DER/PR.

O GeoDER apresenta, ainda, dados complementares como a localização de postos da Polícia Rodoviária Estadual e Federal, de balsas, portos, aeroportos, ferrovias, povoados, municípios e seus limites. Ele pode ser acessado pelo portal do DER/PR ou diretamente no link <http://der.mapas.pr.gov.br/>.

Tabela 1 – Resumo da malha rodoviária paranaense – Jurisdição

| JURISDIÇÃO | NÃO PAVIMENTADA (NPV) (km) | PAVIMENTADA (km) | | | EM OBRAS (km) | | | TOTAL (km) |
|---------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | PISTA SIMPLES (PAV) | PISTA DUPLA (DUP) | TOTAL PAVIMENTADA | PISTA SIMPLES (EOP) | PISTA DUPLA (EOD) | TOTAL EM OBRAS | |
| Rodovias Federais | 1,61 | 2.762,98 | 972,94 | 3.735,92 | 64,90 | 58,07 | 122,97 | 3.860,50 |
| Rodovias Estaduais | 1.518,06 | 10.100,98 | 380,01 | 10.480,99 | 179,90 | 42,38 | 222,28 | 12.221,33 |
| Rodovias Municipais | 97.874,79 | 7.006,33 | 7,58 | 7.013,91 | - | - | - | 104.861,70 |
| TOTAL DE RODOVIAS NO ESTADO DO PARANÁ (km) | 99.367,46 | 19.870,29 | 1.360,53 | 21.230,82 | 244,80 | 100,45 | 345,25 | 120.943,53 |

Fonte: GeoDER, 2022

Tabela 2 – Resumo das Rodovias Federais – Responsabilidade

| RESPONSABILIDADE | NÃO PAVIMENTADA (NPV) (km) | PAVIMENTADA (km) | | | EM OBRAS (km) | | | TOTAL (km) |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| | | PISTA SIMPLES (PAV) | PISTA DUPLA (DUP) | TOTAL PAVIMENTADA | PISTA SIMPLES (EOP) | PISTA DUPLA (EOD) | TOTAL EM OBRAS | |
| DNIT | 1,61 | 1.459,29 | 114,10 | 1.573,39 | 64,90 | - | 64,90 | 1.639,90 |
| Concessão Federal (conced. pelo Gov. Federal) | - | 91,44 | 219,86 | 311,30 | - | - | - | 311,30 |
| DER (delegadas ao Estado) | - | 69,90 | 10,00 | 79,90 | - | - | - | 79,90 |
| Concessão Estadual (delegadas ao Estado e concedidas pelo Gov. Estadual) | - | 1.142,35 | 608,58 | 1.750,93 | - | 58,07 | 58,07 | 1.809,00 |
| Delegação a Prefeituras (delegadas aos Municípios) | - | - | 20,40 | 20,40 | - | - | - | 20,40 |
| TOTAL DE RODOVIAS FEDERAIS (km) | 1,61 | 2.762,98 | 972,94 | 3.735,92 | 64,90 | 58,07 | 122,97 | 3.860,50 |

Fonte: GeoDER, 2022

Tabela 3 – Resumo das Rodovias Estaduais – Responsabilidade

| RESPONSABILIDADE | NÃO PAVIMENTADA (NPV) (km) | PAVIMENTADA (km) | | | EM OBRAS (km) | | | TOTAL (km) |
|----------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|------------------|
| | | PISTA SIMPLES (PAV) | PISTA DUPLA (DUP) | TOTAL PAVIMENTADA | PISTA SIMPLES (EOP) | PISTA DUPLA (EOD) | TOTAL EM OBRAS | |
| DER | 1.518,06 | 9.654,26 | 115,95 | 9.770,21 | 179,90 | 42,38 | 222,28 | 11.510,55 |
| Concessão Estadual | - | 446,72 | 264,06 | 710,78 | - | - | - | 710,78 |
| TOTAL (Rodovias Estaduais) (km) | 1.518,06 | 10.100,98 | 380,01 | 10.480,99 | 179,90 | 42,38 | 222,28 | 12.221,33 |

Fonte: GeoDER, 2022

Tabela 4 – Total de rodovias administradas pelo DER/PR

| RESPONSABILIDADE | NÃO PAVIMENTADA (NPV) (km) | PAVIMENTADA (km) | | | EM OBRAS (km) | | | TOTAL (km) |
|------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|------------------|
| | | PISTA SIMPLES (PAV) | PISTA DUPLA (DUP) | TOTAL PAVIMENTADA | PISTA SIMPLES (EOP) | PISTA DUPLA (EOD) | TOTAL EM OBRAS | |
| Federais | - | 69,90 | 10,00 | 79,90 | - | - | - | 79,90 |
| Estaduais | 1.518,06 | 9.654,26 | 115,95 | 9.770,21 | 179,90 | 42,38 | 222,28 | 11.510,55 |
| TOTAL | 1.518,06 | 9.724,16 | 125,95 | 9.850,11 | 179,90 | 42,38 | 222,28 | 11.590,45 |

Fonte: GeoDER, 2022

Tabela 5 – Total de rodovias concedidas pelos Governos Federal e Estadual

| RESPONSABILIDADE | NÃO PAVIMENTADA (NPV) (km) | PAVIMENTADA (km) | | | EM OBRAS (km) | | | TOTAL (km) |
|------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| | | PISTA SIMPLES (PAV) | PISTA DUPLA (DUP) | TOTAL PAVIMENTADA | PISTA SIMPLES (EOP) | PISTA DUPLA (EOD) | TOTAL EM OBRAS | |
| Federais | - | 1.142,35 | 608,58 | 1.750,93 | - | 58,07 | 58,07 | 1.809,00 |
| Estaduais | - | 446,72 | 264,06 | 710,78 | - | - | - | 710,78 |
| TOTAL | - | 1.589,07 | 872,64 | 2.461,71 | - | 58,07 | 58,07 | 2.519,78 |

Fonte: GeoDER, 2022

C ELEMENTOS QUE CONSTITUEM UMA RODOVIA E SUA CARACTERIZAÇÃO

Para uma melhor interpretação dos elementos caracterizadores de uma rodovia apresentam-se nesta Nota Introdutória esses elementos representados nas figuras que se seguem, o que permitirá uma melhor compreensão de cada um.

A designação que ordinariamente referencia, em conjunto, a infraestrutura e a superestrutura de uma rodovia, é a sua plataforma rodoviária.

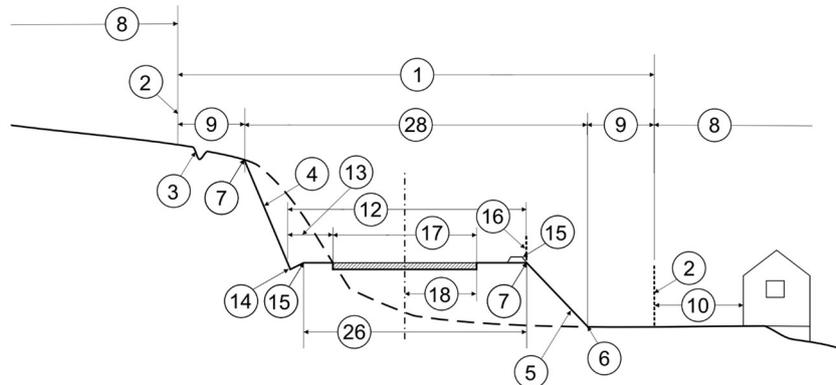
A Superestrutura da Rodovia é constituída pelo pavimento, que se define como um sistema constituído por camadas de diferentes materiais com diferentes espessuras onde se situam as Faixas de Rolamento (onde circulam os veículos) e os Acostamentos (que servem de apoio às faixas de rodagem em caso de avaria nos veículos).

O pavimento assenta-se sobre um terreno de fundação especificamente preparado, o qual é designado de subleito (última camada da Infraestrutura da Rodovia).

Também fazem parte da *Superestrutura da Rodovia* todos os dispositivos de sinalização e de obras complementares, que buscam resguardar a segurança do tráfego usuário.

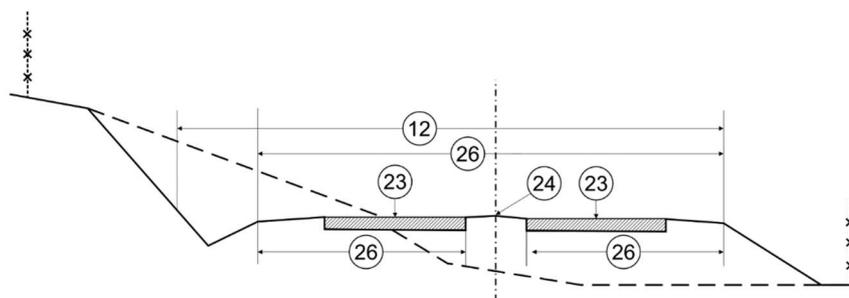
A *Infraestrutura da Rodovia*, também chamada de plataforma rodoviária, é definida como parte da construção de uma rodovia constituída pelo terrapleno (todas as obras situadas abaixo do greide do terrapleno, ou seja, o terreno resultante da terraplenagem onde irá assentar o pavimento da rodovia) e que se pode definir como a parte da faixa de domínio compreendida entre a crista do corte e o pé do aterro, conforme as figuras a seguir.

Figura 12 – Plataforma de uma rodovia com pista única



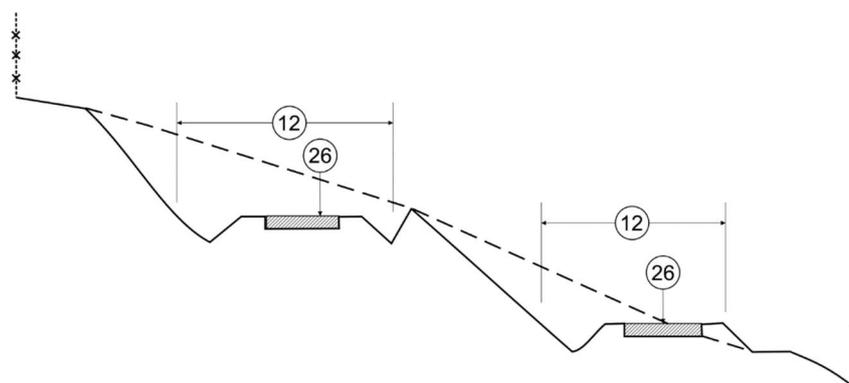
Fonte: BRASIL, 2010.

Figura 13 – Plataforma de uma rodovia com pista dupla no mesmo nível



Fonte: BRASIL, 2010.

Figura 14 – Plataforma de uma rodovia com pista dupla em diferentes níveis



Fonte: BRASIL, 2010.

Segue-se a nomenclatura dos diferentes elementos rodoviários relacionados pelos números indicados nas figuras:

Faixa de domínio (1) – é a faixa que se desapropria para a construção da estrada, prevendo uma largura suficiente que permita, no futuro, sua expansão, facilitando também a execução de serviços de manutenção e a proteção das obras.

Vedação ou Vedo (2) – é o tapume da estrada para protegê-la contra a invasão de animais de certo porte e também fixar os limites da faixa de domínio, garantindo a sua posse. O vedado pode ser uma cerca de arame farpado, um muro de pedra arrumada, uma cerca viva etc.

Valeta de proteção dos cortes (3) – é a valeta que se constrói entre a crista do corte e o limite da faixa de domínio, para desviar as enxurradas das encostas para fora da estrada. É um elemento auxiliar da sarjeta e sua construção evita que a sarjeta fique sobrecarregada. Em alguns casos, como nos cortes em rocha nua, é muitas vezes mais econômico construir muretas de proteção para conduzir as águas do que construir valeta.

Rampa do corte (4) – é a parte fortemente inclinada da seção transversal do corte. Se o corte é em seção plena, existem duas rampas. É também chamado de talude de corte.

Saia do aterro (5) – é a parte inclinada da seção transversal do aterro. Se o aterro é em seção plena, existem duas saias.

Pé do corte ou do aterro (6) – é o extremo inferior da rampa do corte, ou saia do aterro.

Crista do corte ou do aterro (7) – Crista do corte é a interseção da rampa do corte com o terreno natural. Quando a seção é toda em corte, existem duas cristas de corte, mas, se a seção é mista, há apenas uma crista de corte. Crista de aterro é a borda saliente da seção de uma estrada em aterro. Quando a seção é toda em aterro, existem duas cristas de aterro, mas, se a seção é mista, só há uma crista de aterro.

Terreno marginal (8) – é o terreno contíguo situado ao longo da faixa de domínio de uma estrada de rodagem.

Faixa marginal (9) – é cada uma das faixas de terreno compreendida entre a crista do corte e o limite da faixa de domínio, no caso da seção em corte, ou entre o pé do aterro e o limite da faixa de domínio, no caso da seção em aterro.

Recuo ou zona “non aedificandi” (10) – é a distância na qual se permitem construções estranhas à estrada, a contar do limite da faixa de domínio. É assunto regulamentado para cada estrada ou trecho de estrada.

Plataforma Estradal (12) – Plataforma constituída pelas Pistas de Rolamento, Acostamentos, Sarjetas e Canteiro Central (No caso de Pistas Duplas).

Acostamento (13) – é a faixa que vai da borda do pavimento até a sarjeta, no caso da seção da estrada em corte, ou a faixa que vai da borda do pavimento até a crista do aterro, no caso da seção em aterro. Destina-se à proteção da borda do pavimento, estacionamento do veículo na estrada, pista de emergência, canteiro de serviço para a conservação da estrada, passeio para pedestre etc. Nas estradas de tráfego intenso, os acostamentos são também pavimentados.

Sarjeta (14) – é uma valeta rasa, com seção em V aberto, situada ao pé do corte e destinada a receber as águas pluviais da plataforma e da faixa que vai da valeta de proteção do corte até o pé do mesmo.

Banqueta de proteção do aterro (15) – é um prisma de terra que se constrói junto à crista dos aterros, para servir de anteparo às rodas dos veículos automotores, no caso de derrapagem, e também para impedir que as enxurradas corram pelos aterros altos, provocando erosão. Algumas situações dispensam a banquetta, seja porque nos aterros altos se colocam dispositivos de proteção do veículo (defensas), seja porque as saias dos aterros são convenientemente gramadas para evitar a erosão etc.

Defensa (16) – é uma cerca baixa, robusta, com moirões de madeira de lei ou de aço, com pranchões ou chapas de aço corrugado dispostos na horizontal, pregados nos moirões do lado interno da estrada. São colocadas nas cristas de aterros altos (mais de 2,50 m de altura), em curvas perigosas, e destinam-se a impedir, num acidente, que o veículo saia da plataforma da estrada, com consequências mais danosas para o veículo, passageiros ou cargas. Proporciona maior segurança para o tráfego.

Pistas (17 e 23) – são as faixas pavimentadas da rodovia por onde trafegam os veículos automotores, constituída pela Faixa de Rodagem mais Acostamento. As estradas de rodagem podem ter uma única pista (pista simples) ou duas pistas (pista dupla). No segundo caso, cada pista tem o tráfego num único sentido, permitindo maior segurança. No caso de pistas duplas, elas podem ser contíguas (paralelas) ou independentes. Na travessia de perímetro urbano, as estradas podem ter 4 pistas ou mais, sendo as duas externas destinadas ao tráfego local ou ao acesso a estrada.

Faixas de tráfego (18) – é a parte da pista necessária à passagem de veículo automotor típico. Cada pista deve ter, pelo menos, duas faixas de tráfego, a fim de permitir o cruzamento de dois veículos ou a passagem de um veículo pelo outro. No caso de transposição de serras, as estradas podem ter ainda uma faixa adicional, a 3ª faixa, destinada à subida de veículos lentos.

Rodagem (21) – é a faixa de estrada compreendendo pista e acostamentos. Recebeu este nome porque, nesta faixa, o veículo deve poder trafegar livremente, não se permitindo colocar nela nenhum obstáculo que vá limitar a liberdade de movimento do veículo. A sinalização vertical deve, por isso, ficar sempre fora da faixa de rodagem.

Plataforma (25) – é a faixa da estrada compreendida entre os dois pés dos cortes, no caso da seção em corte; de crista a crista do aterro, no caso da seção em aterro; e do pé do corte à crista do aterro, no caso da seção mista. No caso dos cortes, a plataforma compreende também a sarjeta.

Canteiro central (24) – é a faixa de terreno que separa fisicamente uma pista da outra. É denominado impropriamente - refúgio central. Tem por finalidade oferecer maior segurança ao tráfego. Deve ser o mais largo possível, para permitir ampliação da largura das pistas se, no futuro, for necessário. No Brasil adota-se de 3 a 6 metros de largura, sendo preferível 6,00 m, por permitir retorno.

Pistas duplas independentes (26) – são as pistas de uma estrada de rodagem que seguem o seu traçado independente uma da outra, tendo cada qual sua plataforma. No caso de pistas duplas independentes, as pistas são abauladas, como se tratasse de duas estradas diferentes. Este tipo de pista é usado, de preferência, em terrenos montanhosos e escarpados, porque a sua construção é mais econômica do que a de estradas de pistas duplas paralelas.

Faixa terraplenada (28) – é a faixa correspondente à largura que vai de crista a crista do corte, no caso de seção plena em corte; do pé do aterro ao pé do aterro, no caso de seção plena em aterro; e da crista do corte ao pé do aterro, no caso da seção mista. É a área compreendida entre as linhas de “off-sets”.

Também fazem parte da Infraestrutura os elementos de drenagem, elementos que tem como função proteger o corpo estradal dos efeitos deletérios das águas pluviais ou subterrâneas, as chamadas obras de arte correntes, constituídas por elementos de transposição de cursos d’água de pequeno vulto, permanentes ou não, entre os lados montante e jusante da rodovia, assim como as obras de arte especiais, pontes e viadutos, que tem como finalidade a transposição de cursos d’água de maior vulto, de outras vias ou de segmentos em meia encosta onde a solução de corte ou aterro não é vantajosa.

D INFORMAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE ORDEM GERAL

D.1 Princípios que orientaram a elaboração do presente Manual

O presente “Manual de Execução de Serviços Rodoviários” do DER/PR pretende abranger todos os serviços rodoviários que vão desde a locação topográfica da rodovia até à sua entrada em operação na malha rodoviária, passando por todos os componentes construtivos necessários à sua execução, tais como:

- a) Terraplenagem;
- b) Drenagem;
- c) Pavimentação;
- d) Obras de Arte Especiais;
- e) Obras Complementares; e
- f) Sinalização e Segurança Rodoviária.

Na elaboração do Manual procurou-se agrupar as informações de uma forma essencialmente prática, já que tudo o que diz respeito às teorias e dimensionamentos são normalmente objeto do Projeto Executivo. Deste modo, na elaboração do presente Manual procurou-se agrupar as informações e recomendações que complementam as Especificações de Serviço do DER/PR, acrescentando-se aspectos práticos e até didáticos que se julgaram úteis para os engenheiros que acompanham as obras rodoviárias, aspectos esses que normalmente não são encontrados de forma consensual na literatura disponível.

No presente Manual procurou-se agrupar as informações mínimas necessárias ao bom desempenho dos técnicos que se dedicam à área rodoviária. Dada a amplitude dos assuntos abordados, em muitas situações houve necessidade de apresentá-los sob forma sintética. O nível de profundidade conferido foi, em cada caso, decidido em função da importância atribuída ao tema.

Grande parte do material que constitui o corpo do Manual foi desenvolvido especialmente pelos técnicos envolvidos nos trabalhos. Complementarmente, trabalhos de diversos autores foram consultados e compilados, com vista ao enriquecimento do conteúdo. Nestes casos, as referências bibliográficas e citações internas aos próprios capítulos, informam as fontes de consulta.

Em certas circunstâncias, os assuntos retratam no Manual a opinião dos técnicos que os elaboraram. Futuras atualizações, proporcionando definições até mais precisas, são necessárias devido ao processo natural de acompanhamento da evolução das técnicas e dos materiais utilizados na construção rodoviária, inclusive no que concerne às experiências de caráter regional.

Na sequência, apresenta-se uma ampla gama de informações e recomendações, julgadas relevantes.

D.2 Recomendações Especiais do Manual

A elaboração do Manual teve como base o que se encontra definido nas Especificações de Serviço correspondentes, as quais são apresentadas no início de cada Tomo do Manual. Em complementação a citações contidas nas especificações de serviços, apresentam-se no Manual recomendações especiais e dicas práticas, que acabam por justificar o objetivo destas.

D.3 Terminologias de Uso Corrente

Objetivando manter a tradição do uso de termos já consagrados no âmbito rodoviário, adotou-se na elaboração do Manual uma certa liberdade quanto a terminologia. São exemplos desta postura a adoção proposital do termo “densidade” como sinônimo de “massa específica aparente”, o uso da palavra “repé” em terraplenagem e de “emulsão asfáltica” ao invés da designação mais atual “asfalto emulsionado”.

D.4 Alterações de Projeto

Alerta-se para o fato de que alterações de projeto, de qualquer natureza, só deverão ser procedidas se devidamente justificadas sob o ponto de vista técnico e atendendo ao interesse econômico do DER/PR. Em muitos casos tem-se observado, por exemplo, que mudanças de traçado (em planta ou perfil), que visam a uma economia de caráter imediato (redução no custo de construção), geram posteriormente sérios problemas operacionais à rodovia, de difícil solução.

D.5 Flexibilização no Plano de Controle Tecnológico

Em determinados itens abordados no Manual, permite-se ao Engenheiro Fiscal simplificar o plano de controle tecnológico previsto nas correspondentes especificações de serviços. Esta condição somente poderá ser adotada, de forma criteriosa, quando houver convicção de que tanto os materiais utilizados como o processo executivo são homogêneos, não se permitindo a sua generalização apenas por questão de simplicidade.

D.6 Inter-relacionamento entre Serviços

Particularmente, na parte do Manual que trata dos serviços de pavimentação (Tomo III), ocorre um certo inter-relacionamento entre diversos serviços que mobilizam materiais similares, ou que apresentam características semelhantes. Assim, para evitar repetições que se tornariam cansativas, procurou-se enfatizar a porção de caráter comum em apenas um dos serviços ou, conforme o caso, constituindo anexos específicos. Na primeira situação reporta-se, por exemplo, o uso de cimentos asfálticos e emulsões asfálticas, abordadas com maior ênfase no capítulo referente a Serviços por Penetração Asfáltica, e que se aplicam a diversos outros serviços (misturas asfálticas e pinturas asfálticas). No segundo caso, exemplifica-se com o anexo que comenta o emprego da viga Benkelman no acompanhamento das obras, de uso geral.

D.7 Proteção de Serviços Executados

É desaconselhável que a Executante, objetivando maior produtividade, estenda demasiadamente “panos” de serviços de pavimentação, como regularização do subleito, sub-bases ou bases, sem que os mesmos sejam adequadamente protegidos pela camada subsequente. Ressalta-se que o ônus da reconstrução de serviços danificados pela ação do tráfego ou de intempéries é da própria Executante, mesmo que os serviços tenham sido liberados pela Fiscalização.

D.8 Proteção de Áreas Exploradas

Na medida em que for sendo concluída a exploração de jazidas de solos ou caixas de empréstimo, a Executante deverá conformar as superfícies resultantes de forma adequada e providenciar a recomposição da camada vegetal. Nesta última tarefa, deverão ser aproveitados os produtos extraídos da limpeza da ocorrência e de áreas anexas, previamente estocadas.

D.9 Utilização de Pedreiras Comerciais

Determinadas circunstâncias levam à necessidade de utilização de pedreiras comerciais, particularmente no caso de obras nas quais o volume de material a ser britado é pequeno. Alerta-se ao Engenheiro Fiscal e à Executante para a possibilidade de problemas na qualidade dos produtos fornecidos, dada a eventual dificuldade de proceder a um controle apropriado do processo de exploração, britagem, classificação e estocagem. Ocorrem, com alguma frequência, casos de britagem de zonas alteradas ou a de produção durante períodos chuvosos. Em função destas dificuldades, é possível que seja necessário intensificar o processo de controle tecnológico.

D.10 Problemas com alguns Basaltos da Região Sudoeste

Determinados produtos de britagem de rochas basálticas, embora enquadráveis nas especificações, podem apresentar problemas quando da sua aplicação e utilização em

serviço. Em caso de dúvidas, sugere-se “policiar” o estudo destes materiais com ensaios de lâmina, que permitirão identificar a eventual presença de argilo-minerais não toleráveis.

D.11 Localização de Usinas

O Planejamento da obra deverá prever a localização das usinas de forma a minimizar o custo de transporte, tendo em vista as condicionantes particulares dos serviços e das fontes de materiais. A localização da usina fora do local ótimo conforme projeto, por motivo não justificado, não implicará em remuneração adicional do transporte, devendo este ser remunerado, normalmente, para o posicionamento referenciado.

Deve se evitar o transporte de materiais da obra sobre o pavimento construído.

D.12 Uso de Graduações Não Especificadas

As faixas granulométricas indicadas para os diversos serviços de pavimentação, nas especificações do DER/PR, são recomendadas com respaldo em experiências anteriores bem-sucedidas. Não é vedado o uso de graduações distintas, particularmente aquelas especificadas por outros órgãos rodoviários, desde que de comprovada eficiência.

D.13 Precauções na Compactação

Alerta-se às equipes de Fiscalização e à Executante para alguns aspectos importantes na compactação de camadas de pavimentação, a saber:

- a) é sempre conveniente executar “panos” experimentais que permitam definir os equipamentos mais apropriados à compressão, à melhor sistemática da operação e à espessura do colchão de material solto que, após densificação, conduza à espessura do projeto;
- b) a prudência recomenda que, na fase inicial dos serviços, se proceda a uma verificação cuidadosa dos graus de compactação obtidos ao longo da espessura da camada, para evitar a ocorrência de variações de densidade significativas.



D.14 Concepção Estrutural dos Pavimentos

Detalham-se no Manual as particularidades inerentes aos diversos tipos de sub-bases, bases e revestimentos, procurando-se destacar seus aspectos vantajosos e algumas desvantagens eventualmente existentes, de acordo com a experiência específica do DER/PR. Não se pretende, com isto, pré-estabelecer soluções que devam ser adotadas de forma sistemática. Em verdade, cada caso em particular deve ser analisado individualmente, objetivando a seleção de melhor concepção estrutural e o dimensionamento mais adequado à solicitação prevista. Neste último aspecto, incentiva-se, no capítulo da parte que trata de pavimentação, o uso das modernas técnicas que integram a chamada Mecânica dos Pavimentos.



MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

TOMO I - TERRAPLENAGEM

3ª Edição

Curitiba
2023

ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM

Neste TOMO I do Manual são abordados assuntos de carácter complementar vinculados às seguintes especificações de serviço de Terraplenagem:

- DER/PR ES-TE 01/23 - SERVIÇOS PRELIMINARES
- DER/PR ES-TE 02/23 - CORTES
- DER/PR ES-TE 03/23 - EMPRÉSTIMOS
- DER/PR ES-TE 04/23 - REMOÇÃO DE SOLOS MOLES
- DER/PR ES-TE 05/23 - COLCHÃO DRENANTE DE AREIA PARA FUNDAÇÃO DE ATERRO
- DER/PR ES-TE 06/23 - ATERROS
- DER/PR ES-TE 07/23 - REVESTIMENTO PRIMÁRIO
- DER/PR ES-TE 08/23 - CAMINHOS DE SERVIÇO

Os dispositivos tomados como referência encontram-se detalhados no Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR.

TERRAPLENAGEM

Define-se como Terraplenagem toda a movimentação de solos necessária para a construção de uma obra, a qual inclui o conjunto de operações de escavação, carga, transporte, descarga e compactação dos solos, aplicados na construção de aterros, dando à superfície do terreno a forma projetada para uma determinada construção, no caso do presente Manual, uma rodovia.

1 SERVIÇOS PREPARATÓRIOS PARA O INÍCIO DOS TRABALHOS

Antes do início dos trabalhos, os responsáveis pela execução da obra devem dedicar-se ao planejamento geral da obra, analisando os dados locais, os dados do projeto executivo, e a liberação dos terrenos onde vão ser desenvolvidos os trabalhos, para definir o Plano de Trabalho das obras. Deverá também ser certificado se existe licença ambiental para início dos trabalhos ou se há dependência do fornecimento de quaisquer elementos para a sua emissão.

1.1 Planejamento da Obra e Definição do Plano de Trabalho

Para o correto planejamento da obra e elaboração do Plano de Trabalho o conhecimento prévio dos seguintes itens é imprescindível:

1.1.1 Volume dos serviços a realizar e prazo de execução contratual

Do volume a ser terraplenado e do prazo contratual será feito o dimensionamento dos equipamentos e o recrutamento do pessoal necessário. Em função da disponibilidade de equipamentos serão determinados os turnos de trabalho diário.

Nesse aspecto convém estabelecer-se um cronograma (calendário simplificado) para saber-se com antecedência os dias de trabalho normais descontados os domingos, feriados, festividades, etc.

Desse número de dias normais ainda se deve descontar os dias previstos de chuvas, impraticáveis para a execução da terraplenagem, determinando de fato o número de dias trabalháveis dentro do prazo contratual e que servirá para o dimensionamento dos equipamentos e da equipe de mão de obra.

1.1.2 Condicionamentos Ambientais e Arqueológicos

A Executante deverá ter em atenção, na elaboração do Plano de Trabalho, todas as condicionantes para a obtenção e manutenção das licenças necessárias sobre os impactos ambientais de ocorrência previsível ao longo da execução das obras rodoviárias e sobre as medidas de proteção pertinentes a serem implantadas “pari passu” com o desenvolvimento das ações relativas à execução das obras.

1.1.3 Precipitação pluviométrica

O conhecimento prévio das estatísticas das precipitações pluviométricas locais e sua distribuição no decorrer do ano é fundamental para a previsão mais correta dos dias trabalháveis e, portanto, da previsível conclusão da obra.

Em regra, é possível se identificar uma época de poucas precipitações que será a "estação da construção", devendo ser aproveitada da melhor forma possível.

Os períodos de chuvas são adversos ao bom desenvolvimento dos trabalhos e isso deve ser levado em conta na fixação dos dias realmente aproveitáveis para o trabalho.

1.1.4 Apoio logístico

Devem ser consideradas as facilidades e dificuldades para o fluxo de suprimentos: materiais, combustíveis, peças de reposição etc., e para a contratação de mão de obra em geral, pessoal técnico e administrativo.

Quanto mais longínqua e de difícil acesso for a obra, maiores os custos dos suprimentos e da mão de obra.

A subsistência dos trabalhadores é item prioritário que deve ser equacionado a fim de se evitar sérios problemas durante a execução da obra.

1.1.5 Acessos e Caminhos de Serviço

Na ausência ou havendo dificuldades de acesso ao local do canteiro, deverá ser analisado o que se deverá executar para permitir não só um razoável apoio logístico ao local da obra, mas também no sentido de facilitar o transporte dos materiais, da equipe e dos equipamentos.

A Executante deverá ainda prever a necessidade de eventuais caminhos de serviço para acessar as frentes de trabalho, os quais poderão utilizar a faixa de domínio ou parte de caminhos existentes.

1.1.6 Interferências

As interferências existentes naturais ou artificiais devem ser examinadas na fase do planejamento, pois poderão constituir-se em obstáculos ao bom ritmo da obra.

Convém lembrar que as instalações de terceiros situadas na área de implantação como torres de energia elétrica, adutoras de água, emissários de esgoto e gasodutos, são problemas de solução difícil e que podem demandar um longo período de tempo. A recomendação que se faz é iniciar, tão cedo quanto possível, os procedimentos administrativos para a remoção dessas interferências.

A questão da desapropriação da faixa de domínio deve ser prevista com a antecedência necessária, para não dificultar o andamento da obra.

A liberação de jazidas e pedreiras também deve ser agilizada, pelos mesmos motivos.

1.1.7 Sinalização Provisória e Segurança Operacional

A Executante deverá ter em consideração que será a responsável por todos os trabalhos relacionados com a sinalização provisória dos desvios que tiver de fazer em caminhos existentes para a execução da obra. Para a sinalização provisória das obras deverá ser observado o estabelecido no Tomo V - Sinalização e Segurança Rodoviária - deste Manual. Igualmente deverá ter em conta os encargos que resultarem da segurança operacional de todos os trabalhadores.

1.2 Serviços Preliminares ao Início da Terraplenagem

Concluída a análise cuidadosa do projeto executivo da rodovia e o Plano de Trabalho para a sua construção, a fase seguinte será a implantação completa do eixo da rodovia, bem como a marcação dos “off-sets” ao longo do trecho, de modo a permitir a definição exata da área de limpeza do terreno, serviço preliminar à execução dos serviços de terraplenagem propriamente ditos, e avaliar a sua influência na drenagem superficial.

Para que esses trabalhos tenham início será ainda necessária a execução e avaliação de outros serviços preliminares imprescindíveis para a instalação do pessoal e a utilização do equipamento pesado.

1.2.1 Instalação do canteiro da obra

É uma das providências iniciais a ser tomada pelo Executante.

Vários são os fatores que influem nas características das instalações a serem exigidas:

- a) dimensão da obra e o prazo de execução;
- b) proximidade dos centros urbanos;
- c) serviços públicos disponíveis;
- d) seleção e quantificação dos equipamentos e do pessoal necessário.

A locação deve ser bem examinada no que se refere às frentes de trabalho, pois no caso de obra rodoviária as distâncias podem ser grandes, obrigando a construção de canteiros secundários junto a essas frentes.

Um canteiro padrão para obras de implantação rodoviária de médio porte contará com as seguintes instalações:

- a) escritório de obra: administração e pessoal;
- b) almoxarifado de peças de reposição e outros materiais;
- c) oficina de manutenção dos equipamentos;
- d) bombas de abastecimento e depósito de combustíveis;
- e) lubrificação e lavagem dos equipamentos;
- f) alojamento do pessoal, refeitórios, instalações sanitárias;
- g) iluminação, água potável, despejo de esgotos;
- h) comunicações por rádio ou telefonia;
- i) laboratório de campo;
- j) áreas de lazer.

Em certos casos há possibilidade de alojar-se o pessoal em centros urbanos próximos, o que pode representar grande economia nas instalações.

1.2.2 Locação Topográfica do Traçado

A locação da rodovia é a primeira etapa dos serviços topográficos, a executar. São as marcas do terreno executadas pelas equipes de topografia que orientam onde as máquinas devem iniciar os movimentos de terra que constituem as Terraplenagens.

Topograficamente os procedimentos de locação são os mesmos que se utilizavam há décadas, mas a evolução técnica dos novos instrumentos e softwares utilizados atualmente em topografia tornou a locação e controle topográfico de rodovias muito mais preciso e ágil.

Em rodovias, a principal locação se refere ao eixo, pois ele é o mais importante e, uma vez marcado, permite fazer o resto das marcações necessárias à execução da obra. A implantação do eixo, já definida e às vezes pré-realizada durante a elaboração do Projeto Executivo, é feita colocando-se piquetes e estacas distanciadas entre si. Geralmente, se colocam estas marcas a cada 20 m e, por isso, a distância entre duas estacas se chama também uma estaca. Nos trechos em curva, para melhor visualizar-se a estrada, colocam-se os piquetes e estacas, em geral, a cada 10 m (meia estaca).

A marcação do eixo é feita por equipes topográficas utilizando estações totais (ET), taqueômetros eletrônicos e medidores eletrônicos de distâncias (MED), receptores Global Navigation Satellite System (GNSS) ou teodolitos, níveis normal ou ótico, trenas e balizas.

Os trechos retos são chamados trechos em tangente e são mais fáceis de marcar. Depois de marcado o eixo, procede-se à marcação dos off-sets.

A locação inicial da obra, com todos os elementos a seguir indicados, constantes do projeto, é de responsabilidade do Executante:

- a) Estaqueamento do eixo em todas as estacas inteiras e de todos os pontos de curva horizontal;
- b) Amarração dos pontos de curva (PC, PT, TS, SC, CS e ST);
- c) Amarração dos referenciais de nível (RRNN) e dos pontos de início e final do trecho (0 = PP e PF) e a cada quilômetro quando não existirem curvas.

Se estes elementos não constarem do projeto ou em caso de alteração do mesmo, então a fiscalização fornecerá ao executor da obra uma cópia de cada caderneta de locação do eixo e amarrações e ainda das cadernetas de nivelamento do eixo.

As notas de serviço de terraplenagem contendo as distâncias e cotas dos bordos da plataforma e dos "off-sets" fazem parte do projeto ou devem ser fornecidos pelo DER/PR. Caberá ao executor a marcação de todos os pontos constantes das notas de serviço e a relocação do eixo e demais pontos quando necessário.

Sendo esta marcação de grande importância pois a execução da terraplenagem depende da posição correta dos pontos, este trabalho deverá ser feito por topógrafos experientes. Eventuais erros cometidos poderão acarretar sérios prejuízos à obra. Os instrumentos da topografia devem ser aferidos constantemente por metodologia apropriada a cada tipo e modelo, particularmente no início da obra. As miras, balizas, trenas e níveis de cantoneira também devem estar em boas condições de uso.

A locação de pontos do eixo do traçado selecionado que permita sua perfeita identificação no campo e o levantamento planialtimétrico cadastral dos locais de jazidas, interseções, seções transversais urbanas, dispositivos de drenagem etc. devem ser executados de acordo com a Norma ABNT NBR 13133, levando em conta as seguintes observações:

- a) A rede de apoio básico deve estar amarrada à rede de apoio oficial do IBGE, ser apresentada segundo o sistema de Projeção Local Transversa de Mercator (LTM) e ter espaçamento máximo de 500 m, sendo obrigatória a visibilidade de três pontos, ou seja, de cada ponto deve ser possível a visada do ponto anterior e do posterior;
- b) A rede de RRNN a ser implantada e nivelada deve estar referenciada à rede de RRNN oficiais do IBGE e ter RRNN com distância máxima de 500 m entre duas consecutivas, podendo, sempre que possível, ser utilizado como RN marco da rede de apoio básica. Devem ser obedecidas as especificações da Norma ABNT-NBR 13133, no que se refere ao nivelamento;
- c) A área a ser levantada deve ter largura suficiente para permitir o desenvolvimento dos estudos de traçado, de variantes, de meio ambiente, de drenagem etc.;
- d) A locação dos pontos do eixo deve ser executada por coordenadas, com equipamento de precisão média, segundo a ABNT NBR 13133, em todos os pontos locados devem ser cravados piquetes de madeira de boa qualidade, com estacas testemunhas que permitam sua fácil locação no campo.

Esta etapa envolve a consideração e a definição dos elementos geométricos e planimétricos que fazem parte do Projeto Executivo.

1.2.2.1 Elementos Planimétricos

As unidades básicas dos traçados devem ser arcos de circunferências com desenvolvimento os mais amplos quanto possível. Entretanto, para as curvas circulares não serem confundidas visualmente com as tangentes, recomenda-se um raio máximo de 5000 metros.

Os elementos usados para a determinação das curvas circulares são as seguintes:

- a) R - É o raio de circunferência empregado na concordância, expresso em metros;
- b) PC - É o ponto de transição da tangente para a curva, ou seja, o ponto de origem das curvas;
- c) PT - É o ponto de tangência entre a curva e o alinhamento reto;
- d) AC - É o ângulo formado no centro da curva pelos raios levantados no PC e PT;
- e) D - É o desenvolvimento correspondente ao comprimento do arco que vai do PC ao PT da respectiva curva;
- f) T - É o comprimento das tangentes prolongadas do seu ponto de interseção (PI) aos respectivos PC e PT;
- g) GM - É o grau da curva, ou seja, é o ângulo central correspondente a uma determinada corda
- h) dm - É a deflexão de uma corda de 1m em relação à tangente externa.

Nos casos de rodovia de classe Especial e classe C, para curvas com raio menor que 600 m, deve ser usada, obrigatoriamente, a transição em espiral; e para rodovias de classes II e III, para curvas de raio maior que 440 m, a transição pode ser circular, com raio duplo.

As curvas de transição usualmente adotadas são as Clotóides ou Espirais de Cornu, de Bernouille e outras. Existem tabelas para o emprego destas curvas, sendo a mais adotada no Brasil a Clotóide.

Os elementos usados para a determinação da curva de transição são os seguintes:

- a) TS - ponto de passagem do alinhamento em tangente para espiral;
- b) SC - ponto de passagem da espiral para curva circular;
- c) CS - ponto de passagem da curva circular para espiral;
- d) ST - ponto de passagem da espiral para o alinhamento em tangente;
- e) L_c - comprimento da curva espiral;
- f) S_c - ângulo central da espiral;
- g) x_c e x_s - abscissas dos pontos SC e CS, respectivamente;
- h) y_c e y_s - ordenadas dos pontos SC e CS, respectivamente;
- i) l_c - ângulo de deflexão da corda total da espiral com a tangente em TS ou ST;
- j) C - corda total da espiral;
- k) p e q - coordenadas de recuo do PC ou PT da curva circular em relação à tangente, tomando como referência TS ou ST;
- l) T - distância do PI ao ST ou TS;
- m) AC - ângulo central da curva circular.

1.2.2.2 Elementos altimétricos

O perfil longitudinal da estrada deve ser suave e uniforme, evitando-se as constantes quebras do alinhamento vertical e os pequenos comprimentos de rampas diferentes.

Os trechos retos do greide são concordados com curvas circulares ou parábolas do 2º grau. O número de curvas deve restringir-se ao mínimo, aumentando-se os seus desenvolvimentos.

A verificação das distâncias de visibilidade em curvas verticais côncavas deve ser feita para os casos mais desfavoráveis, que correspondem às do trânsito noturno, admitindo-se que a altura média dos faróis dos veículos seja de 0,75 m e que o ângulo de divergência do feixe luminoso em relação ao eixo longitudinal do veículo seja de 1° . Nas curvas verticais convexas, pode-se adotar a visibilidade diversa, considerando que o ponto de vista do motorista esteja a 1,20 m acima da pista e o obstáculo com 0,10 m de altura.

As curvas de concordância vertical são definidas pelo comprimento de sua projeção e pelo raio, no caso da curva circular, e pela distância do ponto de interseção vertical - PIV até a curva e pelo comprimento de sua projeção, no caso da parábola do 2° grau.

O greide deve ser lançado de modo que os pontos de interseção vertical (PIV) coincidam, de preferência, com estacas inteiras ou mais 10 metros, a fim de simplificar o cálculo das cotas de perfil.

O greide do projeto geométrico é desenhado com base nos elementos da caderneta de nivelamento do eixo locado, nas escalas de 1/2000 horizontal e 1/200 vertical ou 1/1000 horizontal e 1/100 vertical.

No lançamento deste greide, deve-se considerar o perfil geotécnico do terreno natural, evitando-se, sempre que possível, cortes extensos em rocha.

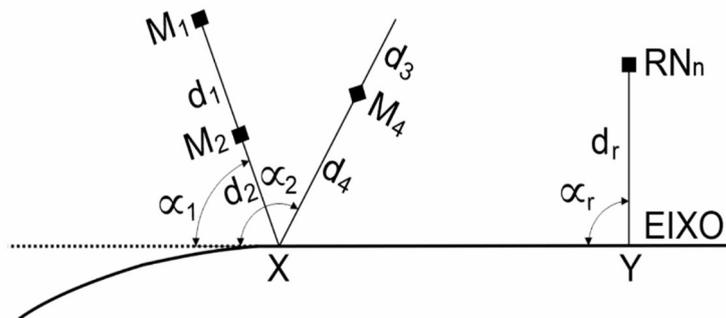
1.2.2.3 Elementos de seção transversal

O projeto geométrico da seção transversal, deve estar definido no projeto executivo com os seguintes elementos: faixas de rodagem, acostamentos, superlargura, superelevação, sarjetas, meios-fios, separadores centrais, inclinação dos taludes e distâncias laterais livres.

O DER/PR deverá verificar a execução destes serviços na totalidade no início da obra e constantemente por amostragem acima de 25% das seções, preferencialmente 100%, e realizar a medição completa na verificação para o pagamento.

A amarração dos pontos de curvas e outros deverá ser feita com piquetes resistentes e duráveis em local seguro onde não haja perigo de depredações e bem sinalizado com estacas altas. O tipo de amarração mais utilizado é em V conforme o esquema a seguir.

Figura 15 – Amarração em V



Fonte: DER/PR, 1996.

Onde,

- a) X = Estaca do Ponto de Curva;
- b) Y = Estaca da RN;
- c) M = Marcos de Amarração;
- d) d_n = Distância entre os pontos;
- e) α_n = Ângulo lido em relação ao eixo;
- f) RN_n = Marco da RN, número "n";
- g) d_r = Distância ao eixo, preferencialmente 30m; e
- h) α_r = Ângulo lido em relação ao eixo, de preferência 90°.

Os referenciais de nível (RRNN) deverão estar amarrados conforme mostra a figura anterior.

A cada 5km deve ser implantado um RN em marco de concreto e a cada 500m um marco em madeira, resistente e durável, com dimensões de 5x5x60cm.

Caso o trecho não tenha 5km, deverá ser implantada um RN de concreto no início e outro no final do mesmo.

É convenção em topografia colocar as estacas testemunhas ao lado esquerdo do eixo.

1.2.3 Transporte dos equipamentos

O transporte dos equipamentos deverá ser providenciado após a instalação do canteiro de obra.

Algumas máquinas de pneus podem trafegar pelas estradas desde que sinalizadas e acompanhadas. As de esteira devem ser transportadas por carretas especiais de custo horário elevado.

As despesas referentes ao transporte são altas quando a distância da obra é grande e o número de máquinas elevado, devendo ser levado em conta no custo da obra que se inicia.

1.2.4 Construção de estradas de serviço e acesso às frentes de trabalho

As estradas de acesso às frentes de trabalho devem ser construídas de imediato para que os equipamentos e os serviços de apoio fiquem logo disponíveis para o início dos serviços. As estradas de serviço são obras de baixo custo, com movimento de terra mínimo, utilizando-se de preferência o traçado a meia-encosta e com largura suficiente para o cruzamento de veículos em baixa velocidade.

O greide deve ser melhorado, diminuindo-se as rampas de forte declividade e aterrando-se as partes baixas próximas a cursos d'água para evitar-se o risco de interrupção do fluxo de tráfego.

A melhoria das condições da pista deve ser feita nos locais de solos fracos e nas rampas de grande declive, através do revestimento primário com materiais estabilizantes a fim de melhorar as condições de tráfego sob qualquer condição climática.

Ressalta-se que, a menos que haja definição em contrário nos documentos de licitação, os caminhos de serviço são de inteira responsabilidade da Executante.

1.2.5 Consolidação dos terrenos de fundação dos aterros

A consolidação dos terrenos de fundação dos aterros deve ser iniciada com presteza, considerando-se o tempo, por vezes longo, que a estabilização demanda, eliminando-se ou minimizando-se os recalques exagerados e os escorregamentos de taludes que podem comprometer a estabilidade do aterro.

1.2.6 Drenagem das áreas alagadas

A drenagem de terrenos alagadiços ou pantanosos que se localizam junto de cursos d'água nos fundos de vale pelo acúmulo de água devido às más condições de escoamento deverá ser providenciada para a melhoria da capacidade de suporte dos solos.

A abertura de valas de drenagem pode resolver o problema. Se o lençol freático estiver em nível elevado será utilizada a drenagem subterrânea que intercepta o fluxo de água e rebaixa o lençol.

A retirada da água em excesso que saturava o solo aumenta a resistência de cisalhamento o que significa a melhoria da sua capacidade de suporte.

1.2.7 Remoção de obstáculos

A retirada de obstáculos situados na faixa de ocupação da estrada deverá, como já dito, ser providenciada com antecedência, pois demandará a ação de Companhias Concessionárias que normalmente despendem muito tempo na solução dos pedidos de relocação ou retirada das interferências.

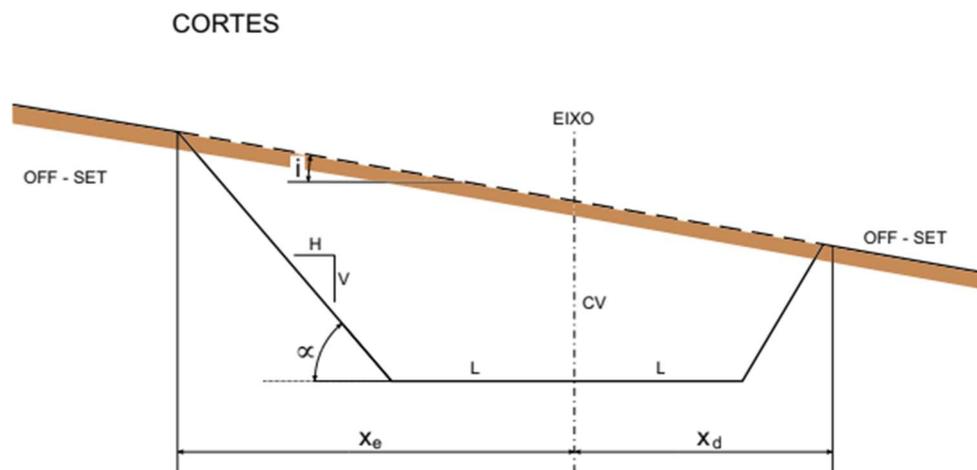
1.2.8 Cruzamento com estradas existentes

A construção de variantes ou desvios em todas as interferências com rodovias ou ferrovias existentes exige a competente sinalização e fiscalização, com a instalação de cancelas, porteiras, sinais de advertência e outros dispositivos de segurança que forem considerados importantes.

1.2.9 Vedação da faixa de domínio

Na área expropriada ou faixa de domínio poderá ser necessária a construção de cercas, basicamente quando se tratar de áreas de pecuária. Essas providências devem ser previstas em tempo hábil para não retardar a sequência da obra.

Figura 16 – Seção transversal de corte



Fonte: DER/PR, 1996.

Nas Notas de Serviço de terraplenagem, estão indicadas as distâncias do eixo aos pés dos aterros ou das cristas dos cortes, para a direita e para a esquerda do eixo. Tais distâncias são indicadas, com suas respectivas cotas, além das cotas do terreno, cotas do projeto e diferença entre elas, também chamada de cota vermelha.

2 MOVIMENTAÇÃO DE SOLOS E TERRAPLENAGEM PROPRIAMENTE DITA

2.1 Trabalhos Iniciais

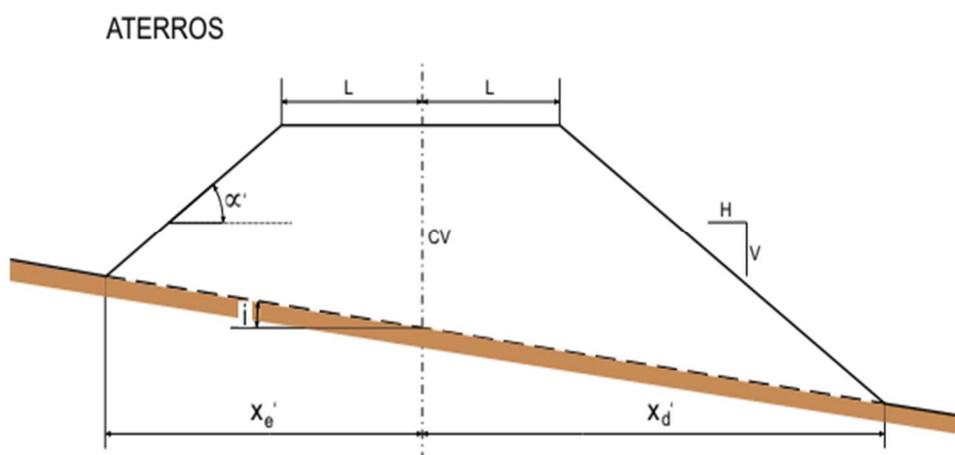
2.1.1 Marcação dos “off-sets”

A partir da locação do eixo são marcadas as laterais da estrada, através de piquetes e estacas chamadas de “off-sets”. Esses “off-sets” orientam os operadores das máquinas e é através deles que podemos saber se é necessário cortar ou aterrar aquela parte da estrada.

Para que se tenha uma perfeita marcação de “off-sets” é indispensável que a locação pelo eixo esteja convenientemente nivelada, que sejam reproduzidas as seções transversais da estrada e que se determine onde é necessário cortar e aterrar.

Os desenhos de projeto devem apresentar a plataforma da estrada (inclusive as superlarguras e superelevações das curvas) e os taludes e cristas de corte e de aterro.

Figura 17 – Seção transversal de aterro



Fonte: DER/PR, 1996.

Posteriormente, após a locação do eixo, o topógrafo se encarregará de marcar essas distâncias no campo, a partir do eixo, para a esquerda e para a direita, cravando um piquete e uma testemunha nas cristas dos cortes e pés dos aterros.

Nos aterros, preferem-se marcar estes “off-sets” afastados 1,00 m na horizontal dos seus pés, para que essas marcações não sejam danificadas. Em seguida, um topógrafo deve nivelar todos estes “off-sets”, separando os da esquerda e da direita, podendo-se fechar esse nivelamento com as cotas indicadas na Nota de Serviço.

2.1.2 Limpeza, desmatamento e destocamento da faixa de ocupação

O desmatamento, em termos de terraplenagem, consiste na remoção da vegetação, de modo a permitir a perfeita execução dos serviços de terraplenagem evitando, principalmente, a presença de raízes que, apodrecendo, podem causar abatimentos, bem como a eliminação de todos os elementos ou ocorrências que possam vir a obstruir a plena e adequada execução dos serviços de terraplenagem. Chama-se limpeza, normalmente, quando a vegetação removida é rala. Quando existe vegetação de maior porte, a limpeza é chamada desmatamento, que pode ser leve ou pesado, conforme a altura e a quantidade de árvores (densidade).

Quando as árvores têm troncos mais grossos e raízes profundas, é preciso fazer também o destocamento. O DER/PR classifica a operação de destocamento propriamente dito em dois tipos, de acordo com o porte das árvores: árvores com diâmetros compreendidos entre 0,15 m e 0,30 m e árvores com diâmetros maiores que 0,30 m. O diâmetro das árvores deve ser medido a uma altura de 1 m do solo.

Na operação de limpeza e desmatamento, são usados tratores de esteiras e motosserras. Quando as árvores são de porte pequeno, são usados apenas os tratores de esteiras, que executam todas as tarefas, desde o desmatamento até o encoivramento (operação de juntar a vegetação para remoção). Com as árvores de maior porte, quando a potência do trator de esteiras não é suficiente para derrubá-las, é necessário o uso de motosserra.

Nesses casos, após a derrubada da árvore, é necessário executar o destocamento, que consiste em remover o toco que ficou.

Toda vez que se limpa grandes áreas é preciso remover a vegetação que foi derrubada. Isto pode ser feito com o uso de pás carregadeiras e caminhões.

Em atendimento à preservação ambiental, os desmatamentos são sempre feitos na menor área possível, deixando apenas uma pequena folga entre o fim do desmatamento e a crista do corte, ou entre ele e a saia do aterro.

De outra parte, quando se precisam remover grandes troncos, deve-se cortá-los de maneira a facilitar o manuseio, carga e transporte. Pedacos de 3,0 a 6,0 m são mais facilmente movimentados. Estes cortes são feitos normalmente com o uso de motosserra.

Devem ser previamente assinalados, mediante caiação, as árvores que devem ser preservadas e as toras que pretende reservar, as quais devem ser então, transportadas para local determinado, visando posterior aproveitamento.

A limpeza deve ser sempre iniciada pelo corte das árvores e arbustos de maior porte, tomando-se os cuidados necessários para evitar danos às árvores a serem preservadas, linhas físicas aéreas ou construções nas vizinhanças.

Para a maior garantia / segurança as árvores a serem cortadas devem ser amarradas e, se necessário, o corte deve ser efetuado em pedaços, a partir do topo.

2.1.3 Caracterização dos fatores que afetam a execução do desmatamento

Com o objetivo de promover, de forma detalhada, a programação dos serviços de limpeza do terreno, devem ser efetivadas inspeções in loco, buscando caracterizar, em termos de aspectos favoráveis ou desfavoráveis à execução dos serviços, os fatores pertinentes, os quais estão enfocados a seguir:

2.1.3.1 Porte da vegetação

O número de árvores e seu tamanho, representado pelo diâmetro dos troncos, a densidade da vegetação, o sistema de raízes e seu desenvolvimento subterrâneo são fatores que devem ser determinados, através de inspeção local.

2.1.3.2 Terra Vegetal

A terra vegetal, onde houver, deve ser escavada e transportada para locais pré-determinados, para reaproveitamento futuro na execução das obras complementares, não se admitindo a sua incorporação ao material de aterro. A presença de matéria orgânica, ainda que em baixa proporção, é prejudicial ao desempenho dos solos como material empregado na construção rodoviária. Aumenta o limite de liquidez (LL) e o índice de plasticidade (IP), resultando na diminuição da resistência ao cisalhamento do solo e da capacidade de suporte, além do aumento da expansão volumétrica (inchamento). O solo adquire comportamento elástico e alta compressibilidade o que o torna impróprio para as obras rodoviárias.

A camada superficial de terra vegetal contém húmus, ou seja, a matéria vegetal em decomposição. Ela se apresenta, normalmente, de cor escura, em camadas de profundidade variável, consistência fofa e altos teores de umidade. Trata-se, portanto, de material facilmente escavável com equipamentos comuns. No caso da execução de aterros de maior altura (5m ou mais), poderá ser dispensada a remoção da camada de terra vegetal, a juízo do DER/PR.

A camada de terra vegetal de espessura variável, em geral 15 a 80 cm de espessura, deverá ser escavada e depositada em leiras nas extremidades da faixa de domínio, a cerca de 3 m da cerca.

2.1.3.3 Condições do solo

A profundidade da camada de terra vegetal, a presença maior ou menor de matéria

orgânica, o teor de umidade e a existência de blocos de rocha ou matacões são fatores que influem na escolha dos equipamentos e nos processos a serem usados.

2.1.3.4 Topografia

Rampas de grande declividade, valetas, áreas pantanosas e formações rochosas afetam a operação de certos equipamentos.

2.1.4 Especificações dos serviços e da obra

Com estes elementos se definem tópicos como o prazo para execução do desmatamento, disposição final dos produtos resultantes, exigências de conservação dos solos, os quais influem na seleção e utilização das máquinas.

2.1.5 Aspectos executivos e particularidades

Esses serviços de desmatamento, de conformidade com o atrás exposto, compreendem três itens principais:

- a) derrubada;
- b) remoção da vegetação; e
- c) destocamento.

A derrubada da vegetação é feita, de preferência, com tratores de esteiras com lâmina ou com implementos especiais, apropriados às tarefas.

A primeira exigência é que o equipamento empregado no desmatamento possua estruturas metálicas de proteção à cabina do operador e à própria máquina, para protegê-los da queda de galhos e ramos secos, ou mesmo da árvore a ser derrubada.

Devem ser especialmente protegidos a cabine, o motor e acessórios (filtro de ar), linhas hidráulicas, os cilindros hidráulicos e o guincho traseiro. O radiador e a parte inferior do

bloco do motor (carter) devem ser protegidos por chapas de aço ou telas reforçadas, pois ficam expostos ao choque com troncos e matações de rochas, arrastados pela lâmina.

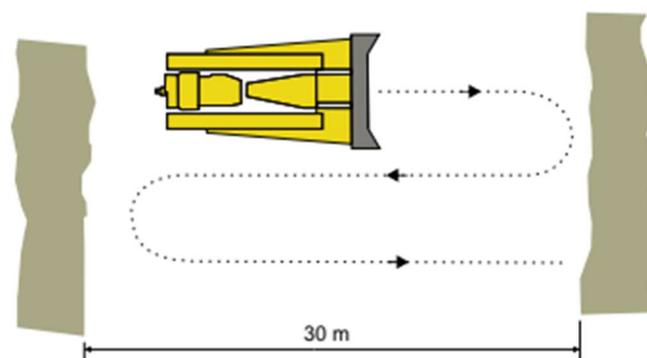
Podem-se destacar dois processos utilizados na execução do desmatamento: corte em paralelo e corte em retângulos.

Nos cortes em paralelo o trator percorre trajetetos paralelos, mas com sentidos contrários, empilhando o entulho nos dois lados.

A distância percorrida em cada lance deve variar entre 30 e 60 m, ficando nos limites econômicos do equipamento.

A lâmina permanece na posição normal, sem angulagem, devendo, cada passada, corresponder à sua largura.

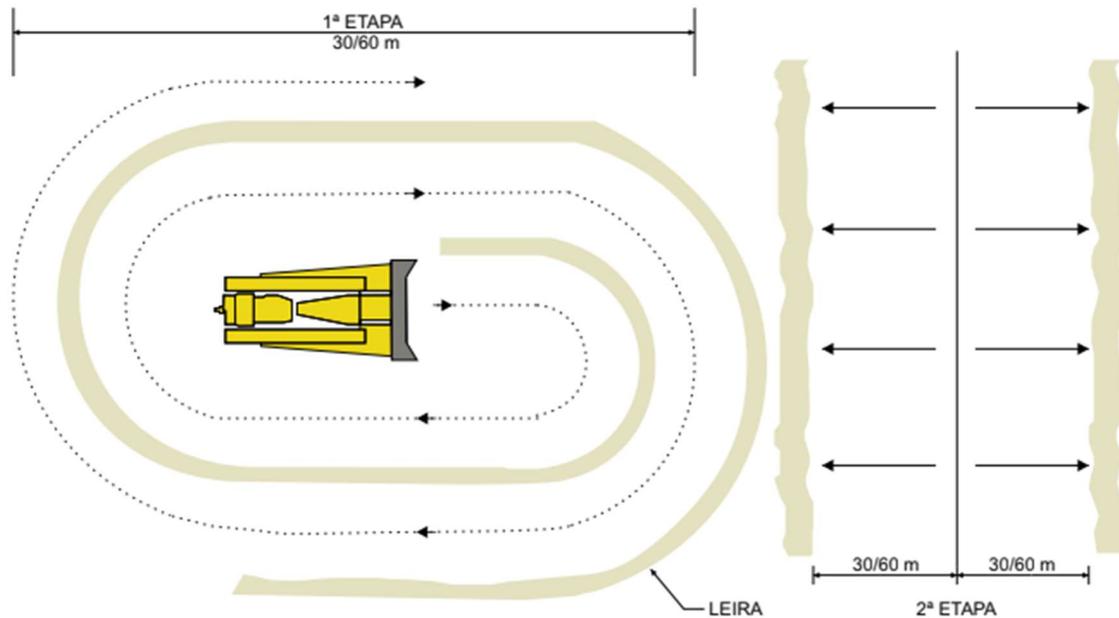
Figura 18 – Desmatamento – Corte em paralelo



Fonte: DER/PR, 1996.

O corte em retângulo pode ser feito em perímetros crescentes ou decrescentes, com a lâmina em posição angulada (1ª etapa), deixando o entulho leirado. A seguir deve ser empurrado para os dois lados, formando pilhas (2ª etapa).

Figura 19 – Desmatamento – Corte em retângulo



Fonte: DER/PR, 1996.

Adicionalmente, em função do anteriormente exposto, pode-se constatar a conveniência da utilização, de forma conjugada com os equipamentos mencionados, de outros implementos.

2.1.5.1 Empurrador de árvores

É um implemento formado por um quadro reforçado colocado sobre a lâmina e que eleva o ponto de aplicação da força, com maior momento de tombamento, aumentando a sua eficiência.

Tem, ainda, a vantagem de deixar a máquina mais afastada da árvore, livrando-a, em parte, da queda de galhos secos.

Figura 20 – Empurrador de árvores

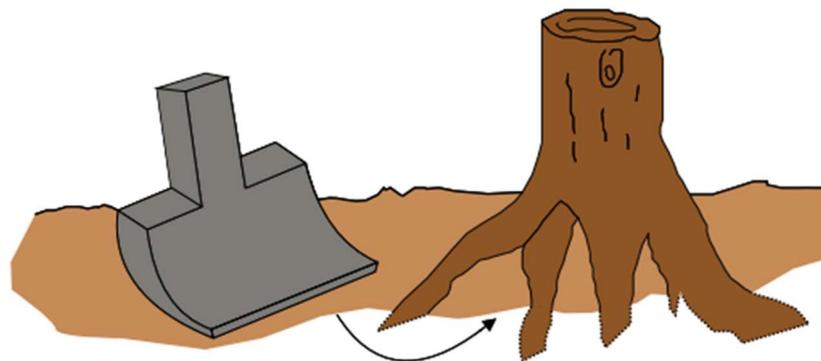


Fonte: Gessner, 2014.

2.1.5.2 Destocador

O destocador (stumper) é um implemento destinado à remoção de tocos deixados após o corte da árvore com a lâmina desmatadora.

Figura 21 – Destocador



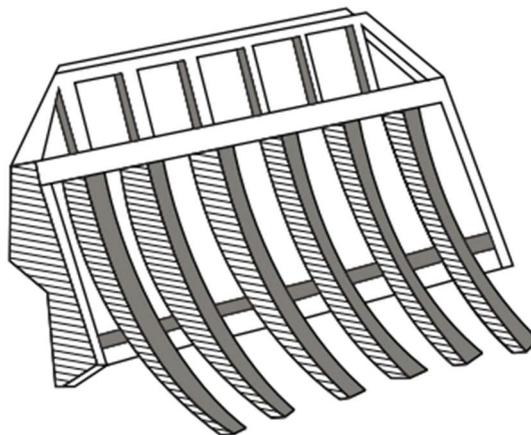
Fonte: DER/PR, 1996.

O princípio de sua aplicação é o uso da força concentrada do empuxo do trator numa área reduzida e ao mesmo tempo da força de levantamento da lâmina. A curvatura do destocador e sua pequena largura permitem a entrada no solo e aplicação da força por baixo do toco, removendo-o com todas as ramificações. Quando o sistema de raízes é muito desenvolvido é necessário o corte das raízes secundárias com a lâmina do trator.

2.1.5.3 Ancinho

Este implemento é frequentemente usado na derrubada de capoeiras e cerrados que apresentam vegetação de pequeno porte e diâmetro dos troncos menor do que 20 cm. É utilizado também no enleiramento ou formação de pilhas (leiras) do material anteriormente derrubado. Possui dentes bem espaçados e a própria lâmina tem aberturas que permitem a terra escoar, separando o “entulho” acumulado nas leiras, da terra vegetal.

Figura 22 – Ancinho



Fonte: DER/PR, 1996.

2.1.6 Outros elementos de obstrução

Após a limpeza, ou enquanto ela está sendo feita, ou ainda, mesmo antes de iniciá-la, podemos encontrar linhas de transmissão, cabos de fibra ótica de internet, de telefone, ou cercas, construções e outras benfeitorias, inclusive plantações. Quando isto acontece, deve-se tomar muito cuidado para evitar danos.

Quando se tratar de linhas, sejam elétricas, telefônicas ou de internet, elas não podem ser retiradas sem que antes se tenha autorização do proprietário. As linhas de transmissão ainda apresentam perigo de vida quando estão ligadas. As providências para sua retirada devem ser tomadas o mais cedo possível, pois as autorizações para remoção são geralmente demoradas.

Quando se tratar de construções ou outras benfeitorias (pequenos açudes, cercas, plantações etc.) é preciso saber se podem ser destruídas, se já foram indenizadas, ou pelo menos verificadas, para efeito de indenização. Dependendo da região em que se trabalhe, esse tipo de obstrução pode causar atrasos.

No caso de remoção de cercas, deve-se sempre construir primeiro a nova antes de remover a antiga, visando evitar estragos em plantações ou pastagens, ou ainda saída de animais para a faixa de trabalho, trazendo perigo ao trânsito.

2.1.7 Relocação do eixo e dos “off-sets”

Depois de feito o desmatamento e a limpeza do terreno, por melhores que sejam os cuidados na execução desses serviços sempre acontecem danos às marcações havendo, pois, a necessidade de verificar a marcação do eixo e dos “off-sets”. Esta nova marcação se chama de relocação.

A relocação dos “off-sets” só pode ser feita depois de relocado o eixo, pois os “off-sets” são sempre dados pela distância ao eixo. A marca de “off-set” dá a que distância do eixo fica a crista do corte ou a saia do aterro. O lugar em que esta marca é enterrada no terreno é onde deve passar a crista do corte ou a saia do aterro. Quando o “off-set” está marcando um corte, escreve-se nele a letra “c” e quanto deve ser cortado; quando marca um aterro marca-se nele a letra “a” e a altura que o aterro deve atingir, quando pronto. Pode-se, também, usando uma vara, fazer uma marca de tinta ou usar-se uma cruzeta na altura que o aterro deve atingir.

Da mesma maneira, deve ser procedido novo levantamento de seções transversais, as quais devem, então, ser assumidas como as “seções primitivas”, para todos os procedimentos pertinentes da execução, controle e medição dos serviços.

Além das marcas de “off-sets”, costuma-se também marcar nas estacas de eixo e a altura de corte ou de aterro. Assim, o topógrafo escreve na estaca, por exemplo: C 3,00 (corta 3 m) ou A 0,95 (aterro 95 centímetros).

Ainda em relação às marcações de eixo e “off-sets”, é preciso que se tome o maior cuidado com as mesmas durante a execução do serviço, pois, se elas não forem bem conservadas, tem-se que refazê-las frequentemente, com perdas de tempo, ou risco de cometer erros. É recomendável se amarrar essas marcações, de modo a poder rápida e facilmente refazê-las.

Maiores cuidados devem ser tomados com a conservação das referências de nível (RN), pois, se elas forem abaladas ou removidas durante o trabalho perde-se muito tempo até colocá-las novamente em ordem. O RN é um marco, geralmente em concreto, com uma cota conhecida e que é usada como referência para caracterização e definição das diversas cotas de terraplenagem na fase de implantação da obra.

2.2 Seleção dos Equipamentos para Terraplenagem

Concluídos os serviços preliminares de desmatamento e limpeza da faixa de ocupação da obra, torna-se mais fácil fazer uma avaliação do equipamento a utilizar, considerando-se todos os fatores que pesam nessa seleção. A seleção correta do equipamento de terraplenagem ideal para a execução de determinados trabalhos exige a análise de todos os fatores que exercem influência no seu desempenho.

A experiência mostra que vários parâmetros devem ser conhecidos ou determinados para permitir a escolha do equipamento mais indicado, do que resulta certa complexidade na solução do problema.

Os fatores que influem podem ser classificados em três grupos:

- a) fatores naturais;
- b) fatores de projeto;
- c) fatores econômicos.

Os fatores naturais dependem de circunstâncias locais como a topografia do terreno, a natureza dos solos existentes, a presença do lençol freático, regime de chuvas, etc.

Os fatores de projeto são representados pelo volume total a ser movido, as distâncias de transporte, rampas e as dimensões das plataformas.

O fator econômico que, por sua vez, depende dos fatores naturais e de projeto, pode ser resumido no custo unitário do serviço, que é decisivo na escolha a ser feita.

2.2.1 Natureza do Solo

A natureza do solo é o primeiro fator a ser considerado na escolha do equipamento, devendo ser conhecidas as características físicas do solo, tais como a granulometria, resistência ao corte, capacidade de suporte, umidade natural etc.

Quando os solos apresentam baixa capacidade de suporte, devido ao excesso de umidade ou presença de matéria orgânica, esses fatores eliminam a utilização de máquinas de pneus. Estas apresentam nessas condições sérios problemas de tração como falta de aderência e afundamento excessivo dos pneus.

O coeficiente de rolamento, expresso em kg/t (quilos por tonelada), indica fisicamente as condições apresentadas pela superfície de rolamento por onde a máquina deve trafegar e matematicamente o número de quilos por tonelada de peso da máquina opostos ao seu deslocamento na superfície. Considera-se que coeficientes de rolamento superiores a 100 kg/t inviabilizam o uso das máquinas de pneus.

As máquinas de esteiras, pelas melhores condições de tração que apresentam, podem ser utilizadas em solos mais fracos e úmidos.

Nos materiais moles só resta a opção pelas escavadeiras que são colocadas em pontos em que haja melhor condição de suporte, para efetuar a escavação a certa distância.

A presença do lençol freático elevado, interferindo com as plataformas e pistas de transporte podem obrigar a opção por equipamentos de esteiras.

Nos solos muito arenosos, desaconselha-se totalmente o uso dos tratores de esteiras por causa do grande desgaste por abrasão, causado pela presença de partículas silicosas.

2.2.2 Topografia

Os terrenos mais acidentados com rampas de forte inclinação, quer em aclives, quer em declives, impedem o emprego de certos equipamentos que não tem potência, esforço trator ou aderência suficientes. Nos declives mais acentuados a falta de segurança na operação pode tornar inviável o uso de certas máquinas que tem condição de balanceamento precária, como as escavadeiras.

Os equipamentos que se adaptam às condições topográficas desfavoráveis são:

- a) trator de lâmina, cujo limite operacional é de 45° (rampa de 100%);
- b) "scraper" rebocado, até rampas de 40%;
- c) "motoscraper" com dois motores, em rampas de até 30%.

Os caminhões basculantes comuns, vagões rebocados, tem o limite de rampa da ordem de 15%.

Os caminhões "fora de estrada", podem atingir cerca de 20%.

2.2.3 Regime de chuvas

As precipitações pluviais intensas, localizadas em certas épocas do ano, são fator importante a ser considerado no planejamento da obra e da escolha do equipamento.

Em certas regiões com tais características climáticas, o emprego de máquinas de pneus pode ser contraindicado, sobretudo se a ocorrência de chuvas se estender por períodos maiores.

2.2.4 Volume a ser movimentado

Este fator influi na escolha adequada do equipamento porque só os grandes volumes de terraplenagem justificam o uso de equipamentos de alta produtividade.

Os custos elevados de mobilização dos equipamentos, bem como do transporte da equipe, podem inviabilizar economicamente o seu uso, sobretudo se considerarmos o curto prazo de execução e o vulto econômico/financeiro da obra.

2.2.5 Distância de transporte

Considerado individualmente este é o principal fator a ser levado em conta porque as operações básicas de carga, descarga e manobras demandam tempos relativamente pequenos em relação aos de transporte de ida e retorno. Estes são os que pesam efetivamente no custo da terraplenagem. Sabendo-se que a produção do equipamento diminui drasticamente com as distâncias, torna-se evidente que os custos unitários crescem proporcionalmente, sendo o custo horário constante.

Para as distâncias curtas (<100 m) os tratores de lâmina são os que apresentam menores custos, apesar de baixa velocidade, tornando-se antieconômicos nas distâncias maiores.

Na faixa de 100 m a 300 m podem ser empregados os "scrapers" rebocados porque transportam maiores volumes, compensando a baixa velocidade.

Nas grandes distâncias, maiores do que 2000 m, a produção das máquinas escavo-transportadoras decresce e o custo unitário aumenta. Nessa faixa, a adoção de veículos de transporte de baixo custo de aquisição, carregados por escavo-carregadores,

conduz a preços unitários inferiores aos dos “motoscrapers”, sem exigir investimentos muito grandes.

2.2.6 Fator econômico

Pelo que ficou exposto, há faixas de distâncias de transporte que são mais econômicas para o emprego de certo tipo de equipamento. Mas essas faixas não são perfeitamente delimitadas, havendo superposição de algumas, o que significa que duas ou mais equipes podem ser utilizadas economicamente, além da existência de peculiaridades locais que podem afetá-las.

A seleção definitiva será feita mediante a estimativa realista da produção e do seu custo provável.

Como são muitos os parâmetros que intervêm na escolha, a solução definitiva só será estabelecida através do conhecimento de todos os dados do problema, investigando-se o desempenho de várias equipes, para, finalmente concluir-se com segurança qual a mais econômica.

2.3 Descrição e Caracterização dos Equipamentos Principais a Utilizar

Tendo em consideração os fatores que influem na seleção dos equipamentos, mas não se dispondo de dados sobre a localização da obra nem das suas características, fazem-se algumas considerações sobre a utilização generalizada dos principais equipamentos em vários tipos de obras rodoviárias.

2.3.1 Trator de esteiras com lâmina

O trator de esteiras com lâmina é o equipamento mais versátil para a escavação, sendo utilizado em todas as fases da terraplenagem desde o início até seu término.

Figura 23 – Trator de Esteira com Lâmina



Fonte: Caterpillar, 2023.

Três características básicas do trator de esteiras vão definir as aplicações deste equipamento na terraplenagem:

- a) alta aderência entre as esteiras e o terreno, permitindo a aplicação de esforços tratores elevados sem que ocorra o patinamento;
- b) baixa pressão de contato gerada entre a superfície das esteiras e solo em razão da grande área de contato ($0,5 \text{ kg/cm}^2$ a $0,8 \text{ kg/cm}^2$), permitindo a operação em solos fofos ou moles, sem que haja excessivo afundamento;
- c) velocidade reduzida, cerca de 13 km/h na marcha mais alta, com a máquina sem carga, em marcha-a-ré.

Em consequência dessas características os tratores de esteiras têm o seu campo de aplicação quando:

- a) as distâncias de transporte são limitadas a 100 m, pois a baixa velocidade de escavação e o transporte da terra implicam em produção reduzida para distâncias maiores e custos mais altos. A limitação da distância decorre apenas de fatores econômicos e a faixa de maior produtividade e menor custo fica situado entre 30 m a 50 m;

- b) rampas de forte declividade (aclives) são superadas facilmente graças ao esforço trator elevado e às boas condições de aderência. O limite de aplicação em rampas, ditada por razões de segurança atinge até 45°.

Nos declives, a operação em rampas fortes é perfeitamente segura desde que o terreno esteja seco e não haja o risco de desmoronamento sob o peso da máquina:

- a) pelas baixas pressões de contato o trator de esteiras pode trabalhar em terrenos de baixa capacidade de suporte e nos solos úmidos porque o afundamento é reduzido.
- b) sempre que possível o trator de lâmina deve escavar em rampas favoráveis (declives) pois haverá acréscimo de produção em consequência da força ativa representada pela assistência de rampa.

2.3.1.1 Utilização em escavação e transporte a curtas distâncias

Quando a distância dos centros de massa dos cortes e aterros for inferior a 50 m e os volumes a mover forem pequenos, o equipamento indicado é o trator de lâmina. Nesse caso a máquina executa todas as operações básicas, ou seja, escava, transporta e espalha o material através de sucessivas passadas da lâmina.

A faca de corte da lâmina, recebendo o empuxo dos cilindros hidráulicos, exerce forte pressão sobre o terreno, valores altos, exigindo esforço trator elevado, as esteiras podem vencer as forças de aderência e iniciam o patinamento em relação ao solo. Pode ocorrer também a parada do motor por falta de torque. Para evitar essas possibilidades o operador deve suspender um pouco a lâmina, deixando que parte da terra escoe, diminuindo as resistências e com aumento da velocidade. Para a descarga e espalhamento do material basta manter a lâmina afastada do terreno, obtendo-se camada de espessura mais ou menos constante. O retorno será feito em marcha a ré, sem necessidade de manobras, com a marcha de maior velocidade.

Observa-se que mesmo não havendo equipamento de compactação o aterro receberá algum adensamento proveniente do peso próprio do trator na camada de material.

2.3.1.2 No espalhamento do material na ponta de aterro

O material transportado para o aterro com "motoscaper", caminhões basculantes ou vagões será espalhado em camadas de espessura uniforme a fim de permitir a compactação.

Esta tarefa é feita por tratores de lâmina por se tratar de pequenos volumes empurrados a curta distância. Para melhor regularizar as camadas o operador pode passar a lâmina rasante ao terreno no trajeto de volta, para acertar as imperfeições deixadas na ida.

Na hipótese de surgir algum material indesejado como restos vegetais, pedras ou restos de construções demolidas, esse será removido pelo trator de espalhamento.

2.3.1.3 Na raspagem

A operação de raspagem é definida como o corte superficial com altura máxima de 0,40m em seção plena ou 0,80m em seção mista. Tratando-se de escavação de pouco volume e curta distância de transporte, o trator de lâmina é a máquina indicada no caso, desde que não haja preocupação com cotas precisas de acabamento da terraplenagem.

2.3.1.4 No preparo das áreas de corte e de aterro

Após a limpeza da faixa, a etapa seguinte será o preparo das áreas de corte e aterro para permitir a entrada de outros equipamentos. Esse trabalho preparatório é feito com os tratores de lâmina.

Há duas hipóteses a considerar: o equipamento que será utilizado na escavação será o trator de lâmina ou o "motoscaper".

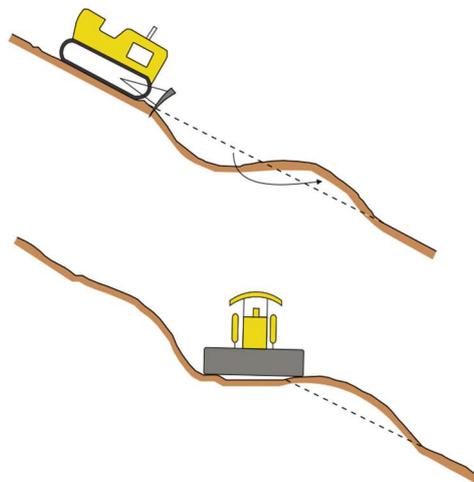
Quando for usado o trator de lâmina não há necessidade de grande preparo prévio pois essa máquina faz a sua própria pista a cada passada.

Somente nas áreas com topografia irregular e com forte declividade essa providência será tomada.

Quando a inclinação transversal do terreno natural for muito grande na área de corte deve-se preparar uma plataforma horizontal com a largura de lâmina pois a máquina não deve escavar com inclinação lateral.

Essa plataforma será feita com a própria lâmina no sentido transversal ao eixo, de cima para baixo, através de passadas curtas até atingir-se um perfil horizontal suficiente para a passagem da máquina no sentido longitudinal do corte.

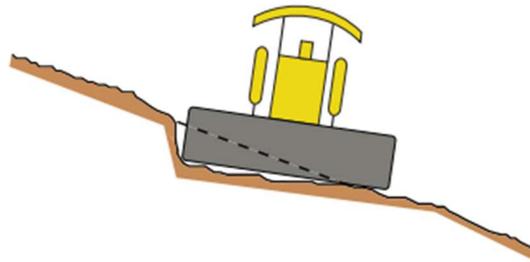
Figura 24 – Corte transversal com plataforma horizontal



Fonte: DER/PR, 1996.

Havendo um trator com lâmina inclinável, o preparo da plataforma pode ser feito com maior facilidade e rapidez, iniciando-se o corte com o canto da lâmina.

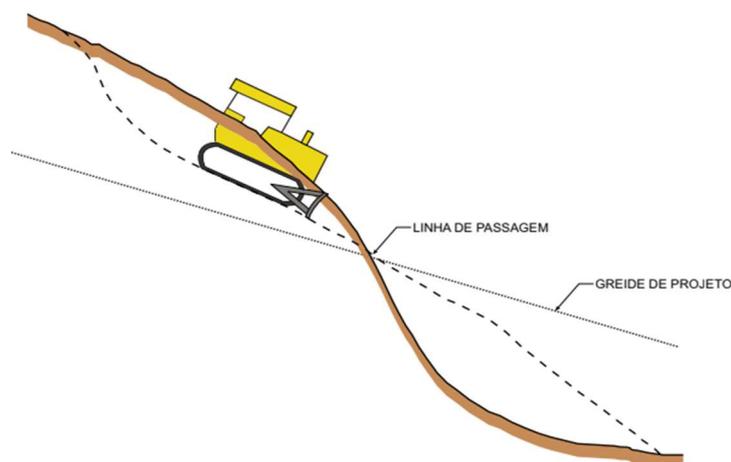
Figura 25 – Trator com lâmina inclinável



Fonte: DER/PR, 1996.

Para fortes declividades longitudinais, às vezes, é indicado o preparo de uma rampa inicial junto à linha de passagem (LP) atenuando a inclinação natural do terreno, facilitando o retorno do trator em marcha a ré com velocidades mais altas.

Figura 26 – Corte com rampa inicial



Fonte: DER/PR, 1996.

Se o “motoscraper” for utilizado na escavação deve-se preparar uma pista inicial horizontal (no sentido da seção transversal) para que a máquina não trabalhe inclinada lateralmente, à semelhança do que foi descrito atrás para o trator.

No sentido longitudinal do corte será providenciada uma pista de serviço com declividades compatíveis, quer no trajeto de ida como no retorno, para permitir o tráfego do equipamento com segurança nas descidas e proporcionar maiores velocidades no retorno.

Na área de aterro prepara-se uma praça de retorno para permitir a manobra da máquina, bem como para facilitar a descarga da terra e que deverá ter perfil horizontal.

A abertura da pista e da praça será feita com o trator de lâmina, para permitir em seguida, o início da escavação com as unidades escavo-transportadoras.

2.3.1.5 Na escarificação

Tratores de esteira providos de escarificadores acionados por cilindros hidráulicos são utilizados no desmonte de materiais de 2ª categoria que pela sua compactidade não permitem o corte com as lâminas comuns.

Os dentes do escarificador, aplicados sob pressão sobre o terreno, rompem o material duro até certa profundidade, através de várias passadas sendo, em seguida removido com os equipamentos normais.

Há tratores de grande porte com escarificadores apropriados ao trabalho pesado que escarificam materiais compactos (rocha pouco alterada), evitando-se o emprego de explosivos.

Entretanto, os custos correspondentes dos tratores empregados de forma intensiva na escarificação são maiores do que os apropriados na escavação normal devido ao desgaste sofrido, onerando as despesas de manutenção.

2.3.1.6 No emprego como trator "pusher"

Os tratores de esteiras com lâminas especiais para o empuxo são empregados para aumentar o esforço trator total disponível durante a operação da carga dos "motoscrapers".

As unidades com servo-transmissão são indicadas para essa tarefa. Como as máquinas trabalham acopladas, submetidas a esforços e impactos que variam em intensidade, convém que operem de forma conjugada. Esse tipo de transmissão é ideal porque os

esforços tratores gerados se adaptam às condições vigentes de resistência oposta pelo corte da terra, variando-se automaticamente as velocidades sem a intervenção do operador. São eliminados os choques bruscos e impactos que podem danificar partes da transmissão, ao mesmo tempo em que se reduz o seu desgaste, com menores despesas de manutenção.

Deve-se observar que deve haver adequação entre a potência do "pusher" e a capacidade do "motoscraper" para permitir a carga completa da caçamba dentro do tempo previsto pelo fabricante.

Essa relação deve ser de 15 a 20 HP por metro cúbico de capacidade da caçamba. Durante o carregamento, as máquinas acopladas devem permanecer alinhadas para evitar tensões excêntricas prejudiciais.

2.3.1.7 No acabamento de taludes

Os tratores de lâmina podem ser empregados eventualmente no acabamento dos taludes de corte, utilizando-se a lâmina inclinada lateralmente e fazendo-se o corte com o canto da lâmina.

Essa operação em rampas fortes apresenta o inconveniente de obrigar o equipamento a trabalhar com grande inclinação lateral, sobrecarregando os esforços sobre uma das esteiras, o que pode ocasionar o desgaste desigual.

Para minimizar esse problema deve-se procurar alternar a posição da máquina, fazendo cortes em sentidos opostos.

2.3.1.8 Nas escavações em trincheira

Esse processo de escavação é empregado no empilhamento de materiais soltos, permitindo o acúmulo de maiores volumes à frente da lâmina pela eliminação das perdas laterais.

Figura 27 – Escavações com trator de lâmina



Fonte: DER/PR, 1996.

A lâmina trabalha confinada pelas paredes da trincheira e o maior volume transportado pode aumentar a produção em 20%.

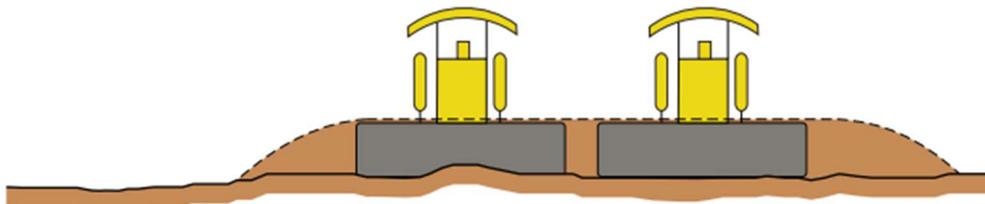
2.3.1.9 Na escavação em valas e valetas

Embora haja equipamentos apropriados para a abertura de valas e valetas, na falta destes, o trator de lâmina pode executá-las. Nas valetas rasas a escavação pode ser feita com o canto da lâmina inclinada.

2.3.1.10 Na operação conjunta de duas máquinas

Na escavação de material solto ou nos trabalhos de raspagem pode-se aumentar a produção com duas máquinas idênticas, trabalhando lado a lado, mantendo as lâminas muito próximas. Boa produção é obtida no empilhamento de material solto com grandes volumes a serem movimentados.

Figura 28 – Operação conjunta de duas máquinas



Fonte: DER/PR, 1996.

2.3.2 “Motoscrapers”

Os “motoscrapers” são unidades escavo-transportadoras de diferentes tipos, normalmente empregadas na terraplenagem de volumes médios a grandes e estão indicados onde a topografia é adequada à sua utilização e onde os terrenos são de compacidade normal:

- a) "motoscraper" convencional;
- b) "motoscraper" com dois motores (tração nas 4 rodas);
- c) "scraper" rebocado por trator de esteira.

Figura 29 – Motoscraper



Fonte: Caterpillar, 2023.

O "motoscaper" convencional apresenta as seguintes características:

- a) velocidade alta (50km/h);
- b) baixa aderência ao terreno;
- c) afundamento em solos de baixa capacidade de suporte;
- d) volumes da caçamba superiores a 10m³;
- e) carga com trator "pusher";
- f) rampa máxima $\pm 15\%$ (equipamento carregado).

O "motoscaper" com dois motores caracteriza-se por:

- a) velocidade alta;
- b) boa aderência ao terreno;
- c) dispensa o trator "pusher" (auto-carregamento);
- d) rampa máxima: $\pm 30\%$ (equipamento carregado).

Figura 30 – Motoscaper com dois motores



Fonte: Caterpillar, 2023.

O "scraper" rebocado apresenta:

Figura 31 – Scraper rebocado



Fonte: John Deere, 2023.

- a) velocidade baixa (14km/h);
- b) boa aderência ao terreno;
- c) pouco afundamento das esteiras da unidade
- d) auto-carregamento;
- e) rampa máxima: $\pm 40\%$ (equipamento carregado).

2.3.2.1 Utilização do "motoscraper" convencional

Este equipamento é usado nas terraplenagens de volumes médios a grandes, na faixa de distância superiores a 100m (800 a 1000m), e nos terrenos de compacidade normal.

Não deve ser utilizado em locais acidentados, com fortes acíves e declives, mas de preferência em terrenos ondulados mais favoráveis no que diz respeito às rampas.

As pistas de transporte devem apresentar baixo coeficiente de rolamento (pouco afundamento) para que a máquina possa desenvolver velocidades altas, que é a sua principal vantagem.

Sendo máquinas de alta produção, os volumes a serem terraplenados devem ser compatíveis, isto é, não são indicadas para pequenos volumes devido aos custos de

mobilização e transporte que são altos, inviabilizando economicamente as obras de pequeno porte.

A limitação da distância de transporte é meramente econômica, pois, esse equipamento pode operar em distâncias superiores a 1000 m ou mais, mas com aumento dos custos.

2.3.2.2 Utilização do "motoscaper" com dois motores

Este equipamento tem o seu campo de aplicação de preferência em terrenos classificados na 1ª categoria, mas que se apresentam mais resistentes ao desmonte (materiais rijos), exigindo maiores esforços tratores e boas condições de tração derivadas dos seus dois eixos motrizes.

Como podem desenvolver velocidades maiores em trechos acidentados, com rampas fortes, são usados em trajetos mais longos e de topografia desfavorável.

Nos terrenos menos resistentes ao corte o auto carregamento é possível, sem auxílio do "pusher".

Nos materiais muito compactos, mesmo com tração nas quatro rodas, pode-se utilizar o trator "pusher" desde que a introdução dessa máquina auxiliar seja economicamente viável. Usados no sistema "push-pull" em que duas máquinas trabalham acopladas durante a carga, auxiliando-se mutuamente, prescindem do auxílio do trator empurrador.

2.3.2.3 Utilização do "scaper" rebocado por trator de esteiras

A sua maior aplicação decorre das próprias características da máquina, isto é, será preferida nos trajetos curtos e médios (< 300m) com terrenos de corte difícil (compactos). As pistas podem apresentar alto coeficiente de rolamento devido à baixa capacidade de suporte ou ao excesso de umidade porque as boas condições de tração das esteiras superam estes problemas.

Podem operar em locais de topografia acidentada pois a sua capacidade de vencer aclives fortes é muito boa.

Em resumo, os equipamentos escavo-transportadores usados racionalmente dentro das faixas de distâncias recomendadas têm grande produtividade, do que resulta custos unitários baixos se comparados com os de outros equipamentos.

Entretanto seu potencial produtivo pode ser afetado por fatores adversos surgidos, que se não forem eliminados, diminuem substancialmente o rendimento com o inevitável aumento de custos.

É conveniente o exame detalhado desses fatores para atingir-se a otimização do desempenho dessas unidades.

2.3.2.4 Uniformização da frota

É aconselhável o emprego de equipamentos do mesmo tipo e que apresentem as mesmas características de potência, velocidade e capacidade. Caso contrário as máquinas mais velozes serão retardadas pelas mais lentas, desaparecendo o sincronismo na operação.

Mesmo com máquinas semelhantes convém que o estado mecânico de conservação seja tal que elas possam desenvolver a mesma potência e velocidade. Máquinas muito desgastadas não apresentam o mesmo desempenho mecânico das unidades novas e acabam interferindo negativamente no ciclo de produção destas últimas.

Não havendo alternativa senão o emprego de equipamentos diferentes, a experiência mostra que a velocidade mais alta resulta em maior produção. É preferível que as unidades mais lentas sejam carregadas com menores volumes para que o aumento de velocidade com maior número de ciclos compense a produção obtida no turno de trabalho.

2.3.2.5 Técnicas de carregamento

A operação de carregamento do "motoscaper" é considerada um tempo constante, mas existem alguns fatores que tendem a aumentá-lo ou diminuí-lo com a correspondente variação na produção.

2.3.2.6 Área de corte

Deve-se evitar o congestionamento e as interferências entre máquinas na área de corte que causam tempos de espera evitáveis e prejudicam a operação do "pusher" - máquina básica - que governa o rendimento do conjunto. A área de carga deve ser ampla, com o terreno regular para não haver retardamento das unidades.

Figura 32 – Carregamento do “motoscaper” com auxílio do trator “pusher”



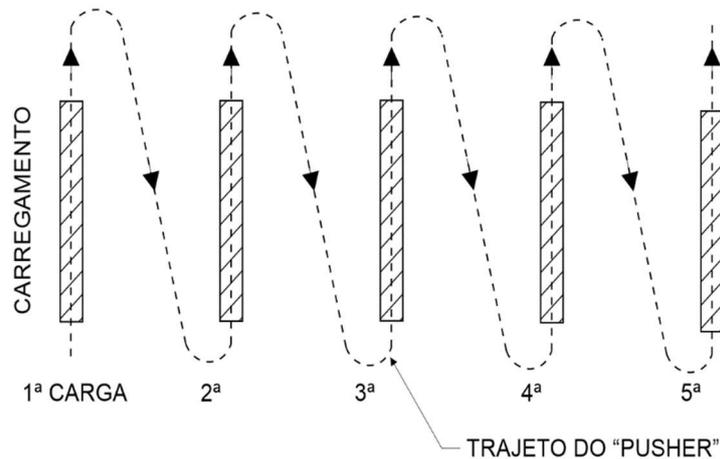
Fonte: Caterpillar, 2023.

Os tratores "pusher", quando ociosos, podem fazer a regularização da área, removendo desníveis, degraus e rampas que prejudicam o tráfego das máquinas. Se não, um trator de lâmina em certos períodos do turno de trabalho deve fazer essa conservação.

Há duas técnicas que podem ser usadas no carregamento dos "motoscaper" pelo trator "pusher".

Nos cortes de boa largura faz-se o empuxo pelo sistema de "lançadeira" e no qual as cargas são feitas praticamente na mesma seção transversal, deslocando-as nesse sentido.

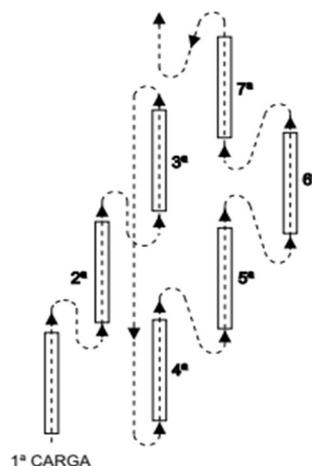
Figura 33 – Operação em Lançadeira



Fonte: DER/PR, 1996.

Nos cortes estreitos, com plataformas de pouca largura usa-se a operação em "série", na qual os carregamentos são distribuídos ao longo da seção longitudinal.

Figura 34 – Operação em Série



Fonte: DER/PR, 1996.

No decorrer do trabalho pode-se, se necessário, alternar os dois sistemas, de modo que as camadas de corte sejam efetuadas por igual sem desníveis ou irregularidades.

2.3.2.7 Assistência de rampa - carregamento em declive

A carga do "motoscaper" deve ser feita em rampas favoráveis, aproveitando-se a assistência de rampa que se adiciona ao esforço trator próprio das máquinas, estimada em 10kq/t do peso total da máquina para cada 1% de rampa. Uma unidade de 50t num declive de 10% recebe a força adicional de $10 \times 50 \times 10 = 5.000\text{kg}$, o que se traduz em termos práticos em tempos de carregamento menores.

É importante consignar que nas operações cíclicas da terraplanagem, pequenas economias de tempo exercem muita influência em termos de produção no final do turno de trabalho. Admitindo-se que a assistência de rampa reduzisse o tempo de carga de cada unidade 0,1min. (6 segundos), se tivéssemos uma equipe de 5 máquinas trabalhando 8 horas por dia e efetuando 10 ciclos por hora (tempo de ciclo = 6min), a economia de tempo num turno de trabalho seria $5 \times 8 \times 10 \times 0,1 = 40\text{min}$, ou seja, ao fim do dia teríamos o aumento de produção correspondentes a $2/3$ de hora ou 8%.

Observação: a fim de ganhar tempo no carregamento, deve-se instruir os operadores para que iniciem o corte sem auxílio do "pusher", até que percebam a falta de torque do motor ou o patinamento das rodas motrizes. A experiência de campo mostra que nessas condições se consegue o enchimento parcial da caçamba de até $1/5$ da capacidade. O "pusher" completará o carregamento, mas o tempo gasto na operação será reduzido de 15% aproximadamente.

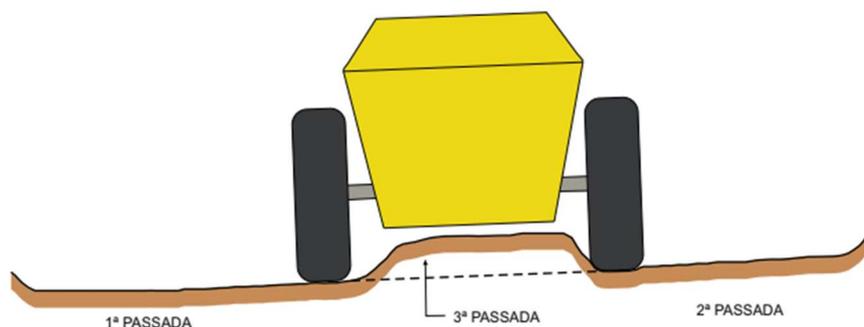
2.3.2.8 Carregamento em materiais arenosos

Em solos arenosos há tendência de o material acumular-se à frente da caçamba, dificultando o fluxo de carregamento. Recomenda-se a técnica do "bombeamento", abaixando-se o avental sobre o material amontoado e, em seguida, movimentando-se a lâmina para cima e para baixo, cortando-se maior ou menor profundidade de camada, o que facilita a entrada do solo arenoso.

2.3.2.9 Carregamento em faixas alternadas

Para facilitar a carga pode-se usar o sistema de passadas alternadas, isto é, entre duas cargas consecutivas deixa-se uma faixa sem cortar com largura ligeiramente inferior à da caçamba. Uma terceira passada sobre essa faixa permitirá carga mais rápida já que não existem resistências laterais de atrito nos bordos externos do "scraper".

Figura 35 – Carregamento em faixas alternadas



Fonte: DER/PR, 1996.

2.3.2.10 Pré-escarificação

Em materiais argilosos dotados de grande coesão, secos e compactos e que oferecem grande resistência ao desmonte faz-se a pré-escarificação para se conseguir a carga mais rápida do "scraper".

2.3.2.11 Adensamento da carga

Para se conseguir maior adensamento do material no momento da carga o ejetor é avançado até a frente da caçamba de modo que a terra é comprimida contra sua superfície, obtendo-se cargas maiores em peso de até 25%.

2.3.2.12 Carga

Em terrenos compactos que tendem a aumentar o tempo de carga é preferível diminuir

ligeiramente o volume transportado por viagem, desde que se consiga o carregamento mais rápido. Ao fim do turno de trabalho constata-se que se produziu maior volume, ainda que com carga menor, graças ao maior número de ciclos efetuados.

2.3.2.13 Espessura do corte

A determinação da melhor espessura para o corte obtida pela profundidade da lâmina é importante porque, se o corte for muito profundo, há aumento das resistências ao movimento e do tempo de carga e, se for muito superficial, gasta-se mais tempo para completar a carga.

A altura de corte ideal será a mais profunda possível, desde que a carga se faça num tempo razoável e com velocidade constante, sem sobrecarga de motor e sem patinamento das rodas motrizes. Se tal acontecer, o operador deve reduzir a profundidade de corte.

2.3.2.14 Travamento

A trava de diferencial (ambas rodas motrizes recebem torque e giram à mesma velocidade), deve ser utilizada sempre que haja o patinamento das rodas motrizes durante o transporte. O travamento só pode ser usado em trajetos retilíneos.

2.3.2.15 Conservação da área de corte

A melhor maneira de se conseguir carga rápida dos "motoscrapers" é a conservação da área de corte, regularizando-a e eliminando desníveis e degraus que causam o retardamento pela redução de velocidade. Um trator ou motoniveladora deve ser designado para efetuar essa tarefa.

Ao completar-se a carga, a lâmina de corte do "scraper" (bordo cortante) deve ser elevada lentamente para que a parte final do corte fique regular, sem degraus o que ajuda a conservação da área.

2.3.2.16 Transporte

Analisando-se o ciclo das unidades escavo-transportadoras verifica-se que o tempo consumido durante o transporte representa grande parte do ciclo. Os tempos de carga, descarga e manobras consomem geralmente pequena fração do mesmo.

Por esse motivo as perdas de tempo ocorridas na fase de transporte são as que mais influem na produção e, portanto, no custo da terraplenagem executada com "motoscraper". As pistas de transporte devem ter boas condições de rolamento, boa drenagem e largura suficiente. Caso qualquer desses itens não seja atendido a velocidades da máquina tende a reduzir-se, ficando abaixo das velocidades máximas possíveis, aumentando o tempo consumido no transporte.

Todo movimento feito com velocidade inferior à máxima possível significa o aumento do tempo de ciclo, como se um tempo de parada adicional fosse acrescido, diminuindo o fator de eficiência.

As pistas mal conservadas provocam choques e impactos que são transmitidos à máquina, resultando em maior desgaste e aumento dos custos de manutenção. Como efeito temos grande diminuição da velocidade desenvolvida.

2.3.2.17 Resistência de rolamento

A baixa resistência ao rolamento e boa capacidade de suporte são importantes para evitar o afundamento dos pneus no terreno, que é o principal responsável pela diminuição de velocidade.

Os terrenos fracos quanto ao suporte, instáveis ou com comportamento elástico devem ser recobertos ou substituídos por solos de boa qualidade compactados.

O Quadro 2, seguinte, mostra a rápida diminuição da velocidade com o aumento do afundamento. Um "motoscraper" de 62t de peso total, teria sua velocidade reduzida de

25km/h para 6km/h, se a resistência de rolamento aumentasse de 40kg/t para 90kg/t. O tempo de percurso num trecho de 200m aumentaria de 0,5min para 2,0min.

Quadro 2 – Diminuição da velocidade com o aumento do afundamento

| R_r^* (kg/t) | Afundamento (cm) | ΣR^{**} (kg) | Velocidade Máxima em 3ª marcha - Declividade $i=0\%$ (km/h) |
|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 20 | | 1.240 | 46 |
| 30 | 1,70 | 1.860 | 42 |
| 40 | 3,40 | 2.480 | 25 |
| 50 | 5,00 | 3.100 | 22 |
| 60 | 6,70 | 3.720 | 20 |
| 70 | 8,30 | 4.340 | 14 |
| 80 | 10,00 | 4.960 | 12 |
| 90 | 11,70 | 5.580 | 6 |
| 100 | 13,30 | 6.200 | 2 |

* R_r : Resistência de Rolamento

** ΣR : Soma das resistências de rolamento e rampa

2.3.2.18 Conservação das pistas

Mesmo em terrenos de bom suporte, as repetidas passagens dos "motoscrapers" sobre as mesmas faixas da pista tendem a ondulá-la e a formar cavidades que dificultam o deslocamento da máquina, reduzindo a velocidade e transmitindo impactos e vibrações à estrutura.

Quando há períodos de estiagem, o solo superficial perde rapidamente a umidade natural, formando espessa camada de poeira. Com a passagem dos pneus forma-se uma nuvem que envolve a máquina, diminuindo a visibilidade. As partículas em suspensão no ar recobrem as partes expostas que contém lubrificantes, graxa ou óleo diesel, formando uma pasta adesiva e abrasiva de efeito nocivo sobre os componentes mecânicos.

Observações: A tomada de ar e o purificador que retém a poeira precisam de manutenção constante e a troca em períodos curtos. Quando os filtros ficam obstruídos por falha na manutenção, a admissão de ar pode ter o fluxo diminuído e o motor apresentará problemas como perda de potência, falhas na combustão, etc.

A presença da poeira constitui-se num risco à segurança da máquina pela possibilidade de abalroamentos e outros acidentes, pela falta de visibilidade. Normalmente, para combatê-la, deve-se umedecer as pistas com caminhões pipa.

É indispensável o emprego de motoniveladora para conservar a pista em bom estado, regularizá-la e remover o excesso de poeira ou de lama. Essas providências devem ser tomadas assim que se percebe perda de velocidade nos equipamentos.

2.3.2.19 Drenagem

Havendo a ocorrência de chuvas, a camada de poeira transforma-se em lama, reduzindo bastante a aderência dos pneus com o solo e provocando problemas de tração.

O umedecimento progressivo do solo, por ocasião de precipitações prolongadas, reduz sua capacidade de suporte e aumenta a resistência de rolamento da pista.

A melhor maneira de evitar esses problemas é a drenagem rápida e eficiente da estrada de serviço, através dos caimentos transversal e longitudinal, afastando as águas pluviais.

A eliminação de pontos baixos ou de drenagem insuficiente evita a acumulação de água e formação de lama.

2.3.2.20 Largura da pista

O desempenho dos equipamentos é afetado pela largura da pista. Quando há o cruzamento de veículos em sentidos contrários ou mesmo na ultrapassagem de outro veículo estacionado, há deliberada e forte redução de velocidade pelo operador, quando a largura é insuficiente. A regra básica nesse aspecto consiste em estabelecer a dimensão transversal compatível com a largura do maior equipamento em tráfego. A experiência

recomenda que ela seja no mínimo três vezes a da máquina para possibilitar o cruzamento e a ultrapassagem sem redução de velocidade.

2.3.2.21 Visibilidade

As curvas de pequeno raio, com visibilidade deficiente, devem ser evitadas, pois, o operador tende a diminuir a velocidade. Se isso não for possível deve-se organizar o tráfego nesses locais para evitar abalroamentos e colisões.

2.3.2.22 Velocidade

O operador deve ser instruído para utilizar as marchas de maior velocidade em cada trecho do trajeto (compatível com a segurança) e nos declives longos acionar o retardador. Em caso de emergência pode-se frear a máquina e pará-la rapidamente, abaixando a caçamba sobre o terreno. As variações bruscas de velocidade (aceleração e frenagem) devem ser evitadas porque consomem energia e, por conseguinte, mais combustível.

Todas essas medidas e outras que as condições locais indiquem devem ser implantadas com o objetivo de se atingir nas condições reais da pista as velocidades que o estudo da locomoção da máquina indicou como adequadas aos diversos trechos.

2.3.2.23 Descarga

O tempo de descarga é considerado fixo, mas poderá ser modificado devido às condições locais.

A descarga de solos argilosos muito plásticos, com alto teor de umidade, é dificultada pela aderência às paredes da caçamba e pela impossibilidade de fluir com facilidade devido à formação de massas úmidas.

Para abreviar o tempo de descarga recomenda-se manter o fundo da caçamba distante do terreno para facilitar o fluxo de material entre o bordo cortante e o chão. O avental deve ser elevado, permitindo o despejo do material por gravidade.

Por fim o ejetor é acionado, completando a descarga. Caso ocorra a tendência ao empilhamento da terra à frente da caçamba dificultando-a, o operador deve abaixar o avental lentamente sobre o material acumulado pressionando e forçando sua passagem entre o fundo da caçamba e o terreno.

2.3.3 Escavadeira com Caçamba Frontal “Shovel”

Esta escavadeira faz parte das unidades escavo-carregadoras que executam apenas duas operações básicas: a escavação e a carga da caçamba. As operações complementares de transporte e descarga são feitas pelas unidades transportadoras, havendo a combinação de dois ciclos individuais.

Figura 36 – Escavadeira com caçamba frontal



Fonte: Caterpillar, 2023.

Deve haver o sincronismo na operação, ou seja, não deve ocorrer espera por nenhuma das máquinas.

O fluxo de material carregado deve ser absorvido integralmente pela frota de transporte, sendo essa a condição em que o número de unidades da frota será determinado.

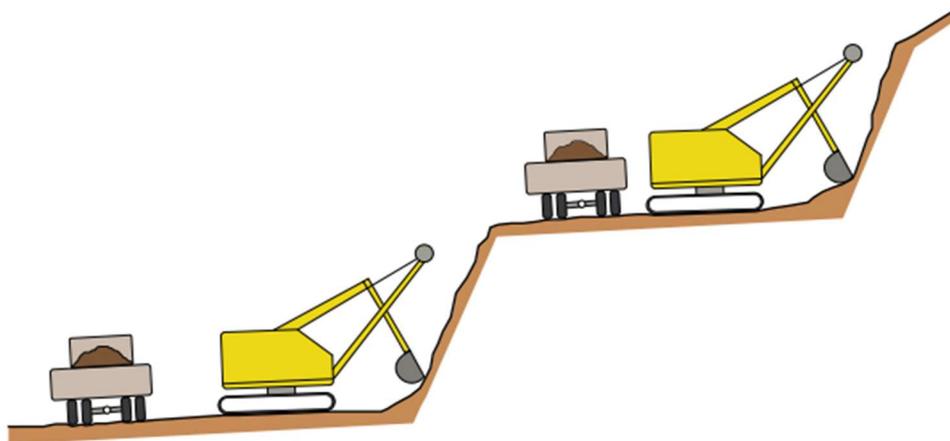
Esse equipamento escava sempre em taludes situados acima do nível em que a máquina se encontra, tendo o seu alcance limitado pelo comprimento do braço móvel.

Originalmente estas escavadeiras eram acionadas por guinchos e cabos de aço. Dispondo de grande força de desagregação, eram usadas na escavação de materiais de 1ª categoria compactos ou no carregamento de rocha fraturada em bancadas de corte ou de pedreiras.

As alturas do talude são determinadas pela capacidade da caçamba. Tabelas fornecidas pelos fabricantes indicam a altura "ótima" de corte para os vários tamanhos dos equipamentos, orientando o usuário na obtenção de maior produtividade.

Se as alturas de corte são muito grandes, fora do alcance da caçamba de carga, procede-se à implantação de bancadas que devem obedecer às alturas ótimas recomendadas. É a técnica do terraceamento, com várias máquinas trabalhando em níveis diferentes, o que diminui as interferências no tráfego das unidades de transporte que operam em diferentes planos.

Figura 37 – Técnica de Terraceamento



Fonte: DER/PR, 1996.

As escavadeiras de acionamento mecânico tornaram-se obsoletas com o lançamento no mercado das carregadeiras de esteiras e pneus que as substituem com muitas vantagens.

Posteriormente, o aparecimento das escavadeiras de caçamba frontal com comando hidráulico, com grande força de desagregação, rapidez de ciclo operacional e fácil posicionamento da caçamba reconquistaram a situação antes desfrutada.

A fim de se diminuir ou até se eliminar o tempo de posicionamento dos caminhões, pode-se fazer a carga alternada nas bancadas, colocando-se duas ou mais unidades de transporte de cada lado, carregando-se uma enquanto a outra se posiciona e vice-versa.

2.3.4 Escavadeiras com Caçamba “Dragline” (Arrasto)

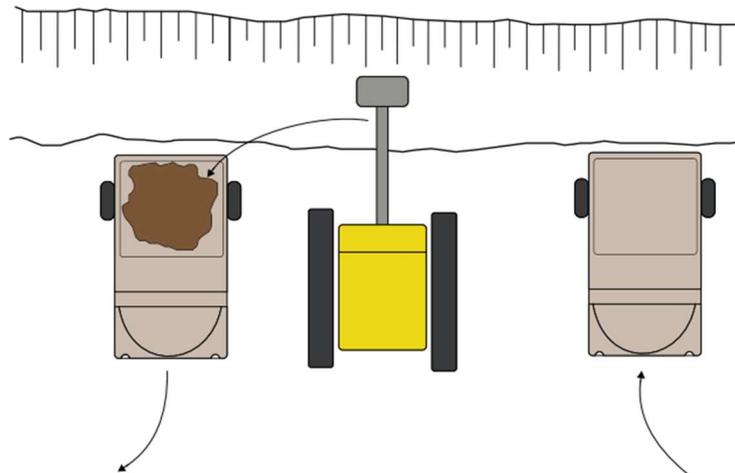
Este equipamento é usado na remoção de terrenos pouco consistentes e úmidos, solos moles (brejosos) e materiais submersos, sempre escavando abaixo do nível em que a máquina se encontra.

Figura 38 – Escavadeira com caçamba Dragline



Fonte: Komatsu, 2023.

Figura 39 – Carregamento Alternado



Fonte: DER/PR, 1996.

Estas escavadeiras apresentam duas características que as diferenciam das demais máquinas de terraplenagem:

- a) É o equipamento de maior alcance de escavação, pois, além da lança ter bom comprimento, a caçamba pode ser projetada a certa distância, devido ao fato de não possuir nenhum vínculo mecânico com a escavadeira, sendo sustentada por cabos de aço. A lança construída em estrutura metálica leve em treliça tem comprimento muito maior do que a lança do "shovel".
- b) É o único equipamento de terraplenagem convencional que escava materiais submersos no leito de cursos de água, lagos ou áreas alagadas.

Os principais usos desta escavadeira são:

- a) remoção de solos moles, saturados e com presença de matéria orgânica que possuem baixíssima capacidade de suporte ($<0,5\text{kgf/cm}^2$), impossibilitando o tráfego de quaisquer máquinas inclusive o trator de esteiras.

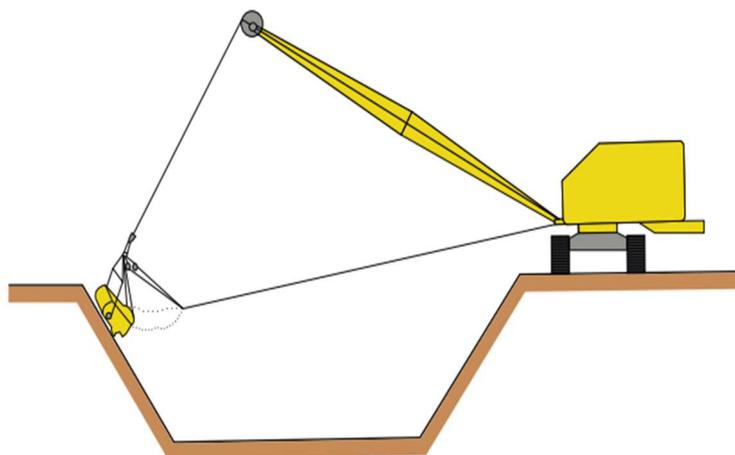
- b) abertura de canais de drenagem, corta-rios, limpeza de cursos d'água e áreas alagadas, removendo solos submersos ou que se encontram abaixo do lençol freático.

Convém nestes casos usar a caçamba perfurada que permite o escoamento da água e lodo, separando a matéria sólida. Mas o fator de carga da caçamba diminui, atingindo 50% ou menos e a produção reduz-se proporcionalmente.

Devido à grande extensão da lança e a distância da caçamba ao ser arrastada, o momento de tombamento é grande. Para melhorar o equilíbrio da escavadeira são colocados contrapesos metálicos na parte posterior da cabina.

Há situações em que as escavadeiras precisam trabalhar sobre solos moles (brejosos) que não sustentam nem o seu peso próprio. Nessa hipótese, deve-se executar camadas de solo de boa qualidade para suportar os equipamentos nas áreas de carga e nas pistas de transporte. A espessura mínima recomendada, dependendo da qualidade de suporte dos solos locais, será de 1 a 1,5m.

Figura 40 – Escavadeira com caçamba Dragline



Fonte: DER/PR, 1996.

2.3.5 Escavadeiras com Caçamba “Clamshell” (Mandíbulas)

As escavadeiras equipadas com a caçamba "Clamshell", em princípio, destinam-se às mesmas tarefas indicadas no item anterior para o "Dragline". Entretanto, este tipo de caçamba só pode trabalhar na direção vertical da extremidade da lança, sendo abaixada ou içada pelo comando de cabos e o seu raio de ação é muito limitado.

Figura 41 – Escavadeiras com Caçamba “Clamshell”



Fonte: Liebherr, 2023.

Por outro lado, essa característica é vantajosa quando a escavadeira com "Clamshell" for utilizada em valas fortemente escoradas, pois, poderá ser abaixada e elevada verticalmente até o fundo da vala em poços ("shafts"), isto é, locais em que o escoramento é reduzido, deixando espaço suficiente para a movimentação da caçamba, através do maior espaçamento das estrocas de suporte das paredes da vala.

2.3.6 Escavadeiras com Caçamba Retroescavadeira (“Back-Shovel”)

É utilizada para a escavação abaixo do nível em que se encontra, adaptando-se às mesmas tarefas indicadas para a caçamba "Dragline". Apresenta alcance de escavação reduzido em comparação com esse equipamento e não pode ser usado em valas escoradas, abertas, em solos que não sejam autoportantes.

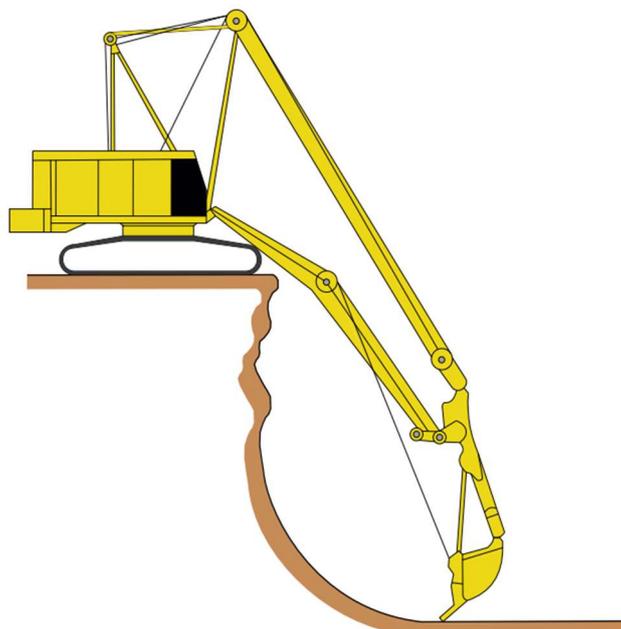
Figura 42 – Escavadeiras com Caçamba back shovel



Fonte: John Deere, 2023.

É especialmente indicada para a abertura de valas estreitas em material autoportante, que dispensa o escoramento ou quando este puder ser feito após a abertura da vala que permanece estável durante algum tempo.

Figura 43 – Escavadeiras com Caçamba Retroescavadeira



Fonte: DER/PR, 1996.

2.3.7 Escavadeiras de Acionamento Hidráulico

Tratam-se de escavadeiras de acionamento totalmente hidráulico, com os movimentos da lança, do braço móvel e caçamba acionados por pistões hidráulicos de alta pressão.

Figura 44 – Escavadeiras de Acionamento Hidráulico



Fonte: Volvo, 2023.

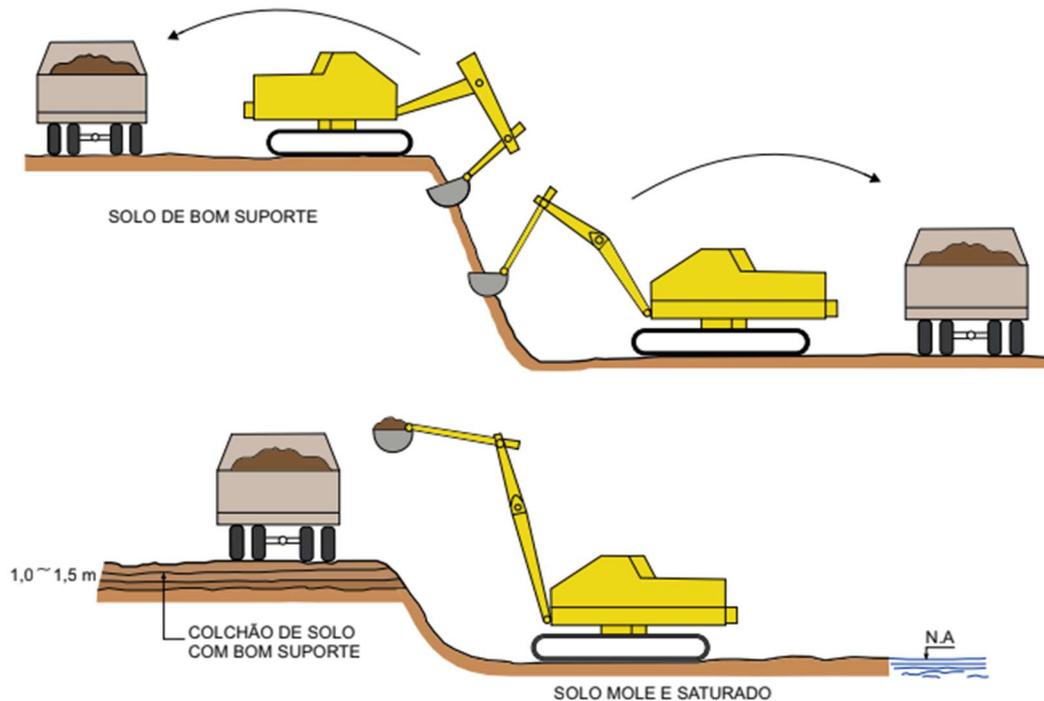
Estas escavadeiras apresentam tempos de ciclo reduzidos e precisão nos seus movimentos básicos, sendo máquinas de alta produção. Por causa dessas vantagens operacionais tornaram praticamente obsoletos os equipamentos movidos a cabo, com exceção da lança "dragline" que permanece como o único equipamento da terraplenagem convencional com esse tipo de acionamento ainda em pleno uso.

São fabricadas escavadeiras hidráulicas com caçambas frontais ("shovel"), retroescavadeiras e do tipo de mandíbulas, usadas em materiais desde os compactos até os solos moles saturados.

O uso simultâneo dessas máquinas em taludes de grande altura permite algumas variantes nas técnicas de terraceamento já descritas.

Se as condições locais permitirem pode-se conjugar duas escavadeiras trabalhando em níveis diferentes, com grande número de veículos de transporte.

Figura 45 – Escavadeiras trabalhando em níveis diferentes



Fonte: DER/PR, 1996.

A retroescavadeira e os caminhões permanecem na parte superior do talude enquanto a escavadeira "shovel" se posiciona na plataforma inferior com os respectivos veículos de transporte. Essa disposição tem a vantagem de separar em dois planos diferentes o tráfego das frotas de transporte quando há muitas unidades em operação, evitando-se as interferências entre os veículos.

Outra possibilidade é colocar a escavadeira "shovel" na parte inferior do talude, que possui solo mole, não suportando o tráfego de caminhões. Estes se posicionam no topo do talude onde as condições da pista de transporte são melhores ou onde se executou um colchão de solo de bom suporte.

Se as condições do terreno forem boas, quanto ao suporte de veículos nas duas plataformas do corte, pode-se separar o tráfego dos caminhões em dois planos diferentes.

Figura 46 – Tráfego de caminhões em dois planos diferentes



Fonte: DER/PR, 1996.

2.3.8 Carregadeiras de Esteiras

As carregadeiras de esteiras têm se revelado os equipamentos mais versáteis na terraplanagem graças às características mecânicas introduzidas pelos fabricantes e que permitem sua utilização nas tarefas mais diversas.

Figura 47 – Carregadeira de Esteiras



Fonte: Liebherr, 2023.

A aplicação mais comum é a escavação e carga de unidades de transporte, quando as distâncias a percorrer são grandes.

Podem ser trabalhadas pelas carregadeiras os materiais de 1ª categoria e os de 2ª categoria, desde que pré-escarificados ou detonados.

Não é recomendável a carga de rocha fraturada por causa do excessivo desgaste da parte rodante e de outras partes móveis causado pelo pó de pedra, material muito fino e abrasivo que se forma no processo de fraturamento da rocha.

A técnica do terraceamento pode ser empregada nos cortes de grande altura, com várias bancadas, cujo desnível é limitado pelo alcance máximo da caçamba na posição de escavação.

No caso das carregadeiras a altura ótima de corte será igual à altura máxima atingida pela caçamba.

As carregadeiras são máquinas de grande mobilidade que se deslocam na operação de carga até as unidades de transporte, não permanecendo em local fixo como no caso das escavadeiras.

Por isso os tempos de espera e posicionamento são menores comparados com os destes últimos, pois os caminhões neste caso devem se posicionar e aguardar a carga.

Podem ser usadas ainda em vários trabalhos como espalhamento de terra, remoção de terra vegetal e blocos de rocha ou matacões isolados, abertura de valas, transporte de materiais a curta distâncias, etc.

2.3.9 Carregadeiras de Pneus

Este equipamento, como todas as demais máquinas de pneus, tem condições de aderência e de afundamento apenas sofríveis e só podem ser aplicadas com sucesso nos terrenos firmes e secos.

Figura 48 – Carregadeira de Pneu



Fonte: John Deere, 2023.

Nos solos argilosos muito úmidos ou nos solos arenosos secos e soltos a operação destas máquinas apresenta dificuldades e em certos casos são até inviáveis.

Essas desvantagens são, porém, amplamente compensadas pela extrema mobilidade e velocidade de deslocamento, além da facilidade de manobras em pequenas áreas, como no caso das carregadeiras articuladas.

O seu campo de aplicação ideal será a carga de materiais já desagregados ou de fácil desagregação tais como areias, saibros, cascalhos, pedra britada ou rocha fraturada. Nos trabalhos continuados em rocha será necessário proteger os pneumáticos com envoltórios de malhas de aço ou esteiras articuladas especiais para evitar o desgaste prematuro ou cortes que os inutilizem.

Trabalhando com os materiais adequados, são equipamentos de alta produção e com custos de carga reduzidos.

Não são equipamentos apropriados à escavação de solos muito compactos, que exigem grande força de desagregação, em razão de pequena aderência dos pneus e a facilidade com que ocorre o patinamento, gerando o aquecimento excessivo do fluido do conversor de torque, que, nesse caso, pode perder rapidamente a eficiência.

2.3.10 Motoniveladora

As motoniveladoras são as máquinas aplainadoras por excelência e são empregadas de preferência nos trabalhos de acabamento da terraplenagem em que se exige precisão de medidas, isto é, no acabamento de plataformas e taludes para conformá-los ao projeto no que se refere a dimensões e cotas.

Figura 49 – Motoniveladora

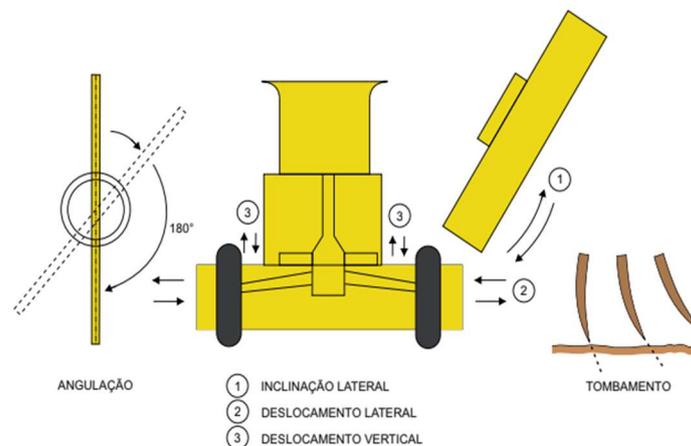


Fonte: New Holland, 2023.

A lâmina da motoniveladora pode ser posicionada nas situações mais diversas:

- a) angulada até 180°;
- b) inclinada lateralmente até a vertical;
- c) deslocada lateralmente;
- d) deslocada verticalmente;
- e) inclinada na posição de corte (tombamento).

Figura 50 – Angulação da lâmina



Fonte: DER/PR, 1996.

Graças à precisão dos controles da lâmina é possível se proceder ao acabamento com precisão de até 1cm em cotas e dimensões.

Nenhuma equipe de terraplenagem pode prescindir da motoniveladora em todas as fases do trabalho, já que desempenha as mais diversas tarefas:

- a) corte, transporte e espalhamento nos serviços de raspagem;
- b) espalhamento e regularização das camadas a serem compactadas;
- c) pulverização dos solos;
- d) homogeneização da umidade nas camadas;
- e) acabamento das superfícies dos taludes;
- f) acabamento das plataformas em dimensões e cotas;
- g) manutenção de pistas de transporte e de operação;
- h) escarificação leve;
- i) remoção de vegetação de pequeno porte;
- j) mistura de solos ou materiais nas pistas;
- k) abertura de valetas de drenagem;
- l) aeração dos solos úmidos para diminuir a umidade.

2.3.11 Unidades Transportadoras

As unidades transportadoras executam as operações de transporte e descarga dos materiais.

Quando os trajetos são longos a produção dos "motoscrapers" tende a diminuir rapidamente, onerando os custos de transporte.

Para compensar a queda de produção teríamos de colocar em operação um grande número de "motoscrapers", que têm um alto custo de aquisição ou de aluguel, o que inviabiliza essa solução.

Nas longas distâncias de transporte devem-se adotar unidades transportadoras de baixo custo de aquisição e de operação em substituição às escavo-transportadoras.

Para compensar a pequena capacidade individual das caçambas coloca-se um número grande de unidades, obtendo-se produção global satisfatória.

Os custos de transporte se reduzem com a substituição de máquinas de alto custo horário ("motoscrafer") por unidades de transporte, de baixo custo horário, em grande número para sustentar uma produção equivalente.

As máquinas de transporte mais empregadas são: o caminhão basculante comum, o caminhão "fora de estrada" e os vários tipos de vagões.

Os caminhões normais não são projetados para as condições difíceis de trabalho na terraplenagem: cargas pesadas transportadas a curtas distâncias em pistas com má qualidade de rolamento e de conservação.

O desgaste mecânico que sofrem é acentuado, abreviando a vida útil, finda a qual a renovação da frota é necessária face aos altos custos de manutenção.

Figura 51 – Caminhão basculante comum



Fonte: Volvo, 2023.

O caminhão basculante comum é um chassi comercial normal a que se adapta a báscula de acionamento hidráulico.

Na realidade se destinam a condies mais favoráveis representadas por cargas normais, distâncias longas e pistas pavimentadas, porque nessas condies têm um baixo custo operacional e se justificam e viabilizam em obras de pequeno vulto.

Figura 52 – Caminhão "fora de estrada"



Fonte: Hitachi, 2023.

Para as obras de terraplenagem de grande porte foram projetados caminhões especiais para serviço pesado denominados "fora de estrada". São equipamentos com estrutura

dimensionada para grandes esforços e com modificações relevantes na concepção mecânica para a melhoria de desempenho, tais como:

- a) estrutura reforçada;
- b) caçambas para grande capacidade ($> 10\text{m}^3$);
- c) direção com acionamento hidráulico;
- d) diferencial travante (tração positiva);
- e) servo-transmissão com várias opções de marcha;
- f) motores diesel de grande potência.

Essas melhorias mecânicas significam elevado custo de aquisição, mas a vida útil provável do "fora de estrada" é muito maior do que a dos veículos comuns, o que reduz os custos fixos (depreciação) substancialmente.

O caminhão "fora de estrada" é economicamente viável em obras de grande porte, com movimentação de grandes volumes e com prazos longos para a absorção dos altos custos de investimento.

Os vagões têm utilização pequena porque têm custo elevado e exigem pistas de boa capacidade de suporte, ótima conservação e rampas de pequena declividade ($< 15\%$), embora tenham capacidade para o transporte de grandes volumes.

Para que o desempenho das unidades de transporte em geral seja efetivo, exigem-se condições de operação favoráveis:

- a) pistas de boa capacidade de suporte e baixa resistência de rolamento.
- b) pistas bem conservadas, sem irregularidades;
- c) rampas de pequena declividade;
- d) pistas de largura suficiente e boa visibilidade.

Outro ponto importante a considerar é a combinação dos ciclos das unidades de transporte e das máquinas de carregamento, de maneira a não haver espera de nenhuma delas. É a

chamada condição de sincronismo que permite a determinação do número de veículos de transporte que operam junto às carregadeiras. Esse cálculo teórico deve ser ajustado no campo, adaptando-o às condições vigentes porque o desempenho individual de veículos e operadores pode alterar a condição de sincronismo.

2.3.12 Equipamento de Compactação

Os principais tipos de rolos compactadores utilizados são: pé de carneiro, estático ou vibratório; de pneus com pressão fixa ou variável, e liso, estático ou vibratório.

Cada tipo de rolo tem características específicas, que são próprias para determinado tipo de solo, o que não invalida o seu uso em outros solos, desde que se leve em conta a redução do rendimento.

Para os rolos acima citados, as principais características são:

2.3.12.1 Rolos pé-de-carneiro

São rolos com peso variável de 1,5 a 20 toneladas, com um ou mais tambores, que podem ser lastreados com água ou areia molhada.

A parte do rolo que entra em contato com o solo é constituída por saliências soldadas ao tambor, denominadas de “patas”. A pressão transmitida é variável, dependendo da área de contato da pata e do peso do rolo.

Os rolos pé-de-carneiro são mais eficientes em solos argilosos e siltosos, nos quais é necessário aplicar altas pressões para vencer a coesão do solo, com as patas penetrando na parte mais profunda.

Figura 53 – Rolo pé-de-carneiro



Fonte: Case, 2023.

Devido a esta característica, a compactação é realizada de baixo para cima, possibilitando um grau de compactação uniforme em toda a espessura.

A camada solta pode ter uma espessura até 25% maior do que a altura da pata, que é da ordem de 20 cm. À medida que o solo é compactado, a profundidade em que a pata penetra vai diminuindo, até o ponto em que o rolo praticamente passeia.

A eficiência do rolo termina nos últimos 5,0 cm sendo, daí em diante, improdutiva a sua utilização; o número de passadas necessárias deve ser verificado no campo.

Feita a determinação do número médio de passagens necessário, o acompanhamento da compactação torna-se mais fácil. Em todo caso, é muito importante que seja sempre verificado o teor de umidade do solo, para evitar horas e mais horas perdidas, na ilusão de que isto virá aumentar o grau de compactação. A solução recomendável para compactar solos com umidade abaixo da ótima é a utilização de rolos mais pesados, para aumentar a energia de compactação.

Os rolos pé-de-carneiro não devem ser utilizados na compactação de solos granulares ou de pouca coesão, pois seu efeito é praticamente nulo.

2.3.12.2 Rolos de pneus

Podem ser classificados em leves (9 – 12 t), médios (13 – 25 t) e pesados (26 – 56 t). O número de pneus e a área de contato são de grande importância no valor da pressão efetiva de compactação.

Este tipo de rolo é o mais versátil e pode ser utilizado desde a compactação de solos coesivos até massas asfálticas, pelas vantagens do efeito de amassamento produzido pelos pneus.

Figura 54 – Rolo de Pneus



Fonte: Volvo, 2023.

Tanto os rolos rebocados como os de tração própria possuem sistema de rodas oscilantes, o que possibilita aos pneus acompanhar as deformações da superfície, aumentando a eficiência da compactação.

Devido à ação resultante da distribuição de pressões pelos pneus e o efeito do amassamento, a compactação se dá em toda a espessura da camada, com a particularidade de deixar a superfície totalmente fechada (selada).

O uso do rolo de pneus deve ser farto ante a eminência de chuvas, para possibilitar a selagem da superfície e, em consequência, o rápido escoamento da água superficial.

2.3.12.3 Rolos vibratórios

São rolos metálicos dotados de um sistema vibratório, que permite aplicar ao solo determinado número de golpes por minuto (frequência).

Figura 55 – Rolo vibratório



Fonte: Caterpillar, 2023.

Este tipo de rolo é de alta eficiência na compactação de todo tipo de solos. Para solos pedregulhosos não há nada melhor, e sua eficiência se traduz numa rápida arrumação dos grãos, atingindo em pouco tempo a densidade máxima. O seu emprego, porém, está condicionado à correta utilização das vibrações transmitidas ao solo. Inicialmente, estando o solo solto, a energia vibratória é totalmente absorvida pelo deslocamento das partículas sólidas vencendo o atrito e pela coesão provocada na parte fina. Com o aumento gradativo da densidade, uma parte da energia vibratória começa a ser devolvida. Por isso, é importante o controle do número de passadas, a fim de se evitar que após certo tempo de compactação o equipamento venha a receber de volta toda a vibração aplicada, com sérios prejuízos para sua estrutura e para o sistema vibratório especificamente. Deve-se evitar a vibração do rolo quando parado, para não provocar o efeito de devolução e esgotamento do solo. Especial atenção deve ser dispensada para o controle de umidade, evitando utilização desnecessária do equipamento.

Os rolos lisos estáticos são de pouca aplicação em terraplenagem. O efeito de compactação destes rolos é dado de cima para baixo, provocando, em certos casos, o aparecimento de uma camada superficial compactada deixando a parte mais profunda parcialmente solta.

2.3.12.4 Grades de Disco

São equipamentos que objetivam homogeneizar ou baixar o teor de umidade dos solos, previamente à compactação, para que esta se dê nas condições ótimas definidas nos ensaios de compactação.

Figura 56 – Grades de disco



Fonte: Landoll, 2023.

2.3.12.5 Caminhões pipa irrigadores

São equipamentos que têm por função distribuir água sobre uma camada de solo, para aumentar o seu teor de umidade, a ponto de se atingir as condições ótimas de umidade.

Figura 57 – Caminhão pipa



Fonte: Caterpillar, 2023.

2.3.13 Equipamentos para desmonte de rocha

2.3.13.1 Rompedores Hidráulicos

Equipamentos utilizados que permitem um bom rendimento de trabalho no desmonte a frio da rocha fragmentada, evitando o uso de explosivos.

Figura 58 – Rompedores hidráulicos



Fonte: Caterpillar, 2023.

2.3.13.2 Carreta de Perfuração (Rockdrill)

Este equipamento, composto por compressores de ar e perfuratrizes permite a perfuração de materiais rochosos, para efeito de instalação de explosivos e posterior desmonte de materiais de 3ª categoria. A perfuratriz ou martelete é um equipamento onde os movimentos de rotação e percussão são usados de forma específica caracterizando o tipo de equipamento bem como sua utilização nos mais variados tipos de perfurações (à céu aberto e subsolo) em rochas de diversos graus de dureza e abrasividade.

Figura 59 – Carreta de perfuração



Fonte: Furukawa, 2023.

2.3.14 Compactadores Manuais

São equipamentos munidos de motores de combustão interna ou ar comprimido e dotados de uma placa vibratória ou um soquete, através dos quais se realiza a compactação.

São empregados em áreas restritas, onde não é possível o uso do equipamento convencional de maior porte, como é o caso de reaterro de junto aos encontros de obras de arte, bueiros, valas e compactação de material nas vizinhanças de dispositivos facilmente danificáveis pelo equipamento (poços de visita, caixas etc.).

Figura 60 – Compactador manual



Fonte: Weber MT, 2023.

2.4 Cortes

No meio rodoviário define-se por “cortes” toda a escavação no terreno natural para se alcançar a linha de greide projetado no Projeto Executivo, definindo assim transversal e longitudinalmente o corpo estradal. Excluindo a escavação de terra vegetal que já foi abordada quando da descrição do desmatamento, as operações de corte compreendem:

2.4.1 Corte e transporte de solos para aterros ou “bota fora”

Neste item vamos abordar todo o tipo de escavação dos materiais que constituem o terreno natural até se alcançar a plataforma definida no projeto e seu transporte para os aterros ou “bota-fora”. Esta escavação engloba todo o tipo de solo que será transportado para os aterros contíguos ou “bota-fora”, salvo solos de muito boa qualidade que serão conduzidos a depósito para posterior utilização na última camada do aterro como subleito do pavimento.

2.4.1.1 Corte de material de 1ª categoria

Os equipamentos mais usados na escavação de material de 1ª categoria são os tratores de lâmina, os “motoscrapers” e as carregadeiras e caminhões, sendo a escolha feita de acordo com os parâmetros estabelecidos, de uma forma geral, com base em considerações técnico-econômicas.

De modo geral, toda a escavação de material de 1ª categoria, com distâncias curtas (< 100 m), deve ser executada com trator de lâmina, equipamento do qual resultam para estas distâncias os menores custos. Mesmo nas que apresentem distâncias maiores, todo o volume de corte que for economicamente viável deve ser feito com esse equipamento e o restante por “motoscrafer” ou carregadeiras e caminhões, dentro das respectivas faixas econômicas de distância.

Importante observar que, presentemente, a tendência para execução dos serviços para escavação de solos na área rodoviária é a utilização de escavadeiras (retroescavadeiras), conjugada com a utilização de caminhões.

O acabamento dos taludes e da plataforma, para conformá-los às cotas e configurações definidas no projeto, deve ser feito com motoniveladora.

Quanto aos solos, aqueles que forem julgados tecnicamente inadequados para a execução de aterros devem ser levados a bota-foras e, conforme o caso, a camada superior do subleito deve ser substituída por volumes equivalentes de material de qualidade aceitável, obtidos em caixas de empréstimo (ou de outros cortes que tenham solos com qualidade satisfatória).

Como regra geral, quando encontramos no corte solos de boa qualidade de suporte, devemos colocá-los nas camadas finais do aterro e que constituirão o subleito do pavimento, ainda que haja necessidade de estocá-los e recarregá-los. A economia da espessura do pavimento pode compensar em muito esse custo adicional.

Se ocorrerem solos de ótima capacidade de suporte (solo A-2-4-HRB, por exemplo), deve-se preferencialmente estocá-los, para o uso posterior em camadas de reforço do subleito ou mesmo na sub-base.

Este tema deve ser devidamente tratado e detalhado quando da elaboração do Projeto de Engenharia.

2.4.1.2 Escavação de material de 2ª categoria

Os materiais classificados como de 2ª categoria são aqueles que não podem ser escavados de forma normal e econômica pelos equipamentos usuais, a saber: tratores de lâmina, “motoscaper”, escavadeiras e carregadeiras, devido à elevada resistência mecânica à extração, que pode atingir valores estimados entre 500 e 1000 kg/cm².

Para o desmonte desses materiais devem ser utilizados escarificadores ou rippers, que são montados na parte posterior dos tratores de esteiras de elevada potência e grande esforço trator (>50.000 kg). Recomenda-se, nesse caso, o emprego de equipamentos com mais de 250 HP, isto é, tratores pesados, da classe dos CAT D8, D9 e D10, que serão abordados no capítulo Seleção de Equipamentos deste Manual.

O processo de escarificação, em função das características do material a ser trabalhado, comporta duas qualificações, a saber:

- a) **Escarificação leve:** No caso da ocorrência ou situações de estratificação; grandes fraturas ou fissuras; planos de clivagem (veios); alto teor de umidade; laminação em camadas finas; alteração profunda da rocha (decomposição);
- b) **Escarificação pesada:** No caso da ocorrência ou situações de rochas de granulação fina com cimentação; material sem falhas ou planos de clivagem; rocha homogênea e de densidade média; resistência ao impacto; rocha em estágio inicial de alteração.

No que diz respeito aos equipamentos, os seguintes fatores intervêm no processo de desmonte por escarificação:

- a) Potência do motor e esforço trator na barra de tração;
- b) Número de dentes do escarificador (de um a cinco);
- c) Comprimento dos dentes;
- d) Velocidade de deslocamento (1ª marcha).

Existe uma diversidade de tipos de escarificadores, bem como de configurações e dimensões dos dentes.

Cumprir observar que os materiais mais resistentes, quando naturalmente fissurados, fraturados ou estratificados, sofrem a ruptura de maior volume a cada passada do escarificador, desde que os veios naturais sejam bem aproveitados.

2.4.1.3 Desmonte de rochas – materiais de 3ª categoria

Ao se atacar um corte em rocha, deve-se primeiramente limpar bem o corte e remover toda a camada de solo existente sobre a rocha, para depois iniciar a escavação. A camada sobre a rocha geralmente é constituída de solo duro ou rocha decomposta, removível por escarificação pesada, com emprego eventual de explosivo na redução de blocos maiores. Além da rocha decomposta, pode ocorrer que essa capa se constitua de rocha muito fissurada, entremeada ou não de terra. Também nesse caso, sua remoção se faz com escarificação pesada e uso eventual de explosivo, como no caso da rocha decomposta.

Essa escarificação pesada é feita com trator de esteiras pesado, usando um só dente no escarificador, o do centro. Sempre que possível, a escarificação deve ser usada, pois além de dar ótimo resultado, evita que se use explosivo, cujo rendimento em materiais fissurados é muito baixo.

Quando o corte é de rocha compacta (também chamada rocha sã), ou quando ela é atingida após a remoção da capa, é preciso recorrer ao uso de explosivo, de modo a reduzir as suas dimensões, tornando possível removê-la.

Os cortes em rocha, como todos os cortes, podem ser em meia encosta ou em seção plena. Diferentemente da terraplenagem em solos, onde executar um corte em meia-encosta ou em seção plena não faz grande diferença, quando se vai extrair rocha essa diferença é muito significativa, sendo, geralmente, mais fácil o corte em meia encosta do que o corte em seção plena (em caixão).

Isto acontece por duas razões principais:

- a) Na meia encosta se dispõe de mais superfície livre na pedra, o que facilita o trabalho do explosivo;
- b) Na meia encosta, a descarga do corte é muito facilitada pelo terreno, pois reduz as dificuldades do equipamento na remoção da rocha. Em algumas situações nem é necessário equipamento algum para fazer essa remoção.

Por essas razões, sempre que se puder transformar (mesmo com algum aumento de volume) um corte em caixão num corte em meia encosta, isto deve ser feito pelas facilidades de trabalho que se consegue.

Em sequência, são enfocados de forma sumária tópicos de interesse, relacionados com a escavação de rochas.

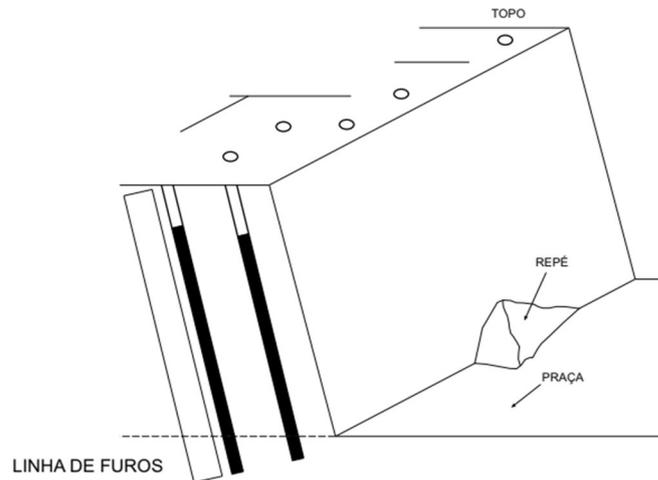
2.4.1.3.1 Plano de fogo

No tocante à configuração dos furos, cabe registrar o seguinte:

- a) A linha de furos deve ser feita paralelamente à face exposta;
- b) A distância do furo à face livre é chamada de afastamento e a distância de um furo a outro é chamada de espaçamento;

c) Para uma boa detonação o espaçamento deve ser maior que o afastamento.

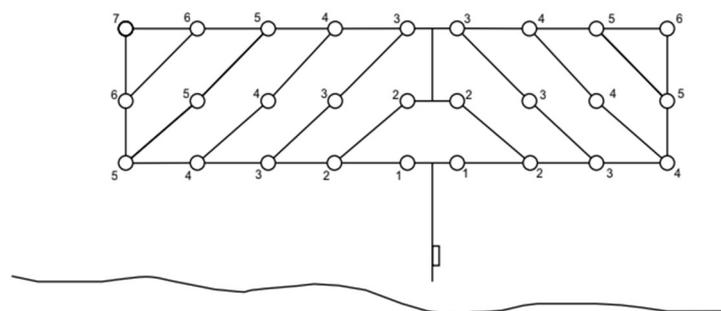
Figura 61 – Plano de Fogo



Fonte: DER/PR, 1996.

Outro cuidado importante é fazer a perfuração numa profundidade maior que a altura que se quer retirar de pedra, pois somente assim é que se garante a remoção da pedra na altura certa. A perfuração que se faz ultrapassando a cota até onde se quer retirar a pedra deve ser de 25 a 30 cm para cada metro de altura perfurada.

Figura 62 – Plano de fogo mostrando a sequência da explosão



Fonte: DER/PR, 1996.

A quantidade de explosivo que se coloca num furo é geralmente dividida em: carga de fundo, colocada no fundo do furo; e a carga de coluna, distribuída no resto do furo. Além da carga, existe o tampão, que é colocado acima da carga de coluna, e pode ser feito com fragmentos de rocha, abaixo de 3/8 de polegada, em comprimento aproximadamente igual ao afastamento utilizado. Esse tampão evita a perda de rendimento da explosão por escapamento dos gases e evita o lançamento indesejado de pedras a longas distâncias.

2.4.1.3.2 Ciclo de fogo

No trabalho de extração de rocha é importante o estabelecimento do que se chama ciclo de fogo com tempo definido, para se obter um bom resultado. O ciclo de fogo é a sequência das operações necessárias à extração da rocha, ou seja: perfuração, detonação, carga, transporte e descarga. O estabelecimento de tempos definidos de cada um desses trabalhos evita perdas de tempo e dá ordem ao trabalho, facilitando o serviço.

Tal sequência deve ser planejada de forma meticulosa, sendo importante a sua devida observância durante a execução dos serviços. Não se deve alterar tal sequência, retardando-se as fases que devem ser feitas, pois isto pode causar sensíveis perturbações aos serviços. Há serviços que podem e devem ser feitos ao mesmo tempo, como é o caso da perfuração, que pode ser feita simultaneamente com a limpeza do corte resultante da detonação anterior.

2.4.1.3.3 Segurança da operação

Quando se trabalha com explosivos, é fundamental se tomar uma série de providências que trazem segurança ao pessoal e equipamento.

Assim é que, na execução dos cortes em rochas, devem ser tomados os seguintes cuidados, objetivando a segurança do pessoal e dos equipamentos:

- a) Estabelecer um horário rígido de detonação, com horas certas de fogo, e cumpri-lo à risca;

- b) Não trabalhar com explosivos à noite;
- c) Abrigar bem o equipamento e fazer com que o pessoal se proteja, de modo que as pedras da explosão não os atinjam;
- d) Avisar a comunidade local e colocar vigias, para evitar a aproximação de pessoal estranho nas vizinhanças do corte na hora da explosão;
- e) Não permitir a permanência de pessoas estranhas ao serviço durante qualquer fase do ciclo, pois todas as fases são perigosas;
- f) Somente permitir o manuseio de explosivo por pessoa habilitada e usar sempre as mesmas pessoas nesse serviço, e num número o mais reduzido possível (somente o estritamente necessário);
- g) Somente trazer do depósito a quantidade de explosivo necessária à detonação, não permitindo sobras;
- h) No caso de haver qualquer excesso por erro de cálculo na quantidade, esse material, inclusive os acessórios (espoleta, estopim etc.), deve ser levado de volta ao paiol, antes da detonação.

2.4.1.3.4 Equipamentos específicos

- a) **Equipamentos para Perfuração:** para a perfuração, os equipamentos utilizados são os compressores de ar, associados a perfuratrizes leves, médias ou pesadas;
- b) **Detonadores:** para obter um melhor rendimento do explosivo e, também, possibilitar a explosão simultânea de grandes quantidades de explosivos (o que influi muito no rendimento) é necessário detonar o fogo de todas as minas de uma só vez, o que se faz usando detonadores elétricos. Esses detonadores podem ser de magneto ou à pilha. O processo de detonação pode valer, também, de geradores ou mesmo de tomadas da rede elétrica.
- c) **Retardos:** são pequenos dispositivos usados para atrasar a explosão de uma mina em relação às outras. Com este atraso, melhora muito o rendimento do explosivo, pois se criam mais faces.

2.4.1.3.5 Limpeza e remoção da rocha extraída

De muita importância quando se trabalha em cortes de rocha, é a retirada do material escavado. Deve-se sempre ter uma saída fácil desse material, de modo a melhorar o rendimento geral. No caso dos cortes em caixão, muito extensos, às vezes compensa abrir uma ou mais janelas em locais escolhidos. São apresentadas, a seguir, algumas recomendações pertinentes a estes serviços:

- a) Quando o corte é curto e o local de bota-fora é próximo, a remoção deve ser feita diretamente por uma pá-carregadeira de esteiras ou de pneus, que carregue e transporte a pedra, não havendo necessidade do uso de caminhões;
- b) Os locais de bota-fora devem ter sua escolha norteada pelas mesmas recomendações feitas quando se tratou dos cortes em solo, e procurando não causar danos ao meio-ambiente;
- c) Nos cortes em meia encosta, o explosivo mesmo faz a maior parte da descarga, podendo-se usar tratores de esteiras para completar essa limpeza;
- d) Quando se trabalha com equipamento de pneus nas escavações em rocha é preciso muito cuidado, de modo a manter o piso uniformizado e revestido, para evitar acidentes com os pneus. Os pneus, nesses casos, devem ser os apropriados para trabalhos em rocha, podendo-se, ainda, protegê-los com blindagens especiais para esse tipo de trabalho;
- e) Os tratores de esteira devem ter sapatas reforçadas e lâminas especiais ou com proteção; as escavadeiras e pás-carregadeiras devem ter suas conchas reforçadas e com dentes especiais para rocha; os caminhões devem ter carrocerias reforçadas e também especiais, não possuindo tampa traseira;
- f) Os pneus das pás-carregadeiras devem ser apropriados para o serviço e, se possível, possuir correntes de proteção, sendo importante, mesmo assim, a manutenção de um piso regular e revestido, para um bom trabalho desse equipamento, sem perigo de perda frequente de pneus.

2.4.2 Controle de execução dos taludes de corte

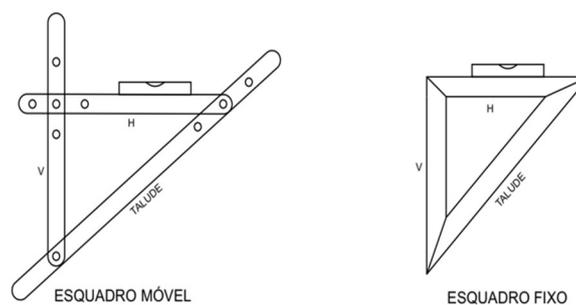
Nos cortes, o talude é resultante da escavação do terreno natural. Sua inclinação é determinada antes do início dos serviços. Nos cortes em solos finos e expansivos, a inclinação é maior do que nos solos estáveis, chegando a vertical nos cortes em rocha sã. A prática rodoviária aconselha, para os cortes em solo, um talude máximo de 1:1 (V:H), tendo-se sempre presente que cada tipo de solo merece um estudo específico, devendo o assunto ser definido, de forma precisa, no Projeto de Engenharia.

Uma maneira prática de determinar os valores da inclinação dos taludes em cortes consiste em verificar nas imediações do local, os cortes já existentes e que estejam estáveis, tomando cuidado na observação das alterações que possam ter havido até atingir o estado de equilíbrio, assim como a vegetação e a drenagem existentes.

Cuidados especiais devem ser tomados durante a marcação dos “off-sets”, para evitar o empeno dos taludes, cuja retificação é sempre onerosa, seja mecânica ou manualmente executada.

À medida que o corte é rebaixado, a inclinação deve ser acompanhada com o uso de gabarito apropriado, sendo o seu acabamento realizado com o uso de motoniveladoras.

Figura 63 – Controle de taludes de cortes – Esquadro



Fonte: DER/PR, 1996.

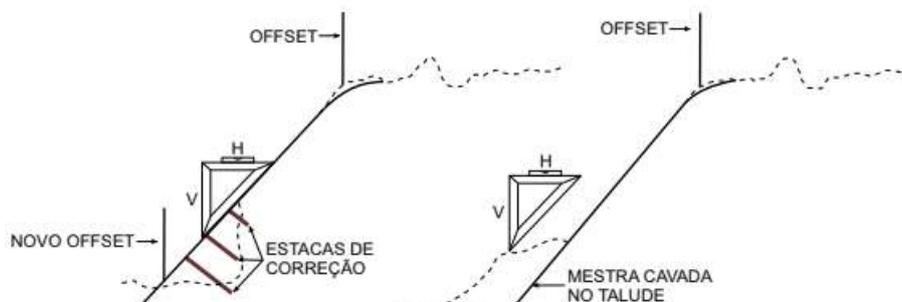
A frequência das verificações é função da rapidez da execução dos cortes. Entretanto, a altura de verificação não deve ultrapassar 2 m, para facilitar a sua correção, se necessária, pela própria motoniveladora ou outro equipamento.

O lado maior do esquadro (hipotenusa) é colocado sobre a superfície do talude. No lado horizontal, utiliza-se um nível de pedreiro. Com o esquadro em nível, a relação entre os comprimentos dos lados indica a inclinação do talude.

O afastamento na extremidade inferior indica que o talude está com inclinação maior que a prevista; no caso contrário, é necessário aumentar a inclinação.

Verificada a correção a ser feita, deve-se proceder a uma marcação no trecho defeituoso, com a colocação de estacas, ou com escavação manual de mestras, indicando a nova posição.

Figura 64 – Marcação de taludes de cortes com esquadros



Fonte: DER/PR, 1996.

A verificação é feita normalmente a cada 20 m de distância, nos trechos em tangente, e a cada 10 m, nos trechos em curva; estes intervalos podem ser reduzidos, dependendo da precisão do acabamento que se queira dar aos taludes.

O processo de acabamento/regularização pertinente pode ser efetivado de forma manual ou com a utilização de equipamento, observado o seguinte:

- a) Regularização manual – É utilizada quando a espessura a ser cortada é pequena e a altura do corte é superior a 3 m. Para facilitar a execução, devem ser abertas —mestras, a intervalos reduzidos, com a ajuda do esquadro.
- b) Regularização com máquinas – Só se justifica quando o volume a cortar é grande ou a altura do corte permite o uso da lâmina do trator ou da motoniveladora. Neste caso, faz-se necessária a complementação manual dos serviços.

2.4.3 Escavação de materiais de empréstimo e seu transporte para aterros

A escavação de materiais de empréstimo se dá quando, por várias razões durante a elaboração do projeto executivo, não se consegue o equilíbrio entre volumes de corte e de aterro ao longo da extensão da rodovia em construção.

Nestes casos o projetista terá de indicar os locais e os volumes de solo a obter empréstimos ao longo da extensão da obra, em função da qualidade dos solos, da quantidade de volumes necessários e das respectivas distâncias de transporte.

Quando da necessidade de materiais de empréstimo, a sua obtenção em faixas laterais contíguas à rodovia, solução largamente utilizada em rodovias de construção recente, devem ser evitados pela degradação do efeito visual paisagístico pela descontinuidade do talude.

A obtenção desses materiais de empréstimo, depois de avaliadas as quantidades necessárias e a natureza dos solos, preferencialmente deverá ser obtida em cortes contíguos ou mais próximos dos aterros que necessitam desses materiais, aumentando os volumes de escavação nesses cortes, transformando-os em “falsos aterros”, como se mostra na figura a seguir.

Figura 65 – Obtenção de materiais de empréstimo tipo “falsos aterros”



Fonte: Consórcio APPE-VIAPONTE, 2023.

Essa alternativa deve ser adotada com cuidado, levando em consideração a altura e a inclinação do “falso aterro”. Inclinações elevadas do talude podem exigir a adoção de medidas de segurança para os motoristas como a instalação de dispositivos auxiliares de proteção contínua, como defensas metálicas e barreiras, o que pode encarecer a solução, tornando-a menos vantajosa. A adoção de taludes mais suaves, afastados do bordo da pista, para garantir a segurança dos usuários e tornar desnecessária a instalação de dispositivos de segurança, pode influenciar na quantidade de material escavado e também resultar na inviabilidade da escavação.

No caso de não ser possível a obtenção dos volumes de empréstimo pelo processo mostrado acima, o projeto executivo deverá indicar os locais possíveis para a obtenção desses volumes de solos, devendo ser prevista a regularização desses locais de empréstimo e a sua arborização de forma a enquadrar-se adequadamente com os locais envolventes.

2.4.4 Escavação ou remoção de solos moles e sua substituição

A remoção dos solos brejosos implica dois problemas principais: presença do lençol freático em níveis elevados e presença de solos instáveis, compressíveis, de consistência muito

mole e de baixa capacidade de suporte, impedindo a circulação de veículos, mesmo com esteiras.

A existência do lençol freático em nível elevado cria sério problema à remoção desses solos. Após sua retirada, no local acumula-se grande quantidade de água, que misturada com partículas de solo, forma o lodo, devendo ser eliminado, caso contrário torna instável o aterro construído. É interessante anotar que esse tipo de solo brejoso, quando apresenta baixos teores de umidade, pode atingir razoável capacidade de suporte. Deve-se, como primeira tentativa de consolidação, fazer o rebaixamento do lençol freático, diminuindo o excesso de umidade através de valas laterais que iniciam a secagem do terreno.

Pode-se tentar, também, o rebaixamento do lençol com o uso dos processos usuais, mas esses métodos exigem que o solo natural seja permeável, sendo aplicados com sucesso em solos arenosos, tornando-se pouco eficientes nos solos argilosos.

A baixa capacidade de suporte e a consistência muito mole desse material impedem o tráfego de quaisquer veículos de pneus, mesmo vazios, permitindo, às vezes, a passagem de tratores de esteiras, embora de forma precária. Nos casos mais desfavoráveis, o próprio tráfego de equipamentos de esteiras é impossível.

As considerações já feitas demonstram que, entre os equipamentos disponíveis, somente as escavadeiras montadas sobre esteiras podem ser utilizadas na remoção dos solos brejosos.

O transporte deve ser feito com veículos leves, trafegando em pistas preparadas com material escolhido e cuja espessura não seja inferior a 1,0 m, para suportar as cargas aplicadas com um mínimo de afundamento dos pneus. Dentre os equipamentos utilizados, a preferência recai para as retroescavadeiras e as providas com lança dragline. As primeiras possuem a vantagem de maior rapidez e facilidade de manobra, além de demandarem pouco espaço para sua operação.

As escavadeiras com dragline são mais lentas e ocupam maior área de trabalho, mas apresentam a vantagem do grande alcance o que permite a remoção de camadas extremamente moles sem necessidade de se trafegar sobre elas.

2.4.4.1 Retirada dos solos de má qualidade por escavação ou remoção

Para a remoção de solos turfosos recomenda-se: retirada do material imprestável em faixas alternadas, esgotamento da água do lençol freático e limpeza do solo remanescente.

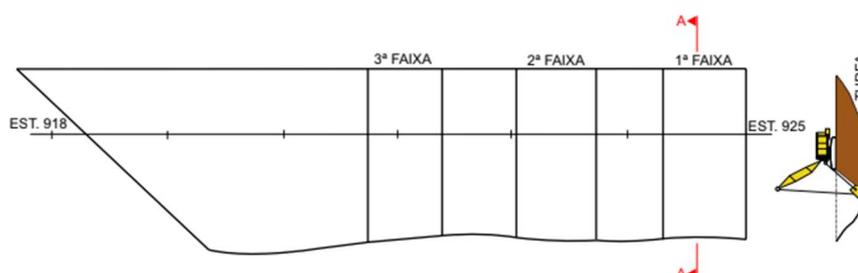
A retirada do material não deve ser feita de forma indiscriminada, mas, ordenadamente, através da abertura de caixas alternadas, isto é, se forem abertas duas ou mais valas simultaneamente, convém que se deixe entre elas uma faixa de terreno natural ainda intocada. Este procedimento facilita o trabalho, porque limita bastante a quantidade de água e de lodo a ser retirada de cada vez.

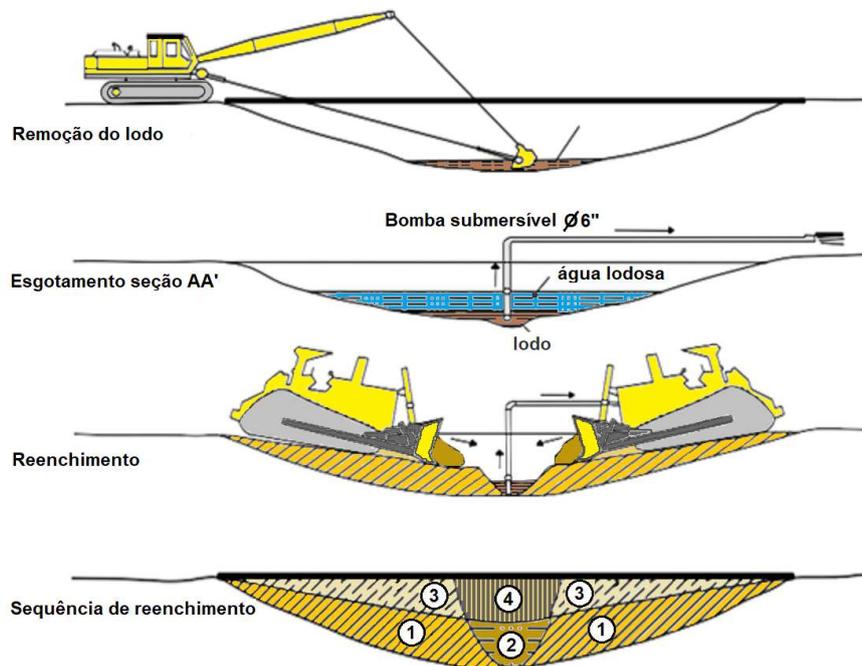
Quanto à largura e número dessas faixas, a fixação de valores depende das particularidades locais e do equipamento de escavação escolhido.

Como nos fundos de vale o lençol freático se encontra em níveis elevados, após a abertura das valas acumula-se grande volume de água, que deve ser retirada com bombas de sucção do tipo submersível, apropriadas ao esgotamento de água e lodo.

Após o esgotamento permanece no fundo da vala uma camada de lodo de espessura variável que, se não for removida, pode comprometer o comportamento do aterro executado no local, tornando-o instável e prejudicando a compactação.

Figura 66 – Remoção de solos moles





Fonte: DER/PR, 1996.

O equipamento indicado para a retirada de lodo é a escavadeira “Dragline”, provida de caçamba perfurada, que permite o escoamento da água, mas retém a matéria sólida lodosa.

2.4.4.2 Reenchimento das valas com material importado

Se houver a troca de solos, isto é, se a camada brejosa for substituída por novo aterro com solo escolhido, o reenchimento das faixas escavadas deve obedecer a alguns preceitos. Imediatamente após a retirada do lodo e da água acumulada, deve-se lançar as primeiras camadas com solo, de preferência bastante arenoso, para permitir a percolação da água e impedir que esta atinja as camadas inferiores do aterro por capilaridade.

Deve-se iniciar o espalhamento do solo em camadas, a partir da extremidade para o centro, segundo a seção transversal da vala, trabalhando-se nos dois lados. É importante deixar um caimento nas camadas, para que as águas pluviais atinjam a parte mais profunda da

vala e onde podem ser removidas por bombas de sucção, permanecendo um trecho aberto entre os dois lados do aterro, que deve ser fechado posteriormente.

Embora possa parecer trabalhoso, este procedimento é particularmente indicado na época das chuvas, evitando que a água se acumule no aterro, umedecendo-o e prejudicando a compactação.

A experiência mostrou que as primeiras camadas espalhadas até 1,0 m de altura permanecem muito úmidas, o que impede o seu adensamento adequado. Nesse caso, deve-se obter um mínimo de adensamento, através de repetida passagem dos equipamentos, sem preocupar-se com o grau de compactação atingido.

O próprio solo do aterro se desloca, através seu peso, para o ponto mais baixo da vala, algum resíduo de lodo eventualmente presente pode ser retirado posteriormente.

Completada uma faixa, passa-se à seguinte, assegurando-se um piso firme para os veículos de transporte trafegarem na etapa posterior.

O uso de faixas alternadas permite o emprego de uma ou mais equipes de escavação e transporte simultaneamente, visando a rapidez dos serviços, ao mesmo tempo em que possibilita o trabalho conjunto sem interferência ou congestionamentos que afetam a produção.

Este processo é aplicável quando a camada brejosa é de pequena espessura, encontrando-se logo abaixo uma de bom suporte.

A experiência mostrou que, até 3,0 m de profundidade, a remoção é o processo mais econômico e rápido de consolidação, se comparado com os outros métodos.

A escavação, neste caso, é trabalho típico para as escavadeiras com “Dragline”, que podem operar sobre a camada de topo, a qual, geralmente, apresenta um mínimo de suporte, por encontrar-se com teor de umidade baixo. Mas, à medida que se aprofunda a vala, o material

se torna muito mole, especialmente depois de atingir o nível do lençol freático, quase sempre elevado nas baixadas.

O material de reposição deve ser de preferência, arenoso, para permitir a percolação da água (graças à sua alta permeabilidade), conseguindo-se, dessa forma, alguma compactação nessa camada quando for impraticável o uso de equipamentos. Todavia, com bombas de sucção pode-se conseguir o rebaixamento do lençol e proceder-se ao lançamento de materiais secos, permitindo o uso de equipamentos de compactação.

Este processo apresenta como vantagens a rapidez de execução e a possibilidade de se saber com certeza se todo material imprestável foi, de fato, removido, garantindo-se a homogeneidade do aterro.

2.4.4.3 Remoção do material instável por deslocamento

Quando a camada é muito mole, a ponto de não permitir a passagem das máquinas, ou possui espessura muito grande, tornando impraticável ou muito onerosa a remoção, somos obrigados a adotar outros métodos, conforme abordado a seguir.

2.4.4.3.1 Deslocamento por sobrecarga

Um dos processos utilizados é aproveitar o peso do próprio aterro para provocar o deslocamento do material instável, lateralmente, através da mobilização de tensões de cisalhamento que ultrapassam a sua capacidade de resistência.

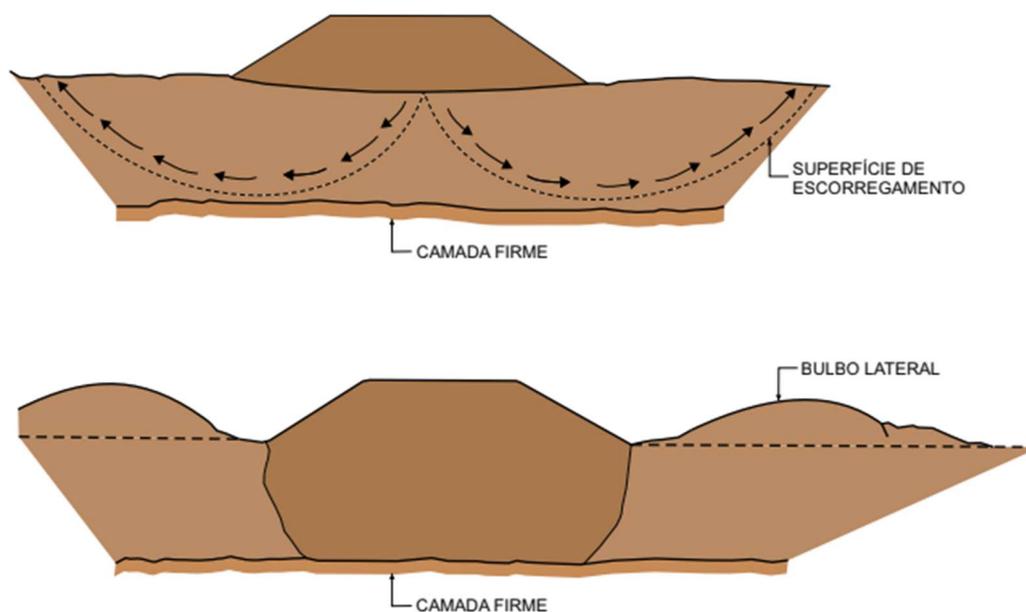
Pode-se colocar excesso de carga no aterro, executando-o com altura maior do que a do projeto, a fim de que as maiores pressões geradas por esta sobrecarga (pré-adensamento) apressem o processo de adensamento, reduzindo substancialmente o tempo de recalque.

É necessário, porém, que o aumento das tensões de cisalhamento não leve à ruptura do solo instável e ao afundamento do solo do aterro. O volume de material usado na sobrecarga pode ser reutilizado em outro local.

Este processo permite o emprego simultâneo com o método dos drenos de areia, conseguindo-se maior redução do tempo de recalque.

Assim, com a expulsão da camada mole, o material do aterro afunda, vindo a ocupar parcialmente o espaço antes ocupado por ela. A porção deslocada vem aflorar na superfície, ao lado do aterro, elevando o terreno natural pela formação de bulbos.

Figura 67 – Deslocamento por sobrecarga



Fonte: DER/PR, 1996.

Prosseguindo-se em várias etapas, obtém-se a expulsão total da camada mole, substituindo-a por solo de melhor qualidade, até encontrar o terreno firme subjacente.

As desvantagens do processo estão no consumo excessivo de terra, que ocorre frequentemente para se conseguir a estabilização do aterro, onerando demasiadamente o custo das obras. Outra dificuldade é não ser possível o controle efetivo da homogeneidade da camada, sendo normal a permanência de bolsões de material mole, que podem prejudicar o comportamento do aterro, sem que haja possibilidade de removê-los.

2.4.4.3.2 Deslocamento por explosivos

Há casos em que a camada mole suporta, sem a ocorrência de escorregamento lateral, o peso do aterro, de maneira que o método de expulsão não é aplicável. Por outro lado, sendo a camada profunda, torna-se antieconômica a sua remoção.

Tem sido utilizado, com êxito, o processo de deslocamento do material instável com o emprego de explosivos.

A lama resiste às pressões devidas à sobrecarga do aterro, pela sua pequena coesão e pressões hidrostáticas existentes. A detonação de explosivos (dinamite) em sua massa provoca uma onda de choque, cuja energia é suficiente para superar a pequena resistência do material, expulsando-o lateralmente, conforme método a seguir descrito.

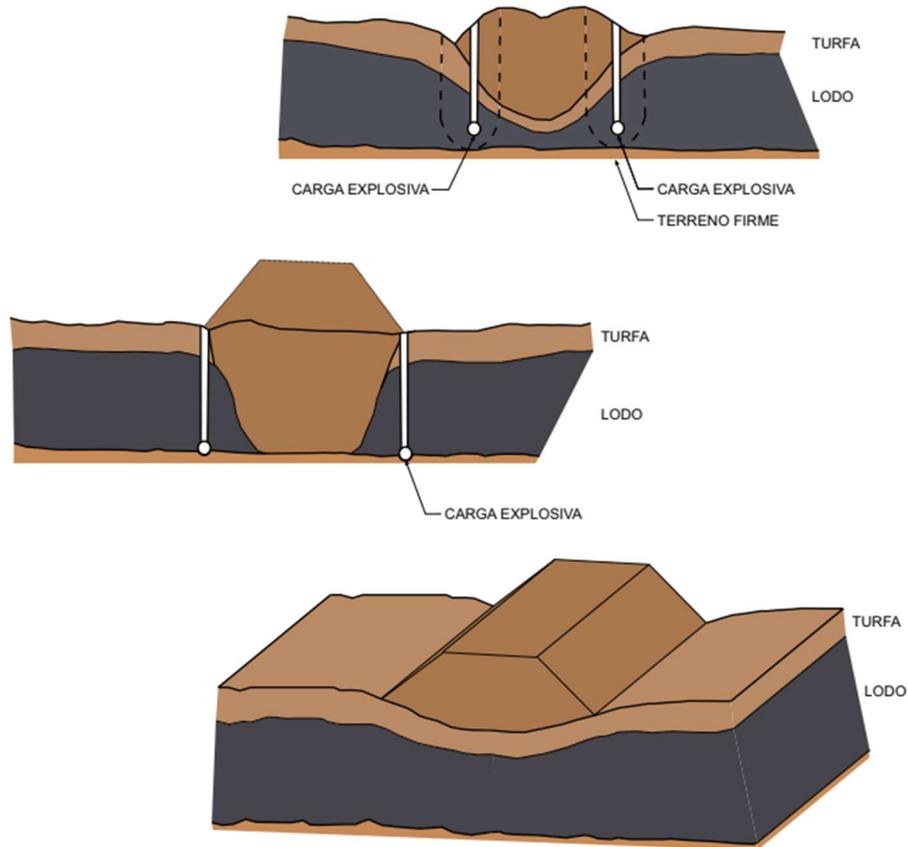
O processo pode ser iniciado com uma série de detonações superficiais, antes do lançamento do aterro, de maneira a liquefazer a camada mole superficial, mediante a dispersão da fase sólida na fase líquida, bem como a remover o entrelaçado de raízes de vegetação.

Em seguida, lança-se o material de aterro, em espessura maior que a de projeto, levando-se em conta o recalque, devido à expulsão do material mole.

Completado o aterro, executam-se cinco linhas de furos para a colocação do explosivo. Uma delas coincide com o eixo da rodovia, outras duas, com as extremidades da crista, e as duas laterais com o pé do aterro. Cada linha de furo deve distar 3,0 m da seguinte, possuindo tal profundidade, que situe a carga na metade da espessura da camada mole.

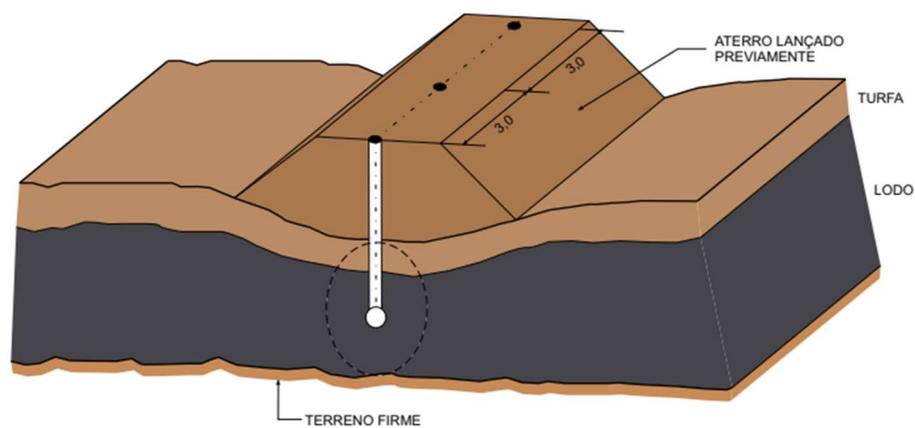
Entretanto, é pouco utilizado no Brasil e seu emprego deve ser realizado com cuidado pois desestrutura a massa do material próximo que permanece sob o aterro.

Figura 68 – Deslocamento por explosivos



Fonte: DER/PR, 1996.

Figura 69 – Deslocamento por explosivos



Fonte: DER/PR, 1996.

O explosivo usado pode ser a gelatina a 40 %, resistente à água, com um consumo de 150 a 200 g/m³ de material a deslocar.

A detonação é feita em etapas, explodindo em primeiro lugar a linha do eixo do aterro. Em seguida, as duas laterais e, por fim, as extremidades junto às saias.

Após a ação das ondas de choque, todo o material instável deve ser expulso sob o aterro, havendo o abatimento da massa de terra. É necessário se efetuar algumas sondagens, a fim de verificar a permanência de algum bolsão de material mole, que pode ocasionar problemas futuros. Em caso positivo é indispensável repetir o processo, até a remoção completa do solo instável.

2.4.4.4 Outras soluções

2.4.4.4.1 Construção de drenos verticais de areia

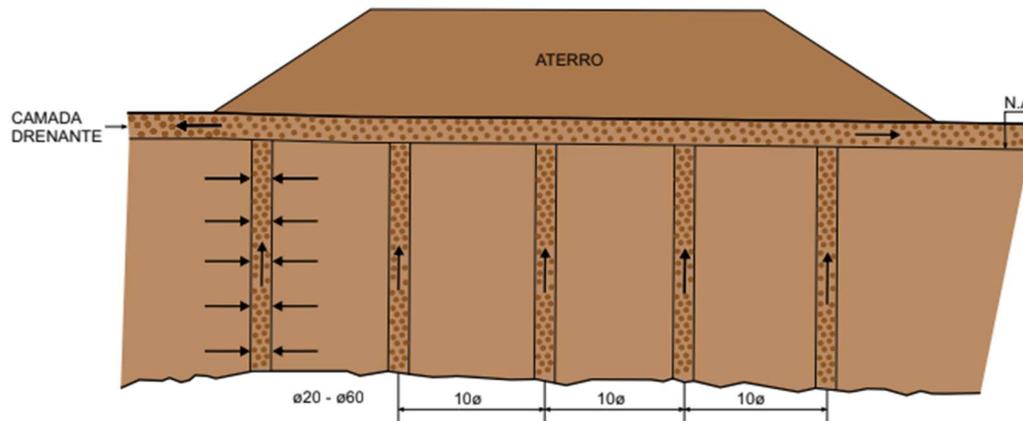
O processo dos drenos de areia, também chamados, impropriamente de estacas de areia, visa a acelerar, em curto prazo, o adensamento da camada mole, aumentando a resistência ao cisalhamento.

Os drenos verticais devem ser construídos por sondas rotativas ou pela cravação de tubos (camisas com altura suficiente para atingir a camada profunda de bom suporte), sendo o material interno removido por jatos de água.

Em seguida, são cheios de material filtrante, possuindo alto coeficiente de permeabilidade em relação ao da camada mole.

Uma camada de areia é lançada sobre o topo dos drenos, numa largura ligeiramente maior do que a do futuro aterro. Em seguida, executa-se o aterro sobre a camada filtrante.

Figura 70 – Drenos verticais de areia



Fonte: DER/PR, 1996.

A pressão originada pela sobrecarga do aterro faz com que a água da camada mole percole até encontrar o dreno vertical, que é o caminho mais curto e de maior permeabilidade para o seu escoamento, até atingir a base do aterro e sair pela camada drenante.

Dessa forma, o adensamento da camada mole é acelerado através da rápida perda de água, reduzindo o volume de vazios pela aproximação das partículas do solo.

Ao mesmo tempo, porém, a saída da água ocasiona o aumento da resistência ao cisalhamento pela diminuição da pressão neutra, concluindo-se que, com este processo, se consegue um adensamento acelerado, aliado à melhoria da capacidade de suporte do solo e diminuindo o risco de escorregamento lateral da camada mole.

O dimensionamento dos drenos é feito através dos conhecimentos da Mecânica dos Solos. Em geral, o diâmetro dos furos varia de 20 cm até 60 cm, sendo a distância entre os drenos da ordem de dez vezes o valor do diâmetro.

De maneira geral, são três os processos para a execução dos drenos verticais de areia:

- a) O primeiro consiste em cravar um tubo fechado por uma bucha ou outro dispositivo que permita abrir a extremidade inferior, encher o tubo com água e areia devidamente graduada e retirá-lo. Este processo é bem prático porque evita a retirada do material do solo, ficando automaticamente eliminada a

necessidade de limpar o tubo e de remover a lama do mesmo. Também a quantidade de água necessária é diminuta e o canteiro não se transforma num lamaçal intransitável.

- b) O segundo processo é executado cravando um tubo aberto, através do solo, por qualquer processo. Uma vez cravado o tubo até a profundidade desejada, ele é esvaziado do material que aí penetrou por meio de pressão de ar e água. Depois do tubo limpo, procede-se ao enchimento com areia e à retirada do mesmo. Requer maiores equipamentos e em maior quantidade, como sejam bombas, compressores e tubulações etc.
- c) O terceiro processo consiste em executar no solo perfurações manuais ou mecânicas, retirando a terra à medida que se escava, revestindo o furo com um tubo, se as paredes desmoronam. Em seguida, aberto o poço, enche-se com areia, retirando-se o tubo. A perfuração pode ser feita manual ou mecanicamente. Se manual, em geral, são utilizados trados de 12 polegadas, com braçadeiras de 0,5 m e segmentos de 1,50 m, que se vão justapondo com luvas nas emendas. Em média, 05 (cinco) homens fazem, com cada trado, 20 m de poço vertical por dia. Existem também máquinas para perfuração mecânica.

Digna de nota é a dupla vantagem dos drenos de areia, que além de suportarem diretamente as cargas, funcionando como estacas, exercem ainda o trabalho principal de dreno vertical, possibilitando a expulsão da água existente na camada mole, aumentando a resistência do solo.

Atualmente, é de largo uso o processo que substitui os drenos de areia por fitas de geotêxtil, que facilitam substancialmente a execução e cujo desempenho é idêntico ao dos drenos de areia.

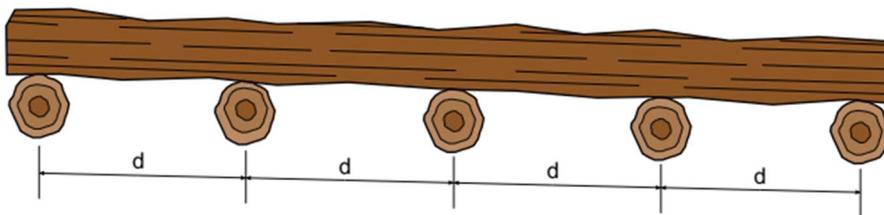
2.4.4.4.2 Construção de estivas de madeira

É um processo também usado, que consiste em armar-se uma estiva sobre o terreno mole, sendo comum o uso de toros de eucalipto.

Os toros devem estar espaçados de 20 cm a 50 cm e, geralmente, bastam duas camadas para a consolidação do aterro. Estes toros são normalmente cortados em comprimentos que permitam a sua colocação manual. Quando se trata de turfa, o terreno não deve ser desmatado, pois a vegetação existente ajuda o processo de estabilização. Com a construção dos aterros, os toros afundam e ficam permanentemente imersos dentro do solo úmido, garantindo a sua não deterioração ao longo dos anos.

Os aterros sobre as toras são construídos pelo método de ponta de aterro, compactando-se as camadas superiores pelo processo convencional.

Figura 71 – Estivas de madeira



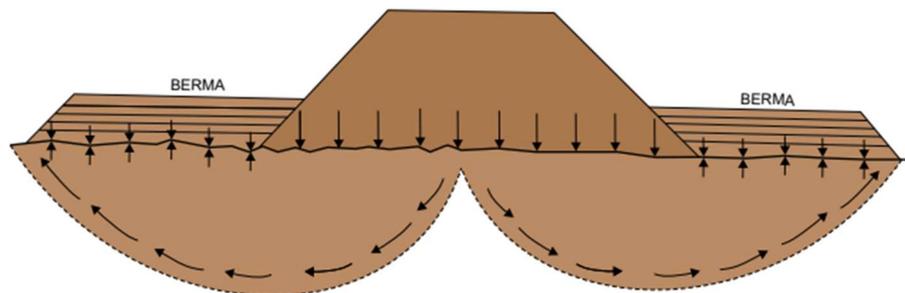
Fonte: DER/PR, 1996.

2.4.4.4.3 Construção de bermas de equilíbrio

Sob certas condições, é possível evitar-se o deslocamento dos materiais instáveis, durante a execução do aterro, construindo-se camadas laterais, que servem de contrapeso aos empuxos resultantes da carga do aterro principal, denominadas bermas de equilíbrio.

Evitam a formação dos bulbos e o deslocamento do material instável, bem como o afundamento do material de boa qualidade do aterro, obtendo-se um processo de estabilização rápido e econômico.

Figura 72 – Bermas de equilíbrio



Fonte: DER/PR, 1996.

2.4.4.4.4 Utilização de geotêxteis

Vem sendo de uso cada vez maior na execução de aterros sobre solos moles. Consiste em colocação de mantas com características apropriadas, em posições cuidadosamente definidas (horizontal e verticalmente), sobre as quais vão sendo colocadas as diversas camadas de solo.

Requerem cuidados especiais para garantia da drenagem e do próprio andamento dos trabalhos, geralmente exigindo a execução manual de aterro nas suas primeiras camadas.

O geotêxtil distribui carga do maciço e facilita a drenagem. É de fácil aplicação e tem custo bastante competitivo, quando comparado com o de outras soluções.

2.4.4.4.5 Utilização de “geogrades”

As geogrades são estruturas que oferecem uma opção no reforço interno do solo, o que permite a construção de estruturas de terra de baixo custo e com boa confiabilidade. Esse reforço interno permite substituir encostas convencionais, de pouca inclinação, por encostas com inclinações mais acentuadas. A economia consequente da diminuição do volume de terraplenagem pelo uso de geogrades deve ser mais significativa, quanto maior for a altura do aterro.

Assim, já não mais limitados pelo ângulo natural de repouso do solo, os projetistas estão criando encostas mais íngremes ao invés de muros de contenção.

As geogrades são feitas de plástico resistente, nos tipos biaxial e uniaxial.

O método construtivo é relativamente simples. Após preparar a fundação do aterro colocam-se os panos da geograde, jogando-se o aterro, em camadas, sobre esta, compactando-o em seguida. Ao espalhar o solo sobre a geograde, devem ser preferidos equipamentos sobre pneus, objetivando não danificar a mesma.

As geogrades são também utilizadas para fixar a terra vegetal nos taludes, visando permitir a execução do revestimento vegetal.

2.5 Aterros

O aterro é definido como segmento de rodovia cuja implantação requer depósito de materiais provenientes de cortes e/ou de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto (off-sets) que definem o corpo estradal.

2.5.1 Execução e compactação de aterros

O início e desenvolvimento dos serviços de execução de aterro, pertinente a um segmento viário, se condiciona à rigorosa observância do disposto a seguir:

- a) As áreas a ser objeto de deposição de materiais, para efeito da implantação do segmento de aterro reportado, devem apresentar-se convenientemente desmatadas e/ou destocadas, estando o respectivo entulho devidamente removido;
- b) As obras-de-arte correntes, previstas para execução no segmento do aterro em foco, devem estar devidamente construídas e concluídas;
- c) As marcações de eixo e dos "off sets", bem como as referências de nível (RN) relacionadas com os segmentos interferentes com os serviços devem, após as

operações de desmatamento e destocamento, ser devidamente checadas e, se for o caso, revistos, de sorte a guardarem consonância com o projeto geométrico;

- d) As correspondentes fontes ou tomadas de água, indicadas no Projeto de Engenharia, devem estar, na forma devida, preparadas e equipadas, e em condições de municiarem, regularmente, as operações de compactação dos aterros reportados em foco;
- e) Os caminhos de serviço concernentes aos vários trajetos então definidos devem estar operacionais.

2.5.1.1 A Importância da compactação dos Aterros

Pode-se afirmar que a compactação dos aterros é a fase em que maiores cuidados devem ser tomados no emprego correto das técnicas e procedimentos recomendados, pois a má execução desse trabalho tem sempre consequências desagradáveis e onerosas ao construtor e ao usuário das obras. O maior problema é quanto à execução dos aterros, sem que o adensamento desejável tenha sido obtido em todo o maciço de terra. As falhas cometidas refletem-se, às vezes, decorrido muito tempo após a construção, em recalques excessivos, escorregamentos da saia do aterro e erosão rápida, devido à ação das águas pluviais.

Assim, a compactação é tarefa de maior importância, existindo fatores adversos e aleatórios que perturbam sua operação como: chuvas, excesso de umidade do solo e variação imprevisível nas suas características e que podem vir a contribuir para a eventual má qualidade do aterro.

A meta almejada, no caso, deve ser sempre a obtenção das massas específicas indicadas no Projeto de Engenharia e/ou pelas Especificações das Obras, cujo tema é focado a seguir.

Entretanto, algumas regras básicas devem ser obedecidas, visando-se o bom desenvolvimento e a qualidade dos serviços:

- a) Uma vez processada a limpeza do terreno, os buracos ou depressões ocasionadas por desmatamento/destocamento, devem ser preenchidos com material dos cortes ou empréstimos devidamente compactados;
- b) Iniciar o aterro sempre no ponto mais baixo, em camadas horizontais;
- c) Prever o caimento lateral ou longitudinal para o rápido escoamento das águas pluviais, evitando o seu acúmulo em qualquer ponto.

2.5.1.2 Aspectos construtivos e particularidades

Há três etapas distintas na execução propriamente dita dos aterros: o lançamento do material pelo equipamento de transporte; o espalhamento em camada, e a compactação (de cada camada). Sempre que as condições locais permitirem, os serviços devem ser organizados para que se tenha uma ou mais frentes de trabalho em que as citadas etapas sejam devidamente escalonadas. Obtêm-se, assim, mais flexibilidade e maior rendimento na operação, minimizando-se as interferências do tempo meteorológico e das falhas mecânicas dos equipamentos.

Figura 73 – Implantação de aterros

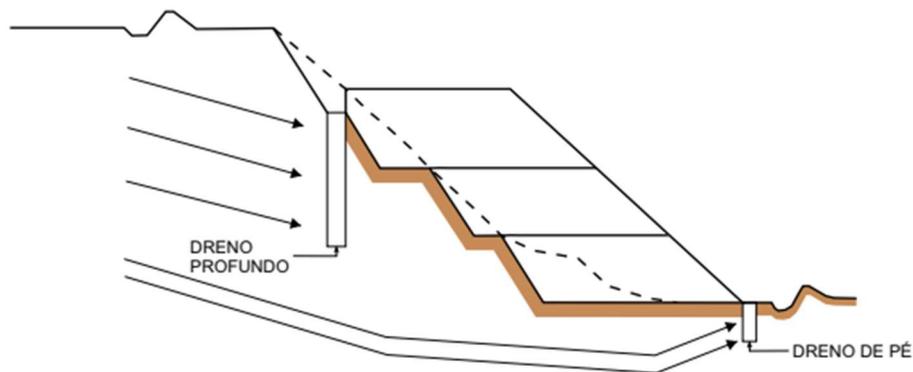


Fonte: DER/PR, 1996.

A implantação de aterros em meia encosta reveste-se de muita importância, e requer cuidados especiais sob o aspecto da estabilidade, que, por sua vez, está ligada a outros

aspectos, tais como: inclinação da encosta, altura do aterro, natureza do solo de fundação, presença de água subterrânea, sistema de drenagem etc.

Figura 74 – Aterro em meia encosta



Fonte: DER/PR, 1996.

Feita a limpeza da vegetação e do solo superficial, antes do início do aterro deve ser feito um escalonamento, procurando criar patamares na direção das curvas de nível do terreno a receber o aterro, que servirão de apoio às primeiras camadas.

O escalonamento deve ser feito simultaneamente à subida do aterro, conforme ilustra a figura anterior. Entre os objetivos principais deste escalonamento podemos citar:

- a) Realizar o engastamento do aterro com o terreno natural, para evitar possíveis deslizamentos pela falta de aderência ou diminuição da coesão interna pelo efeito lubrificante da água;
- b) Adotar medidas de prevenção para a drenagem, caso venha a ser verificada a ocorrência de água subterrânea;
- c) Criar condições de trabalho para a operação mais eficiente do equipamento;
- d) Permitir o controle geométrico do talude do aterro, especialmente nos de grande altura.

Cumprir observar que a intitulada camada final do aterro compreende espessura de 60 cm (espalhamento, preparo e compactação em três camadas de 20 cm). Os serviços

pertinentes devem ser objetos de devido controle e atendimento a requisitos de cunho geométrico e geotécnico, definidos nas Especificações de Serviços do DER/PR.

Em especial, no caso da imediata execução do pavimento, deve ser dedicado um tratamento específico.

Assim é que, sendo as camadas finais do aterro as que irão receber, durante a vida útil da estrada, todas as cargas provenientes do pavimento e do tráfego, torna-se recomendável que, por injunções técnico-econômicas, estas camadas venham a ser dotadas de características tecnológicas e geométricas adequadas para cumprir tais finalidades.

Para tanto, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

- a) Utilização de solos melhor selecionados nos últimos 60 cm do aterro (3 camadas);
- b) Compactação mais rigorosa nestas camadas;
- c) Acabamento e controle geométrico mais apurado (plataforma e taludes).

2.5.1.3 Compactação dos aterros

A Compactação de aterros é o processo manual ou mecânico de aplicação de forças destinadas a reduzir o volume do solo até atingir a densidade máxima. Entre outras razões, a diminuição do volume deve-se a:

- a) Melhor disposição dos grãos do solo, permitindo aos menores ocupar os espaços deixados pelos maiores;
- b) Diminuição do volume de vazios pela nova arrumação do solo;
- c) Utilização da água como lubrificante.

Cabe ainda considerar que, sendo a compactação o processo destinado a diminuir o volume do solo pela ação de um esforço externo, esta diminuição se dá até o ponto em que

a maior parte das partículas entra em contato umas com as outras, ocasionando uma quantidade mínima de vazios, uma parte cheia de ar e outra de água.

Nesta situação, o solo atinge uma densidade máxima, auxiliada pela ação da água, quer lubrificando, quer provocando a coesão entre as partículas. A umidade que corresponde à quantidade mínima de água necessária para atingir este ponto chama-se de umidade ótima. Por outro lado, para que isto aconteça é necessária a ação de uma determinada quantidade de energia, chamada de energia de compactação.

2.5.1.3.1 Particularidades dos solos ante a compactação

No tocante à compactação, existem dois grandes grupos de solo:

- a) **Solos coesivos** – São solos muito finos, com predominância de silte e argila. São abundantes nas regiões tropicais úmidas, e escassos nas regiões áridas. Pela sua natureza coloidal, retêm, na sua estrutura, quantidade de água maior que outros solos. Os solos coesivos possuem partículas coloidais, que têm a capacidade de absorver a água, dando origem à coesão entre as mesmas. A absorção é um fenômeno molecular diferente da capilaridade e da água livre;
- b) **Solos granulares** – São solos com predominância de grãos de rocha de tamanho variável. A parte fina destes solos pode ser arenosa ou siltosa.

Na compactação dos solos coesivos (argilas), a função da água é envolver as partículas mais finas de solo, dotando-as de coesão. Qualquer acréscimo de água superior ao necessário fica entre as partículas, separando-as; o esforço de compactação, neste caso, é utilizado para expulsar a água, procurando a aproximação das partículas.

Nos solos granulares (arenosos), há predominância de partículas sólidas que entram em contato entre si, transmitindo o esforço que recebem. A água funciona como lubrificante, facilitando a movimentação e o entrosamento. O excesso de água é facilmente eliminado por drenagem ou evaporação. Na compactação dos solos granulares, o esforço aplicado é

transmitido pelas partículas sólidas, que se movimentam com menos atrito, pela ação lubrificante da água.

2.5.1.3.2 Mecânica da compactação

Para a diminuição dos vazios de um solo, pela arrumação dos grãos, é necessário: equipamento adequado que forneça a energia de compactação (compactadores) e água natural ou adicionada, para servir como lubrificante entre as partículas sólidas.

A energia de compactação é fornecida pela ação dos rolos compactadores.

A quantidade de energia de compactação necessária para estabilizar um solo está relacionada com a natureza do solo e a função que vai desempenhar (aterro, sub-base, base etc.); portanto, a natureza do solo, o teor de água, a energia de compactação e o processo de compactação são os fatores que intervêm na compactação dos solos.

São conhecidos quatro processos fundamentais de compactação:

- a) **Por compressão** – o esforço é proveniente da aplicação de uma força vertical, de maneira constante, o que provoca o deslocamento vertical do solo. Este deslocamento permite uma melhor arrumação das partículas, objetivando sempre a diminuição do volume de vazios.
- b) **Por amassamento** – consiste na aplicação simultânea de forças verticais e horizontais provenientes do equipamento utilizado. Esta ação simultânea de forças é conseguida pelos rolos compactadores rebocados ou autopropulsores, onde os esforços horizontais da tração são somados aos verticais do peso do rolo. Este amassamento permite uma acomodação mais rápida das partículas com menor número de passadas (ex. rolos pé de carneiro, de pneus etc.).
- c) **Por impacto** – consiste na aplicação de forças verticais, provocando impacto sobre a superfície em que é aplicada, com repetição até de 500 vezes por minuto (ex.: sapos compactadores).

- d) **Por vibração** – quando a aplicação das forças verticais se dá com uma frequência de repetição acima de 500 golpes por minuto. A faixa de aplicação é de 900 a 2000, dependendo do tipo de solo. No equipamento vibratório, deve-se considerar, além da frequência, a amplitude da vibração, que é a altura de queda da massa. Os impactos do equipamento de compactação provocam no solo uma vibração que possibilita o deslizamento de umas partículas sobre as outras. O rendimento máximo é obtido quando o solo está vibrando na mesma frequência do equipamento; a este estado chama-se de ressonância.

2.5.1.3.3 Equipamentos de compactação

Os principais tipos de rolos compactadores utilizados são: pé de carneiro, estático ou vibratório; de pneus com pressão fixa ou variável, e liso, estático ou vibratório.

Cada tipo de rolo tem características específicas, que são próprias para determinado tipo de solo, o que não invalida o seu uso em outros solos, desde que se leve em conta a redução do rendimento.

As principais características de cada rolo foram descritas anteriormente no item Equipamento de Compactação.

2.5.1.3.4 O processo de compactação no campo

O processo de compactação no campo não se vincula a nenhuma sistemática mais rígida, em termos de prescrições para respectiva execução. Ao contrário, a experimentação e o método de tentativas são os processos mais indicados para se chegar à execução rápida e econômica do adensamento mecânico dos solos, excluindo-se definitivamente a fixação arbitrária dos parâmetros, como o número de passadas, a espessura da camada, a velocidade do equipamento etc.

A maneira correta de se enfrentar o problema consiste na seleção do material a ser empregado no aterro e na escolha dos equipamentos supostos como os mais apropriados para o caso.

Em seguida, passa-se à fase de ajustagem, já no campo, executando a compactação em pistas experimentais, concluindo-se, por tentativa, qual o número de passadas, espessura, velocidade e teor de umidade mais favoráveis, para obter-se o grau de compactação desejável, dentro das condições vigentes naquela obra.

A sequência construtiva da compactação de aterros é, resumidamente:

- a) Lançamento e espalhamento do material com os “motoscrapers” ou unidades de transporte procurando-se obter, aproximadamente, a espessura solta adotada;
- b) Regularização da camada, utilizando-se a motoniveladora para o acerto da altura da camada solta, dentro dos limites impostos pelas especificações. Admite-se que a espessura da camada solta seja de 20 a 25% maior do que a altura final de camada, após a compactação;
- c) Homogeneização da camada (pulverização) pela remoção ou fragmentação de torrões secos, material conglomerado, blocos ou matações de rocha alterada etc., obtendo-se a pulverização do solo de forma homogênea;
- d) Determinação da umidade natural do solo (h_n), através de um método expedito, como o aparelho speedy, por exemplo;

Observação: No caso de a umidade natural do solo estiver acima da faixa de umidade ótima, é necessário proceder ao abaixamento do teor de umidade do solo, através da aeração, empregando-se arados de disco, grades ou motoniveladora. No caso de estar abaixo da faixa ótima, devemos umedecer o material, utilizando caminhões-pipa.

- e) Estando o material dentro da faixa da umidade ótima prevista nas Especificações de Serviço, passa-se à fase da rolagem, usando-se o equipamento mais indicado, com o número de passadas suficiente para se atingir, em toda a camada, o grau de compactação desejado.

A rolagem deve ser feita em passadas longitudinais, das bordas para o eixo da pista, com superposição de, no mínimo, 20 cm entre duas passadas consecutivas.

No caso de aclives, a compactação deve ser efetivada sempre no sentido longitudinal e de crescimento da rampa.

Torna-se imprescindível que os serviços sejam objetos de rigoroso acompanhamento e controle.

2.5.2 Execução de aterros com materiais rochosos

A execução deste serviço deve observar as diretrizes a seguir:

- a) o corpo dos aterros de rocha deve ser construído em camadas sucessivas, para toda a largura da seção transversal, com espessura máxima de 0,75 m. A maior dimensão de qualquer pedra utilizada deve ser, no máximo, igual a 0,60 m;
- b) a primeira camada deve ser executada mediante descarga da rocha no ponto mais baixo do trecho em execução e com utilização de trator de esteiras com lâmina para espalhamento do material na espessura indicada;
- c) cada camada subsequente deve ser construída a partir de uma extremidade, lançando-se a rocha no topo da camada em construção e, após, empurrando-se o material para frente com trator de lâmina, de tal modo que as pedras sejam acomodadas sobre a camada precedente;
- d) os interstícios entre as pedras maiores devem ser preenchidos com pedras de menor tamanho e com fragmentos produzidos por essa operação e pela colocação de carregamentos sucessivos de material;

- e) os últimos 2,0 m do aterro devem ser executados em camada, cuja espessura não pode ser superior a 0,30 m nem conter pedras com dimensão superior a 2/3 da espessura da camada, devendo ser usados rolos vibratórios apropriados;
- f) a camada final deve ser constituída com granulometria tal que assegure uniformidade à superfície;
- g) os materiais de dimensões maiores que as especificadas devem ser reduzidos por marroagem ou outros métodos.
- h) as áreas a ser objeto de deposição de materiais, para efeito da implantação do segmento de aterro reportado, devem se apresentar convenientemente desmatadas e/ou destocadas, estando o respectivo entulho devidamente removido;
- i) as obras de arte correntes, previstas para execução no segmento do aterro em foco, devem estar devidamente construídas e concluídas;
- j) deve ser realizada a cobertura prévia das obras de arte correntes com solo para sua proteção;
- k) as marcações de eixo e dos “off sets”, bem como as referências de nível (RN) relacionadas com os segmentos interferentes com os serviços devem, após as operações de desmatamento e destocamento, ser devidamente checadas e, se for o caso, revistos, de sorte a guardarem consonância com o projeto geométrico;
- l) as correspondentes fontes ou tomadas d’água, indicadas no Projeto de Engenharia, devem estar, na forma devida, preparadas e equipadas, e em condições de funcionarem, regularmente, as operações de compactação dos aterros reportados em foco;
- m) os caminhos de serviço concernentes aos vários trajetos então definidos devem estar devidamente concluídos.

Torna-se imprescindível que os serviços sejam objetos de rigoroso acompanhamento e controle.

2.5.3 Execução de aterros sobre solos moles

Muitas vezes, na construção de uma estrada, nos deparamos com problemas de construção de um aterro sobre um terreno de baixa resistência e com umidade bastante alta. A construção do aterro diretamente sobre esse tipo de terreno pode ocasionar problemas de recalques e prejudicar a qualidade do serviço.

Quando o terreno é pantanoso ou turfoso, o melhor é, primeiramente, saber da extensão do problema, antes de iniciar qualquer trabalho. Isto pode ser feito com um bom plano de sondagens, que tem a finalidade de mostrar a espessura da camada de baixa resistência e a natureza dos solos existentes. Quando a espessura da camada mole é menor do que 5,0 m, a melhor solução geralmente é remover todo esse material com o uso de escavadeiras dotadas de retro ou dragline, colocando o material do lado ou transportando-o em caminhões basculantes para locais de bota-fora.

Entretanto, quando a espessura da camada mole é superior a 5 m, exceto quando a extensão for pequena, várias soluções podem ser estudadas para o caso, as quais demandam a elaboração de projeto específico. Dentre essas soluções as mais usuais são: drenos de areia, estivas de madeira, uso de geotêxteis e até uso de explosivos.

Como algumas das soluções para resolver este problema prendem-se com a necessidade de realizar as operações de escavação de solos moles e simultaneamente iniciar o aterro com solos de substituição, este assunto foi abordado em detalhe no item Escavação de Solos Moles e Sua Substituição, neste Manual.

2.5.4 Execução de aterros junto a encontros com obras-de-arte especiais

Os aterros junto a encontros com obras-de-arte devem ser compactados antes da execução da infra ou da superestrutura, especialmente se o encontro for estaqueado ou apoiado em tubulões. Essa providência tem por finalidade minimizar os empuxos horizontais sobre os elementos enterrados, devidos aos movimentos do subsolo provocados pela sobrecarga do

aterro e resultantes tanto da deformação imediata quanto das deformações oriundas do adensamento das camadas argilosas.

Segundo Tschebotarioff (1973), esse efeito deve ser desprezível quando o fator de segurança do aterro for igual ou superior a 1,5. Nesses casos, o projeto deve especificar uma instrumentação mínima que permita acompanhar os recalques sob o aterro do encontro.

Entretanto, se o fator de segurança calculado para o encontro, através de análises de estabilidade utilizando métodos correntes de cálculo, for inferior a 1,5, é necessário avaliar o valor dos esforços atuando sobre os elementos de fundação, o que pode ser feito, aproximadamente, seguindo as recomendações de Tschebotarioff e de De Beer (1973), ou utilizando métodos mais sofisticados. As instrumentações, nesses casos, devem ser mais completas, incluindo a medição, não só dos recalques do aterro, mas também dos movimentos horizontais próximos às estacas, por meio de inclinômetro.

No caso de aterros junto a muros de arrimo, a compactação junto ao paramento interno deve ser feita com equipamento tipo sapo ou placa vibratória, especialmente quando o material de aterro for granular e servir como dreno. O emprego de equipamento pesado de terraplanagem (rolos vibratórios ou pneumáticos) pode induzir esforços horizontais de magnitude maior que a prevista nos cálculos do muro. Nesses aterros deve ser dada atenção especial aos detalhes da drenagem, no projeto.

No caso de bueiros, passagens de gado etc., que tenham de manter um greide de fundo, deve ser dado ao subsolo um tratamento que minimize ou evite recalques pós-constructivos. Se for permitida a deformação do aterro e do bueiro, deve ser prevista a magnitude dos recalques que ocorrerão ao longo de seu eixo. Nesse caso, o bueiro deve ser projetado para suportar os recalques sem quebrar, prevendo-se para tais, detalhes constructivos de juntas que permitam o movimento relativo entre seções distintas.

O uso de juntas tipo Fugenband é aconselhado, bem como o envolvimento do bueiro ao longo de todo o perímetro das juntas com geotêxtil e/ou material granular com função de

filtro, para evitar carreamento de solo para seu interior, caso ocorram rachaduras provocadas por recalques. Devido aos recalques diferenciais do subsolo adjacente ao bueiro, não é aconselhável o estaqueamento deste, exceto se justificado.

2.5.5 Controle de execução dos taludes de aterro

São as faces laterais, provenientes da construção dos aterros. Sua estabilidade é muito importante para garantir a segurança da estrada.

Sendo o aterro resultado da colocação de solo em camadas sucessivas, é possível, pela seleção de materiais e compactação cuidadosa, tanto das bordas como do corpo principal, obter-se maciços estáveis.

Pelo próprio processo de construção, as bordas são os locais onde o solo solto vai sendo depositado, resultando daí uma camada sem resistência, facilmente carregada pela água das chuvas.

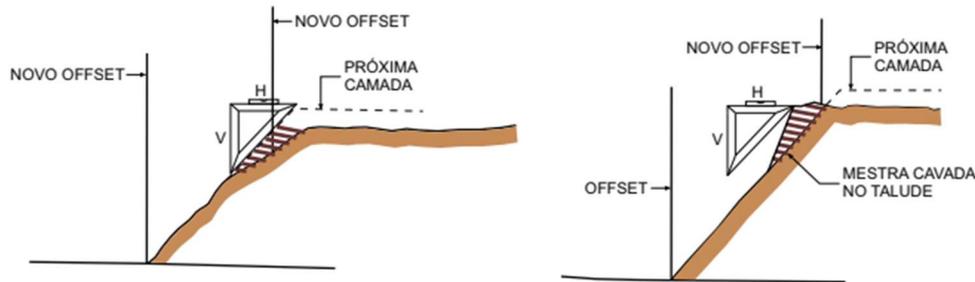
Para contornar este problema, podem ser tomadas as seguintes providências:

- a) Compactação manual ou mecânica (é muito onerosa e pouco eficiente, se não for executada convenientemente);
- b) Regularização do talude com remoção do solo solto (é a solução mais recomendável).
- c) Iguamente aos cortes, o seu desempenho fica bastante comprometido, se não for feita uma correta marcação e verificação dos “off-sets”.

A sua inclinação deve ser controlada, tanto com o uso de esquadros, como pelas referências laterais que devem ser colocadas ao longo dos aterros.

O esquadro é utilizado de maneira análoga à indicada para o corte, devendo-se tomar cuidado na posição.

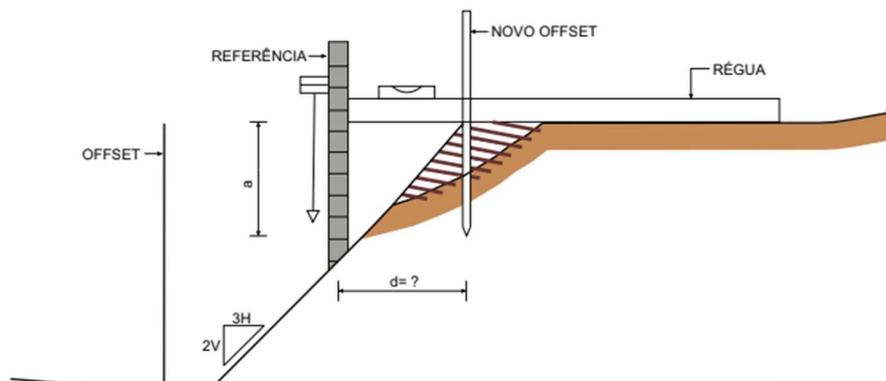
Figura 75 – Marcação de taludes de aterros com esquadros



Fonte: DER/PR, 1996.

Além dos “off-sets”, devem ser colocadas referências laterais, com marcas que permitam o controle da espessura das camadas, assim como a inclinação dos taludes. A posição vertical, para efeito de controle de talude, deve ser verificada com prumo de pedreiro e a régua para a medida horizontal deve ser utilizada com nível de pedreiro. A medição direta da altura até o nível da plataforma permite calcular a posição correta do talude.

Figura 76 – Marcação de taludes de aterros – Régua



Fonte: DER/PR, 1996.

2.6 Taludes

Os taludes de uma rodovia são elementos importantíssimos para manter a rodovia operacional em termos de circulação rodoviária, mas eles são também importantes para dar um aspecto paisagístico a quem circula nas rodovias. Para isso têm normalmente um revestimento vegetal sobre eles, seja grama, se eles forem baixos, ou arbustos e árvores, se eles forem altos. Estes aspectos são importantes para que eles possam suportar o

escoamento das águas superficiais que sobre eles caem durante as chuvas, sem a abertura de sulcos provenientes da erosão.

2.6.1 Estabilidade dos taludes

Entende-se por estabilidade de um talude a capacidade que esse possui de permanecer inalterado após a sua execução, resistindo à ação do intemperismo.

A inclinação do talude é definida com base em considerações técnico-econômicas.

Para tanto, o parâmetro técnico mais significativo é a resistência ao cisalhamento do solo, que é função do atrito e coesão interna do material. Influem, ainda, os seguintes aspectos, inerentes à rodovia/trecho:

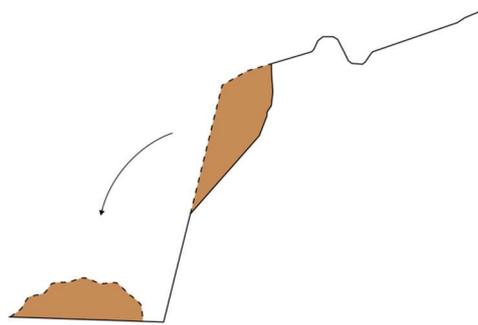
- a) natureza do solo;
- b) regime de chuvas;
- c) altura do corte;
- d) finalidade;
- e) tipo de estrada etc.

Assim, determinado o tipo do talude a ser utilizado, existem outros fatores, imprevisíveis, que põem em risco sua estabilidade.

Nem sempre a instabilidade dos taludes terrosos e rochosos causa os mesmos tipos de movimento, sendo, porém, os mais frequentes os seguintes:

- a) **Desprendimento** – É a separação de um fragmento terroso ou rochoso, caindo livremente. Trata-se de um fenômeno localizado, que pode ser evitado após a constatação do mesmo; a sua correção, porém, é em geral relativamente cara e só se justifica em casos muito especiais.

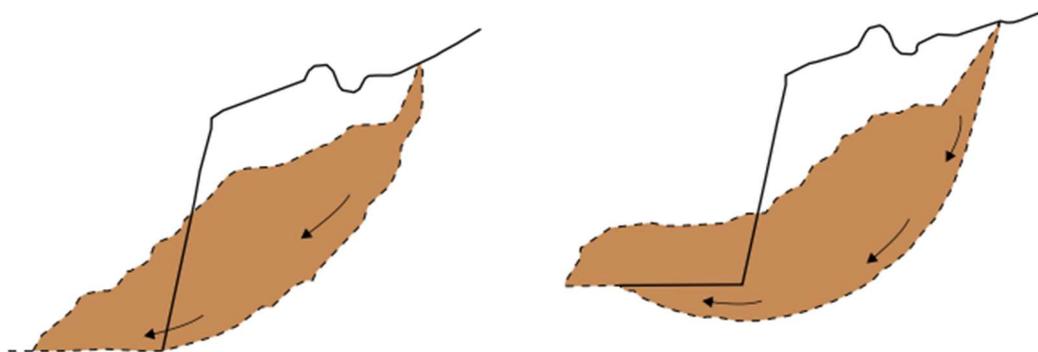
Figura 77 – Estabilidade de taludes – Desprendimento



Fonte: DER/PR, 1996.

- b) **Escorregamento** – É o deslocamento rápido de uma massa de solo ou rocha, que, rompendo-se do maciço, desliza para baixo e para o lado, ao longo de uma superfície de deslizamento. No caso de solos coesivos homogêneos (argila), o movimento predominante é a rotação. Nos maciços rochosos estratificados o movimento predominante é o de translação. As rupturas do maciço podem ser superficiais ou profundas.

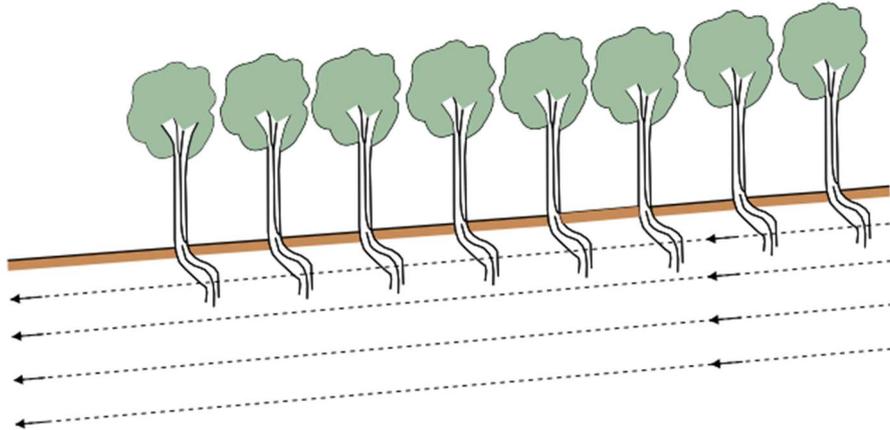
Figura 78 – Estabilidade de taludes – Escorregamento



Fonte: DER/PR, 1996.

- c) **Rastejo** – É o deslocamento lento e contínuo de camadas superficiais sobre camadas mais profundas. São movimentos lentos, facilmente observados, ao longo do tempo, pela inclinação das árvores, quando existentes no local.

Figura 79 – Estabilidade de taludes – Rastejo



Fonte: DER/PR, 1996.

Entre as causas frequentes que dão origem aos deslocamentos, podemos citar as seguintes:

- a) Inclinação do talude não compatível com a natureza do terreno;
- b) Sobrecarga excessiva, ocasionada por bota-foras ou construções posteriores à execução do talude;
- c) Excesso de umidade no solo, após longos períodos de chuvas;
- d) Fendas, fraturas ou planos de estratificação do maciço que se torna instável, pela presença de água de infiltração;
- e) Escavação profunda no pé do talude para implantação de obras;
- f) Altura excessiva dos taludes de corte e de aterro;
- g) Baixo suporte dos solos de fundação.

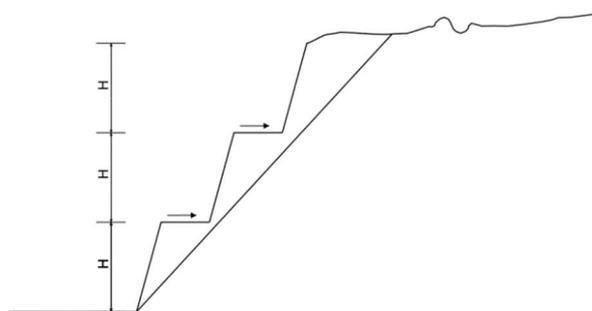
2.6.2 Escalonamento dos taludes

Após os estudos pertinentes à verificação da estabilidade dos cortes e dos aterros, devem ser definidas as suas inclinações. A depender da altura máxima, projetam-se patamares em intervalos de altura constantes, dando ao corte um aspecto escalonado.

Os argumentos técnicos que justificam este procedimento são os seguintes:

- a) Nos cortes e aterros chamados altos, com altura superior a 10 m, a superfície do talude exposta é bastante grande, o que ocasiona, durante as chuvas, erosões devido às altas velocidades de escoamento da água, a ponto de erodir fortemente a mesma. O escalonamento reduz esta superfície, devendo a água ser canalizada através de valetas construídas nos patamares.
- b) O emprego dos cortes e aterros escalonados permite melhorar a estabilidade do talude, visto que a parte inferior da berma contrabalançará o peso de escorregamento do maciço.

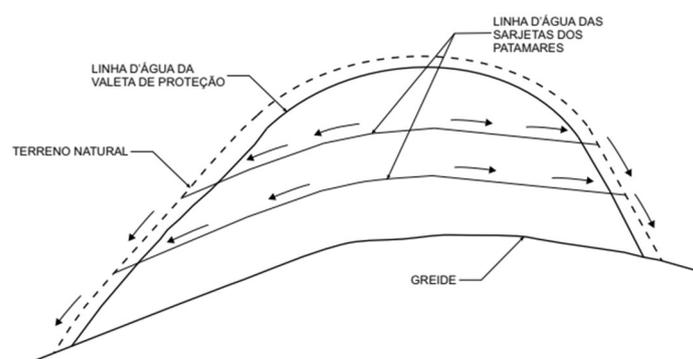
Figura 80 – Seção transversal de um corte escalonado



Fonte: DER/PR, 1996.

Nos escalonamentos, para maior eficiência no funcionamento da drenagem, os patamares devem ter sua declividade transversal orientada no sentido do pé, onde deve ser construída uma valeta, de preferência, revestida. A declividade longitudinal acompanha, paralelamente, o greide da estrada.

Figura 81 – Vista longitudinal de um corte escalonado



Fonte: DER/PR, 1996.

2.6.3 Acabamento final e cuidados dos taludes de corte e de aterro

Sendo os taludes de corte e de aterro as áreas mais desprotegidas e expostas diretamente à ação das intempéries, torna-se indispensável adotar medidas preventivas de proteção, que podem ir desde a simples compactação e reparo de qualquer anomalia na sua superfície ou nos dispositivos de drenagem que os protegem.

Como solução prática e econômica, utiliza-se o revestimento vegetal feito com espécies apropriadas de gramíneas e/ou leguminosas, que tenham aptidão para se desenvolver na região onde se localiza a rodovia.

Entre as principais funções que esta proteção desempenha, podemos citar as seguintes:

- a) Fixação da camada de solo superficial pelo enraizamento;
- b) Amortecimento da velocidade de escoamento da água superficial, evitando a erosão;
- c) Aspecto estético agradável.

Este acompanhamento dos taludes de cortes e dos aterros demanda um controle contínuo e sistemático, nos meses que se seguem à sua conclusão, não só na verificação se houveram alguns danos no talude como resultado de erosão das águas das chuvas, mas também no que se refere ao crescimento do recobrimento vegetal dos taludes.

Qualquer anomalia na superfície dos taludes ou dos seus sistemas de drenagem deve ser imediatamente corrigida e se se verificarem grandes períodos sem chuva, deverá proceder-se à rega sistemática dos elementos vegetais que foram plantados sobre eles plantados, com eventual tratamento com adubos ou tratamentos químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Implantação Básica de Rodovia** (IPR Publ. 742). 3ª Edição. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Vegetação Rodoviária** (IPR Publ. 734). 2 volumes. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instrução de Serviço Ferroviário – ISF. **ISF-229: Projeto de Proteção Vegetal de Taludes**. Consórcio STE/SISCON – Contrato Nº 127/2008. Janeiro de 2012.

CASE – www.casece.com

CASTELANI, G., RICARDO, H. S. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação em Rocha**. São Paulo: Editora Pini, 2007.

CASTRO, B. A. C. Notas de Aula: **Construção de Estradas e Vias Urbanas**. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

CATERPILLAR – www.cat.com

COSTA, G. C. Estradas 1: **Classificação das Rodovias**, Universidade Católica de Pernambuco. Notas de Aula. 38p. Recife, 2020.

COSTA, R. **Introdução à Terraplenagem**. Notas de Aula. Disciplina TT-401 – Infraestrutura Viária. Curitiba: UFPR, 2015.

FURUKAWA – www.furukawa-rockdrill.com



GESSNER – www.gessner.com.au

HITACHI – www.hitachicm.com

JOHN DEERE – www.deere.com

KOMATSU – www.komatsu.com

LANDOLL – www.landoll.com

LEE, S. H. Coleção Didática **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 4ª Edição. Florianópolis: Editora UFSC, 2013.

LIEBHERR – www.liebherr.com

NEW HOLLAND – www.newholland.com

PARANÁ. Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná. **Manual de Execução de Serviços Rodoviários**, 2ª Edição, Curitiba: DER/PR, 1996.

VOLVO – www.volvoce.com

WEBER MT – www.webermt.com