

PROJETO DE TERRAPLANAGEM DE RODOVIAS



ALEJANDRO RUIZ-PADILLO
ESTER SCHMITT DUARTE
SÍLVIO LISBÔA SCHUSTER
TATIANA CUREAU CERVO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE MOBILIDADE E LOGÍSTICA

PROJETO DE TERRAPLANAGEM DE RODOVIAS

Santa Maria, RS

2023

P964 Projeto de terraplanagem de rodovias [recurso eletrônico] / [coordenadores: Vanessa Teresinha Alves, Alejandro Ruiz-Padillo ; autores: Alejandro Ruiz-Padillo, Ester Schmitt Duarte, Silvio Lisbôa Schuster, Tatiana Cureau Cervo]. – Santa Maria, RS : UFSM, Centro de Tecnologia, Laboratório de Mobilidade e Logística, 2023.
1 e-book : il.

ISBN 978-85-64049-21-5

1. Rodovias - terraplanagem 2. Cortes 3. Aterros 4. Volumes
5. Geotecnia 6. Equipamentos 7. Custos I. Alves, Vanessa Teresinha
II. Ruiz-Padillo, Alejandro III. Duarte, Ester Schmitt IV. Schuster, Silvio
Lisbôa V. Cervo, Tatiana Cureau

CDU 624.132

Ficha catalográfica elaborada por Lizandra Velda Arabidian - CRB-10/1492
Biblioteca Central - UFSM



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA MARIA (UFSM)**

Reitor

Luciano Schuch

Vice-Reitora

Martha Bohrer Adaime



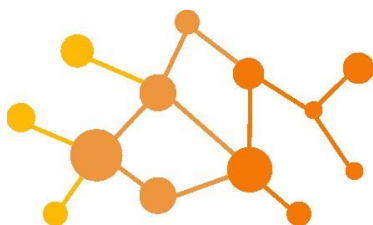
**CENTRO DE TECNOLOGIA
(CT-UFSM)**

Diretor

Tiago Marchesan

Vice-Diretora

Tatiana Cureau Cervo



LAMOT
LABORATÓRIO DE MOBILIDADE E LOGÍSTICA

LABORATÓRIO DE MOBILIDADE E LOGÍSTICA (LAMOT)

Coordenadores

Vanessa Teresinha Alves

Alejandro Ruiz-Padillo

Autores:

Alejandro Ruiz-Padillo, Dr. Eng.

Ester Schmitt Duarte

Silvio Lisbôa Schuster, Dr. Eng.

Tatiana Cureau Cervo, Dra. Eng.

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por qualquer meio, sem a prévia autorização desta entidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Direção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de desenvolvimento do presente livro didático. Agradecem também aos colegas do LAMOT, acadêmicos Rafael Cezar Wasqueviti e Thais Roos Dutra pelo apoio e contribuição, e acadêmico Waliston Eurípedes dos Santos pelo auxílio na criação da capa do livro. Agradecem igualmente a contribuição direta da engenheira civil Clara Padilha Lago, enquanto ainda era acadêmica na Universidade Federal de Santa Maria. O prof. Alejandro Ruiz-Padillo agradece também ao CNPq pelo apoio financeiro (processo 310258/2021-9).

APRESENTAÇÃO

As rodovias são parte essencial da rede de conectividade dentro de um país. Elas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento das nações em todo o mundo. Dentro da elaboração do projeto de uma rodovia, existem várias etapas importantes, e uma delas é a terraplanagem. Ela envolve o movimento e nivelamento do solo no local onde a rodovia será construída e inclui diversas atividades, como escavação, corte, aterro, compactação.

O desenvolvimento do planejamento e execução da terraplanagem de maneira adequada é crucial para o sucesso do projeto de uma rodovia como um todo. Essa etapa impacta diretamente em fatores econômicos e ambientais, no prazo de execução da obra e na segurança viária durante a operação da infraestrutura. O presente material busca unir diversos aspectos e conceitos relevantes ao projeto de terraplanagem de rodovias, de maneira didática, com o objetivo de contribuir como fonte de conhecimento para estudantes e profissionais relacionados à área.

Os assuntos abordados neste livro complementam o conteúdo apresentado na obra “Projeto Geométrico de Rodovias”, também publicado pelo Laboratório de Mobilidade e Logística da Universidade Federal de Santa Maria, dando continuidade aos conceitos relacionados com a fase de planejamento de obras rodoviárias. No entanto, as informações contidas neste volume podem ser facilmente aplicáveis a projetos de outras infraestruturas lineares, como ferrovias ou canais, entre outras, assim como a outras obras de engenharia civil.

O livro conta com oito capítulos que tratam sobre distribuição de volumes de terra, estudos geotécnicos, diferentes equipamentos de terraplanagem e como dimensionar e calcular os custos de uma equipe (composta por mão-de-obra humana e maquinário) que executa esse tipo de serviço.

Ótima leitura!

Os autores

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção em corte.	22
Figura 2 - Seção em aterro.....	22
Figura 3 - Representação longitudinal do trecho de uma rodovia.	23
Figura 4 - Perfil longitudinal entre linhas de passagem.	29
Figura 5 - Diferença entre volumes com os respectivos fatores de conversão.....	31
Figura 6 - Exemplo de elementos de identificação de maciços de terraplanagem.	36
Figura 7 - Distribuição entre corte e aterro.....	39
Figura 8 - Distribuição de volumes.	40
Figura 9 - Diagrama de Brückner.	41
Figura 10 - Sentido de transporte.	42
Figura 11 - Exemplo de quadro de orientação de terraplanagem.	43
Figura 12 - Página do relatório de composições SICRO.....	44
Figura 13 - Exercício de Diagrama de Brückner.....	45
Figura 14 - Camadas de um pavimento.	47
Figura 15 - Perfis de solo.....	48
Figura 16 - Deslizamento de terra.	49
Figura 17 - Escavação de poço.	52
Figura 18 - Trado.....	53
Figura 19 - Operadores realizando sondagem por meio de trado manual.	53
Figura 20 - Trincheira.....	54
Figura 21 - Sondagem SPT.....	55
Figura 22 - Equipamento para SPT.	56
Figura 23 - Sondagem rotativa.	57
Figura 24 - Sondagem sísmica.....	58
Figura 25 - Teste do tato.....	60
Figura 26 - Empréstimos laterais.....	62
Figura 27 - Esquema de localização de empréstimo concentrado.....	64
Figura 28 - Croqui indicando jazidas.	66
Figura 29 - Curva granulométrica.	67
Figura 30 - Aparelho de Casagrande.	68



Figura 31 - Limite de plasticidade.....	69
Figura 32 - Ensaio do frasco de areia.	70
Figura 33 - Moinho de bolas.....	71
Figura 34 - Ensaio de adesividade.....	71
Figura 35 - Análise petrográfica.....	72
Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão simples.....	73
Figura 37 – Equipamento de ensaio triaxial.	74
Figura 38 - Pá.	77
Figura 39 - Picareta.....	77
Figura 40 - Execução manual da terraplanagem.	78
Figura 41 - Equipamentos mecanizados.....	79
Figura 42 - Materiais de superfície.....	82
Figura 43 - Trator de esteiras.....	84
Figura 44 - Trator de pneus.	84
Figura 45 - Trator de esteiras com lâmina fixa.....	87
Figura 46 - Trator com lâmina <i>angledozer</i>	88
Figura 47 - Lâmina “U”.....	88
Figura 48 - Escarificador.	89
Figura 49 - Carregadeira de esteiras.	90
Figura 50 - Carregadeira de pneus.....	90
Figura 51 - <i>Dragline</i>	92
Figura 52 - <i>Clam-shell</i>	92
Figura 53 - Escavadeira de caçamba frontal.....	93
Figura 54 - Retroescavadeira.....	93
Figura 55 - Motoniveladora.....	94
Figura 56 - Caminhão basculante.....	96
Figura 57 - <i>Dumper</i>	96
Figura 58 - Caminhão fora de estrada.....	97
Figura 59 - Rolo pé-de-carneiro.....	98
Figura 60 - Rolo compactador liso.....	99
Figura 61 - Rolo compactador pneumático.....	100
Figura 62 - Rolo combinado.....	100
Figura 63 - Esteira.....	108
Figura 64 - Fatores que influenciam a capacidade da lâmina.....	115

Figura 65 - Ângulo de talude para solos arenosos.....	116
Figura 66 - Ângulo natural de talude em solos argilosos.	116
Figura 67 - Estimativa de capacidade da lâmina.	117
Figura 68 - Determinação da rampa média.	118
Figura 69 - Ciclo de operação de uma carregadeira.	119
Figura 70 - Escavação de vala.	123
Figura 71 - Exercício de cálculo de custos de terraplanagem.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de cálculo do volume dos maciços ao longo das estacas.	29
Tabela 2 - Exemplo de cálculo do volume acumulado ao longo das estacas de um maciço.	33
Tabela 3 - Exemplo de cálculo do centro de massa por interpolação linear.	34
Tabela 4 - Exemplo de cálculo dos centro de massa pelos momentos de inércia.	34
Tabela 5 - Exercício 1 de cálculo de volumes e maciços.	36
Tabela 6 - Exercício 2 de cálculo de volumes e maciços.	37
Tabela 7 - Número mínimo de furos de sondagem.	51
Tabela 8 - Correlação entre velocidade de propagação e escarificabilidade.	58
Tabela 9 - Granulometria.	59
Tabela 10 - Comparação entre unidades tratoras.	85
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens de tratores.	86
Tabela 12 - Valores de K	106
Tabela 13 - Valores para o coeficiente de aderência.	109
Tabela 14 - Incremento da produção.	119
Tabela 15 - Fatores de carga.	122
Tabela 16 - Valores de L	124
Tabela 17 - Vida útil de pneus.	137
Tabela 18 - Valores de k	138

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. TERRAPLANAGEM OU TERRAPLENAGEM?	21
1.2. SERVIÇOS PRELIMINARES	23
1.3. CAMINHOS DE SERVIÇO	24
2. VOLUMES E MACIÇOS	27
2.1. CÁLCULO DOS VOLUMES DE CORTE E ATERRO	27
2.1.1. Áreas das seções transversais	27
2.1.2. Método das duplas áreas	28
2.2. FATORES DE CONVERSÃO	30
2.3. CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA	30
2.3.1. Interpolação visual	32
2.3.2. Média aritmética dos limites do maciço	32
2.3.3. Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço	33
2.3.4. Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada	34
2.4. IDENTIFICAÇÃO DOS MACIÇOS	35
2.5. RESUMO DOS VOLUMES	35
2.6. EXERCÍCIOS	36
2.6.1. Exercício 1	36
2.6.2. Exercício 2	37
3. DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS	39
3.1. DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS DE TERRAPLANAGEM	39
3.2. DIAGRAMA DE BRÜCKNER	40
3.3. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE	42
3.4. QUADRO DE ORIGEM E DESTINO	43
3.5. VALOR DOS SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM	44
3.6. EXERCÍCIO	45
4. ESTUDOS GEOTÉCNICOS	47
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
4.1.1. Objetivos dos estudos geotécnicos	48
4.1.2. Etapas	49
4.2. ESTUDO DE CORTES E SUBLEITO	49

4.2.1. Estudos preliminares.....	50
4.2.2. Estudos definitivos	50
4.2.3. Sondagem	51
4.3. ESTUDO DE MATERIAIS DE EMPRÉSTIMO E JAZIDAS.....	61
4.3.1. Estudos preliminares.....	61
4.3.2. Estudos Definitivos.....	61
4.4. ESTUDO DE FUNDAÇÃO DE ATERROS	66
4.5. ESTUDO DE DRENAGEM PROFUNDA.....	66
4.6. ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES.....	67
4.7. ENSAIOS	67
4.7.1. Ensaio de granulometria	67
4.7.2. Índices físicos	68
4.7.3. Limite de liquidez.....	68
4.7.4. Limite de plasticidade.....	69
4.7.5. Equivalente de areia.....	69
4.7.6. Ensaio de compactação	69
4.7.7. Ensaio de CBR ou Índice de Suporte Califórnia (ISC)	70
4.7.8. Densidade <i>in situ</i>	70
4.7.9. Abrasão Los Angeles.....	70
4.7.10. Ensaio de adesividade.....	71
4.7.11. Ensaio de sanidade.....	71
4.7.12. Análise petrográfica por lâminas	72
4.7.13. Difração de raio-x	72
4.7.14. Matéria orgânica	72
4.7.15. Resistência à compressão simples	72
4.7.16. Resistência ao adensamento	73
4.7.17. Triaxial.....	73
4.7.18. Permeabilidade	74
4.8. EXERCÍCIOS.....	74
4.8.1. Exercício 1	74
4.8.2. Exercício 2.....	75
5. EXECUÇÃO DA TERRAPLANAGEM.....	77
5.1. TERRAPLANAGEM MANUAL	77
5.2. TERRAPLANAGEM MECANIZADA	78

5.3. OPERAÇÕES BÁSICAS DE TERRAPLANAGEM: CICLO DE OPERAÇÃO	79
5.4. ESTUDO DOS MATERIAIS DE SUPERFÍCIE	80
5.4.1. Terminologia de rochas TB-3 (ABNT)	80
5.4.2. Classificação do DNIT	81
6. EQUIPAMENTOS DE TERRAPLANAGEM	83
6.1. UNIDADES DE TRACÇÃO - TRATORES	83
6.2. ESCAVO-EMPURRADORES	86
6.2.1. Lâmina fixa.....	87
6.2.2. Lâmina <i>angledozer</i>	87
6.2.3. Lâmina <i>tilt-dozer</i> e lâmina <i>tip-dozer</i>	88
6.2.4. Lâmina “U”	88
6.2.5. Lâmina reta	89
6.3. Escarificador ou ripper	89
6.4. ESCAVO CARREGADEIRAS.....	89
6.5. ESCAVADEIRAS	91
6.5.1. <i>Drag-line</i> ou draga de arrasto	91
6.5.2. <i>Clam-shell</i> ou mandíbulas	92
6.5.3. <i>Shovel</i> ou caçamba frontal	93
6.5.4. Retroescavadeira.....	93
6.6. UNIDADES APLAINADORAS.....	94
6.7. UNIDADES TRANSPORTADORAS	95
6.7.1. Caminhão basculante comum.....	95
6.7.2. Vagões	96
6.7.3. <i>Dumpers</i>	96
6.7.4. Caminhões fora de estrada.....	97
6.8. UNIDADES COMPACTADORAS	98
6.8.1. Rolos pé-de-carneiro.....	98
6.8.2. Rolo liso.....	99
6.8.3. Rolo pneumático.....	99
6.8.4. Rolo combinado.....	100
7. DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES.....	103
7.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	103



7.1.1. Tipo de material.....	103
7.1.2. Fator de empolamento	104
7.1.3. Fator de redução	104
7.2. CONDIÇÕES DE LOCOMOÇÃO DOS EQUIPAMENTO	105
7.2.1. Forças resistentes ao movimento.....	105
7.2.2. Condições de aderência	108
7.2.3. Forças motrizes.....	110
7.3. PRODUTIVIDADE: TEMPO DE CICLO E RENDIMENTO.....	111
7.3.1. Tempo de ciclo	111
7.3.2. Fator de eficiência ou rendimento	112
7.3.3. Aumento da produtividade	114
7.4. PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	115
7.4.1. Unidades escavo-empurradoras.....	115
7.4.2. Unidades escavo-carregadeiras.....	119
7.4.3. Escavadeiras	122
7.4.4. Unidades transportadoras	124
7.4.5. Unidades aplainadoras	126
7.4.6. Unidades compactadoras	127
7.5. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE TERRAPLANAGEM	127
7.5.1. Fatores naturais.....	127
7.5.2. Fatores de projeto	128
7.5.3. Fatores econômicos	129
7.6. DIMENSIONAMENTO DE EQUIPE	129
7.7. EXERCÍCIO.....	130
8. ESTUDO ECONÔMICO DOS EQUIPAMENTOS.....	133
8.1. CUSTOS DE PROPRIEDADE	133
8.2. CUSTOS DE OPERAÇÃO	135
8.2.1. Combustíveis	135
8.2.2. Lubrificantes	136
8.2.3. Graxa lubrificante	136
8.2.4. Custo de filtro	136
8.2.5. Mão-de-obra e leis sociais	137
8.2.6. Pneus.....	137
8.3. CUSTOS DE MANUTENÇÃO	138

8.4. BENEFÍCIOS E DISPESAS INDIRETAS	138
8.5. EXERCÍCIO	139
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

1. INTRODUÇÃO

O projeto de terraplanagem é parte muito importante do projeto executivo de uma rodovia, juntamente com os projetos geométrico, de drenagem, de pavimentação, de obras de arte, etc. Neste material, serão abordados todos os aspectos envolvidos para a execução da movimentação de terra na construção de uma rodovia.

Esse tipo de projeto é composto por diversos elementos, documentos e informações que serão abordados ao longo deste livro, como:

- Compactação.
- Cálculo dos volumes de corte e aterro.
- Seções transversais.
- Jazidas de empréstimo.
- Áreas de bota-fora.
- Distribuição de materiais.
- Distância média de transporte (DMT).
- Notas de serviço de terraplanagem.

1.1. TERRAPLANAGEM OU TERRAPLENAGEM?

A definição de “terraplenagem” procede de terraplenar, tornar pleno, encher algo que está vazio. Já a palavra “terraplanagem” possui como definição: ato de aplainar o terreno, tornar plano.

As duas palavras representam o trabalho de movimentação de terra que prepara o terreno para a implantação de obras de engenharia, tendo por objetivo atender a um determinado projeto a ser implantado, e podem ser utilizadas como sinônimos a efeitos dos conteúdos desse livro.

A construção de uma rodovia, ferrovia ou aeroporto, a edificação de uma fábrica ou usina hidrelétrica, ou mesmo de um conjunto residencial exigem a execução de serviços de terraplanagem prévios, regularizando ou aplainando uma área do terreno natural, em obediência ao projeto que se deseja implantar. No entanto, todas as obras de Engenharia Civil de grande ou pequeno porte exigem trabalhos prévios de movimentação de terras.

Assim, a terraplanagem compreende o conjunto de operações de:

- Escavação.
- Carga.
- Transporte.
- Descarga e espalhamento.

Essas operações são aplicadas na construção de cortes e aterros, dando à superfície do terreno a forma projetada para construção de rodovias. Uma seção em corte obedece à necessidade de escavar ou retirar terras para alcançar uma cota inferior à do terreno natural e adequar sua forma à prevista no projeto, enquanto uma seção em aterro aparece quando terras são adicionadas ao terreno natural até chegar a uma cota superior. As Figuras 1 e 2 retratam, respectivamente, uma seção em corte e uma seção em aterro em uma via.

Figura 1 - Seção em corte.



Fonte: Adaptado de SOUZA (2018).

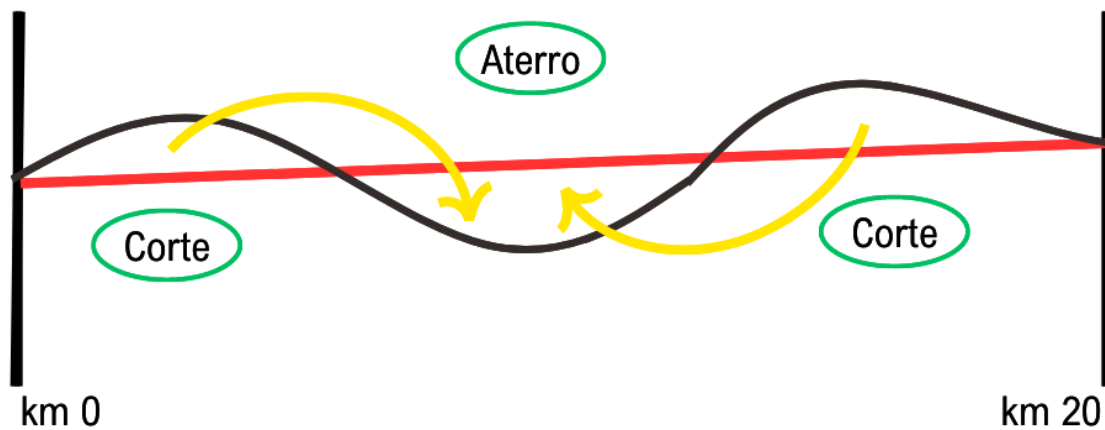
Figura 2 - Seção em aterro.



Fonte: Adaptado de SOUZA (2018).

A Figura 3 ilustra, de maneira simplificada, como se dá a distribuição dos materiais entre corte (origem) e aterro (destino) em um trecho de uma rodovia. Na Figura, a linha vermelha representa o greide da rodovia enquanto a linha preta representa o nível do terreno.

Figura 3 - Representação longitudinal do trecho de uma rodovia.



Fonte: Autores.

Além dessa distribuição, existem outras maneiras de realocar materiais de sua origem para seu destino, como empréstimos e bota-foras, definidos a seguir:

- Empréstimo: escavações em locais previamente definidos (jazidas) para a obtenção de materiais destinados à complementação de volumes necessários aos aterros. Podem ser executados também empréstimos laterais, próximos ao eixo da rodovia, nos locais onde é necessário maior volume de material.
- Bota-fora: volume de material que, por excesso ou por condições geotécnicas insatisfatórias, é escavado nos cortes e destinado a depósitos em áreas externas à construção da rodovia. Volumes escavados não utilizados na terraplanagem. Assim como no caso anterior, existem depósitos laterais, em que os excessos de terras com características adequadas são alocados junto aos taludes da rodovia projetada.

1.2. SERVIÇOS PRELIMINARES

A terraplanagem envolve, basicamente, a construção de cortes e aterros, porém, são necessários serviços preliminares, anteriores aos processos de escavação e transporte.



Os serviços preliminares compreendem a retirada de todos os elementos, naturais ou artificiais, que não participarão diretamente ou que possam interferir nestas duas operações.

Alguns conceitos importantes quanto aos serviços preliminares são listados abaixo:

- Elementos naturais: árvores, arbustos, tocos e raízes, etc.
- Elementos artificiais: construções, cercas, posteamentos, entulhos, etc.
- Desmatamento: corte e remoção de toda a vegetação independente da sua densidade.
- Destocamento e limpeza: escavação e a remoção total dos tocos e da camada de solo orgânico.
- Podem ser necessários outros serviços, como:
 - Remanejamento de postes.
 - Remoção de cercas.
 - Remoção de estruturas de madeira.
 - Demolição de muros.
 - Demolição de estruturas de alvenaria.

1.3. CAMINHOS DE SERVIÇO

Os caminhos de serviço para terraplanagem consistem em caminhos para a passagem dos equipamentos. Algumas observações importantes sobre a abertura desses caminhos são:

- São necessários em locais onde não existe uma estrada de ligação até o trecho da construção.
- São estradas de padrão suficiente para possibilitar o tráfego dos equipamentos e interligar cortes com aterros e estes com o canteiro da obra.
- Fazem parte dos caminhos de serviço também os desvios e provisórias:
 - Desvios: são as extensões de vias existentes para as quais será remanejado o tráfego durante o período de construção.
 - Provisórias: são considerados os caminhos especialmente construídos para esse fim, nos segmentos onde não haja possibilidade de desviar o tráfego para a implantação antiga ou para estradas já existentes.
- Os desvios e as provisórias terão padrão técnico apenas suficiente à passagem regular do tráfego, recebendo em seu leito camada superior a um revestimento primário somente em casos excepcionais.

- Ainda, são considerados como caminhos de serviço aqueles que se destinam a assegurar o acesso às ocorrências de materiais a serem utilizados nos serviços de pavimentação e drenagem, que são as pedreiras (pedra britada), jazidas (materiais já desagregados e solos em geral) e areais (areia).

2. VOLUMES E MACIÇOS

2.1. CÁLCULO DOS VOLUMES DE CORTE E ATERRO

O valor dos serviços operacionais de terraplanagem corresponde a cerca de 20% do custo total da obra de implementação de uma rodovia. Esses serviços incluem escavação, carga, transporte, compactação, entre outros.

Esses serviços são quantificados de acordo com o volume dos materiais. Para atividades de escavação, carga, transporte e descarga, é utilizado o volume de material medido no corte, em sua densidade natural, sem considerar alterações. Para serviços de aeração, espalhamento, umedecimento, compactação, conformação e acabamento da plataforma de terraplanagem, considera-se o volume de material medido no aterro, na densidade adquirida após a compactação.

Por isso, considerando o significativo percentual dos custos dessas atividades em relação ao total da obra, a quantificação correta a partir do cálculo dos volumes é muito importante.

2.1.1. Áreas das seções transversais

Antes de descrever o método que será utilizado para calcular o volume dos maciços, é importante observar um elemento complementar importante do projeto de terraplanagem, que será usado no cálculo: a área das seções transversais.

O projeto de seções transversais de corte, aterro ou mistas, consiste da determinação das seguintes informações:

- Largura da plataforma de terraplanagem.
- Inclinação da plataforma.
- Inclinação dos taludes de corte e aterro.

Para o cálculo das áreas existem diferentes métodos, que podem ser gráficos, mecânicos e analíticos, empregados de acordo com a precisão desejada em cada fase do projeto.



Atualmente, utilizam-se ferramentas digitais como o CAD (*Computer Aided Design*), que substituíram métodos manuais, como o planímetro mecânico e a contagem no papel milimetrado.

2.1.2. Método das duplas áreas

Para estimar os volumes dos maciços, é possível aplicar um método simples, que utiliza as áreas das seções transversais de um maciço e a distância entre elas. O método consiste em aproximar o volume entre duas seções transversais paralelas entre si ao volume de um prisma.

A Equação 1 mostra o cálculo do volume de um prisma através das áreas de suas superfícies laterais e a distância entre elas:

$$V = A_m \times d \quad (1)$$

A_m é calculada pela Equação 2.

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (2)$$

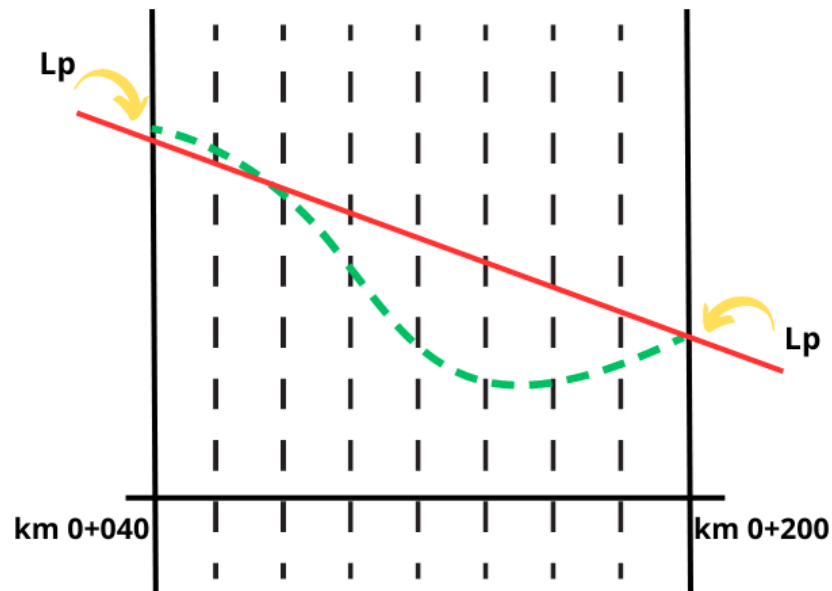
Sendo:

- V = volume do maciço.
- A_m = área média.
- A_1 = área da seção 1.
- A_2 = área da seção 2.
- d = distância que separa as seções.

Normalmente, a distância d será a existente entre estacas, ou seja, 20 m. É importante lembrar que o método das duplas áreas é eficaz em trechos longos e ininterruptos, constituídos por somente um eixo. Dividindo o maciço em segmentos de igual extensão, não muito elevada, se garante uma maior precisão no cálculo do volume total. Em trechos onde existe mais de um eixo (intersecções, por exemplo), é recomendada uma avaliação preliminar.

Para o cálculo, é importante localizar as seções transversais em questão, representadas pelas linhas de passagem (Lp), e dividir o maciço nas diferentes estacas cheias que existam dentro dele, como mostrado na Figura 4. É possível observar a linha natural do terreno, em verde, e o greide do projeto (em vermelho), indicando um maciço de aterro que começa na estaca km 0+040 e termina na estaca km 0+200.

Figura 4 - Perfil longitudinal entre linhas de passagem.



Fonte: Autores.

A Tabela 1 demonstra um exemplo de cálculo pelo método das duplas áreas.

Tabela 1 - Exemplo de cálculo do volume dos maciços ao longo das estacas.

Estaca (km)	Área (m ²)	Área Dupla (m ²)	$d/2$ (m)	Volume (m ³)
km 0+040	Lp			
km 0+060	32,1	32,1	10	321
km 0+080	84,7	116,8	10	1168
km 0+100	63,4	148,1	10	1481
km 0+120	11,5	74,9	10	749
km 0+140	55,9	67,4	10	674
km 0+160	74,6	130,5	10	1305
km 0+180	46,9	121,5	10	1215
km 0+200	Lp	46,9	10	469
			Total	7362

Fonte: Autores.

2.2. FATORES DE CONVERSÃO

A mesma quantidade de material apresenta significativas variações em seu volume no decorrer dos processos de escavação, transporte e compactação. Por isso, é importante observar e conhecer essas variações, para que a compensação entre origem e destino seja adequada.

Visto isso, é determinado que tanto os volumes de origem (cortes, jazidas e empréstimos laterais), quanto os volumes de destino (aterros, bota-fora e depósitos laterais) sejam medidos geometricamente, in loco. O material escavado, geralmente, em seu transporte, ocupa um volume maior na caçamba do caminhão do que o volume que ocupava em seu estado natural. Posteriormente, no processo de compactação, apresenta uma redução de volume. Neste sentido, existem alguns fatores para a conversão entre os diferentes volumes de uma mesma quantidade de material:

- Fator de empolamento: relação entre V_{solto} / V_{corte} . Relaciona o volume transportado com o volume geométrico no corte, em sua densidade natural. Geralmente um valor maior que 1. É utilizado para determinar o número de viagens necessárias (de acordo com o volume da caçamba do caminhão designado para o transporte), para levar de sua origem a seu destino, um determinado volume in loco de material.
- Fator de contração: relação entre $V_{compactado} / V_{corte}$. Relaciona o volume de material após a compactação e o volume de material natural no corte. Usualmente, é inferior a 1.
- Fator de homogeneização: inverso do fator de contração ($V_{corte} / V_{compactado}$). É utilizado para distribuir os materiais. Por exemplo, um material com fator de homogeneização 1,5 indica que, para produzir 1 m³ de aterro, são necessários 1,5 m³ de material natural (no corte).

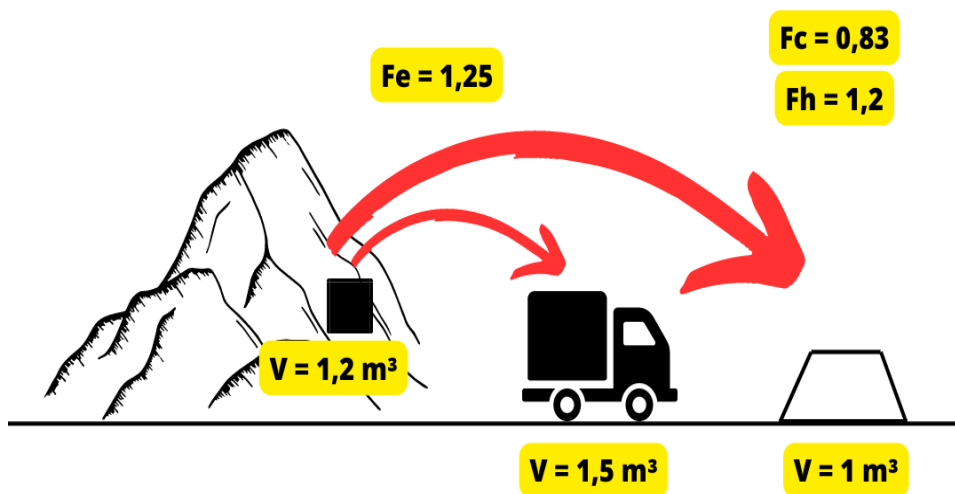
Uma ilustração gráfica dos fatores de conversão pode ser visualizada na Figura 5.

2.3. CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA

O centro de massa (ou centro de gravidade) é um elemento muito importante para a caracterização de um maciço. Ele consiste na localização (em quilômetros ou estacas) da “carga pontual” de um determinado maciço, sobre o eixo longitudinal da obra de terraplanagem de uma rodovia. O centro de massa é definido a partir da transformação de toda a carga distribuída

ao longo de um maciço, proveniente de seu volume, para uma única carga pontual (ou concentrada).

Figura 5 - Diferença entre volumes com os respectivos fatores de conversão.



Fonte: Autores.

A partir dessa definição é possível identificar um maciço a partir de sua estaca (ou quilômetro) inicial, sua estaca final, seu volume e seu centro de massa (CM).

Em alguns casos, quando no mesmo maciço de corte existem materiais de diferentes categorias (1ª categoria: solo; 2ª categoria: decomposição de rocha; 3ª categoria: rocha; todos eles serão tratados em detalhe nos seguintes capítulos), haverá mais de um centro de gravidade. Em maciços extensos, em que os materiais envolvidos possam estar relacionados a origens ou destinos distintos, podem ser divididos também em várias partes, cada uma das quais pode contar com seu centro de massa diferenciado.

Os valores dos centros de massa permitem estimar as distâncias de transporte do material de terraplanagem ao longo do trecho da rodovia, medidas como a extensão horizontal ao longo da qual o volume individual é transportado, desde a origem até o destino. Estas distâncias derivam da necessidade de que o material extraído dos maciços de corte ou das jazidas deve ser transportado até o ponto onde será descarregado e compactado para formar parte dos aterros, e são medidas entre os centros de massa dos maciços correspondentes.



A relação entre cada volume individual procedente da escavação de uma certa quantidade de material, na origem, e o volume associado à deposição desse material no destino remete ao conceito de compensação entre volumes de corte e aterro.

É possível determinar o centro de massa a partir de diferentes maneiras, que serão abordadas nos tópicos a seguir.

2.3.1. Interpolação visual

A interpolação visual é uma ferramenta usada com frequência pelo ser humano. De maneira “automática”, a cognição é capaz de criar percepções coerentes interpolando pontos observados.

Para o cálculo do centro de massa de um maciço, a interpolação visual é realizada através da observação do perfil longitudinal da obra de terraplanagem. Esse é um método indicado para serviços expeditos (ou seja, serviços realizados de forma rápida e eficiente, com o objetivo de atender demandas imediatas), visto que, por mais que promova um resultado relativamente preciso, o perfil longitudinal pode não representar de maneira fiel a superfície, induzindo a erros interpretativos.

2.3.2. Média aritmética dos limites do maciço

O resultado fornecido por esse método é obtido a partir do cálculo da média entre a estaca inicial e a estaca final (Equação 3). Por exemplo, um maciço que começa na estaca km 0+025 e termina na estaca 0+065 km, terá seu centro de gravidade na estaca km 0+045.

$$CM = \frac{Lp_1 + Lp_2}{2} \quad (3)$$

Sendo:

- CM = centro de massa.
- Lp_1 e Lp_2 = linhas de passagem de início e fim do maciço.

Por mais que o método utilize informações numéricas, é considerado menos preciso do que a interpolação visual, pois, geralmente, a distribuição dos volumes ao longo dos segmentos não se dá de maneira homogênea. Por isso, é recomendada sua aplicação somente em situações

onde o comportamento da distribuição seja homogêneo ou muito próximo disso, de forma similar a como acontece com as camadas de pavimento da rodovia, por exemplo.

2.3.3. Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço

O método descrito nesse tópico exige um processo mais elaborado que os anteriores, mas fornece um resultado de maior precisão. Como o próprio nome indica, em primeiro lugar, calcula-se a metade do volume do maciço e localiza-se entre quais estacas consecutivas o maciço alcançaria esse valor acumulado. Depois, por interpolação linear, considerando as estacas encontradas, calcula-se a localização do centro de massa.

Observando a Tabela 2, que utiliza os mesmos dados iniciais da Tabela 1, dividindo o volume total do maciço por dois, obtemos 3691 m³. Na coluna que indica os valores de volume acumulado, é possível observar que esse valor se encontra entre a estaca km 0+100 (2970 m³) e a estaca km 0+120 (3719 m³).

Tabela 2 - Exemplo de cálculo do volume acumulado ao longo das estacas de um maciço.

Estaca (km)	Área (m ²)	Área Dupla (m ²)	d/2 (m)	Volume (m ³)	Volume acumulado (m ³)
km 0+040	Lp				
km 0+060	32,1	32,1	10	321	321
km 0+080	84,7	116,8	10	1168	1489
km 0+100	63,4	148,1	10	1481	2970
km 0+120	11,5	74,9	10	749	3719
km 0+140	55,9	67,4	10	674	4393
km 0+160	74,6	130,5	10	1305	5698
km 0+180	46,9	121,5	10	1215	6913
km 0+200	Lp	46,9	10	469	7382
			Total	7382	

Fonte: Autores.

Uma vez identificadas as estacas consecutivas, é possível, por meio de interpolação linear, determinar a localização do centro de massa, como ilustrado na Tabela 3.



Tabela 3 - Exemplo de cálculo do centro de massa por interpolação linear.

Estaca (km)	Volume acumulado (m ³)
km 0+100	2970
X	3691
km 0+120	3719

Fonte: Autores.

Resolvendo o cálculo, obtém-se um valor de $X = 119,25$, ou seja, o centro de massa está localizado na estaca km 0+119,250.

2.3.4. Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada

O último e mais preciso dos métodos citados nesse material para determinação do centro de massa é por meio da localização dos momentos de inércia. O método também é conhecido como “média ponderada”.

O processo consiste em multiplicar o volume, em cada uma das estacas, por uma distância medida em relação a um ponto de referência. Esta referência pode ser a estaca do PP do trecho (0+000, o que implica na multiplicação diretamente pelo valor da estaca), a estaca de início do maciço ou qualquer outra escolhida. O somatório dos produtos (momentos) resultará do momento de inércia do maciço em relação a tal ponto. A partir dele, é possível calcular o centro de massa como a distância até a referência que apresenta o mesmo momento de inércia do que uma carga pontual igual a esse volume total.

O procedimento de cálculo pelos momentos de inércia é exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo de cálculo do centro de massa pelos momentos de inércia.

Estaca (km)	Área (m ²)	Área dupla (m ²)	$d/2$ (m)	Volume (m ³)	Volume acumulado (m ³)	Momento (m ³ .m)
km 0+025	Lp					
km 0+040	32,1	32,1	7,5	144,45	144,45	$144,45 * 40 = 5778$
km 0+060	84,7	116,8	10	1.168	1.312,45	70080
km 0+080	63,4	148,1	10	1.481	2.793,45	118480

km 0+100	11,5	74,9	10	749	3.542,45	74900
km 0+120	46,9	58,4	10	584	4.126,45	70080
km 0+123	Lp	46,9	1,5	70,35	4.196,8	8653,05
			Total =	4196,8	Total =	347971,05

Fonte: Autores.

Dividindo o valor encontrado pelo volume total do maciço, obtém-se o valor de 82,91 o que indica que o centro de massa estaria localizado na estaca km 0+082,910.

2.4. IDENTIFICAÇÃO DOS MACIÇOS

Além da determinação dos volumes dos maciços, é necessário acrescentar outras informações para caracterizá-los e identifica-los:

- Orientação: origem ou destino.
- Id: número identificador.
- Tipo: corte, aterro, jazida, bota-fora.
- Fator de homogeneização.
- Localização: início, fim e centro de massa.
- Classificação:
 - 1ª categoria: solo de fácil escavação, carga e transporte.
 - 2ª categoria: apresentam alguma resistência na escavação, necessitando preparação para sua manipulação.
 - 3ª categoria: materiais rochosos: necessitam explosivos para desmonte, e equipamentos especializados para transporte.

A Figura 6 mostra um exemplo de um conjunto de maciços de um determinado trecho de rodovia devidamente identificados.

2.5. RESUMO DOS VOLUMES

O resumo dos volumes do trecho analisado deve apresentar os valores totais dos volumes de origem (homogeneizados) e destino de todos os maciços. Considera-se origem todos os respectivos volumes de cortes, jazidas e empréstimos laterais. Para o somatório do volume de destino, devem ser observados aterros, bota-foras e depósitos laterais.



A terraplanagem é considerada compensada se o volume homogeneizado de origem for igual ou muito próximo do volume geométrico de destino.

Figura 6 - Exemplo de elementos de identificação de maciços de terraplanagem.

IDENTIFICAÇÃO			ORIGEM				VOLUMES (m ³)			DESTINO			VOLUME GEO. TOTAL	
ESPECIFICAÇÃO		FATOR	LOCALIZAÇÃO			DM (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO		ESPECIFICAÇÃO		DM (km)		
ID	TIPO	HOMO.	INÍCIO	CM	FIM			TOTAL	PARC.	ID	TIPO			INÍCIO
C-002	C1*	1,30	1+210	1+270	1+310	86,00	66,15	66,15	A-002	AI	1+330	1+540	1+710	41586,00
C-003	C1*	1,30	1+710	1+840	2+070	26589,00	20453,08	11576,14	A-002	AI	1+330	1+540	1+710	6943,00
								6943,00	A-002	AS	1+310	1+520	1+730	1280,00
								1280,00	A-003	AI	2+010	2+120	2+270	44,00
								44,00	A-003	AI	2+370	2+380	2+390	608,94
								608,94	A-003	AS	1+990	2+170	2+390	2454,00
C-004	C1*	1,30	2+270	2+430	2+550	2122,00	1632,31	1632,31	A-003	AS	1+990	2+170	2+390	
C-005	C1*	1,30	2+990	3+020	3+110	363,00	279,23							

Fonte: Autores.

2.6. EXERCÍCIOS

2.6.1. Exercício 1

Determine, para o maciço da Tabela 5, o volume (pelo método das duplas áreas) e o centro de massa pelo método dos momentos de inércia ou média ponderada.

Tabela 5 - Exercício 1 de cálculo de volumes e maciços.

Estaca (km)	Área (m ²)	Soma das áreas (m ²)	Fator d/2	Volume (m ³)		Momento (m ³ .m)
				Parcial	Acumulado	
5+523,6	Lp					
5+540	56,2					
5+560	46,9					
5+580	78,3					
5+600	102,7					
5+620	88,5					
5+640	99,3					
5+660	100,9					
5+680	43,2					
5+695,2	Lp					

Fonte: Autores.

Resposta: Volume = 12115,16 m³; CM = km 5+623,610.

2.6.2. Exercício 2

Determine, para o maciço descrito na Tabela 6, o volume e o centro de massa pelos seguintes métodos:

- Localização da estaca pela média aritmética dos limites do maciço: CM_1 .
- Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço: CM_2 .
- Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada: CM_3 .

Tabela 6 - Exercício 2 de cálculo de volumes e maciços.

Estaca (km)	Área (m ²)
2+103,8	Lp
2+120	78,9
2+140	96,5
2+160	88,4
2+180	105,8
2+200	74,3
2+215,6	Lp

Fonte: Autores.

Respostas: CM_1 : km 2+159,7; CM_2 : km 2+160,42; CM_3 : km 2+169,63.

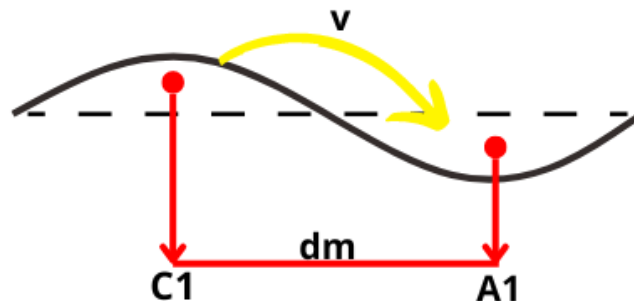
3. DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS

3.1. DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS DE TERRAPLANAGEM

Após o cálculo dos volumes e centros de massa, uma grande parcela do trabalho de terraplanagem de uma rodovia é a destinação dos materiais. O objetivo do engenheiro ao desenvolver esta etapa é efetuar um planejamento que proporcione o melhor aproveitamento dos materiais escavados, visando o menor custo e maior produtividade.

Os materiais são retirados dos trechos em corte e transportados até os trechos em aterro, onde são espalhados e compactados. É importante lembrar que os volumes de corte e aterro devem ser corrigidos pelos fatores de homogeneização. A Figura 7 ilustra, de maneira simplificada, o processo descrito.

Figura 7 - Distribuição entre corte e aterro.



Fonte: Autores.

Se tratando da compensação entre volumes de corte e aterro de um trecho rodoviário, podem acontecer situações de falta ou sobra de material. Quando o volume de aterros é maior que o volume dos cortes, ocorre a insuficiência de material, sendo necessário recorrer a empréstimos, que podem vir de jazidas ou de empréstimos laterais (através do alargamento dos cortes). Quando o volume de cortes ultrapassa o volume de aterros ou as terras escavadas nos cortes não apresentam características adequadas para conformarem os aterros, sobra material, que são destinados aos chamados “bota-foras”, que se tratam de depósitos para o material excedente. No caso em que seja geotecnicamente apropriado, é possível também construir depósitos laterais, através do alargamento dos aterros.

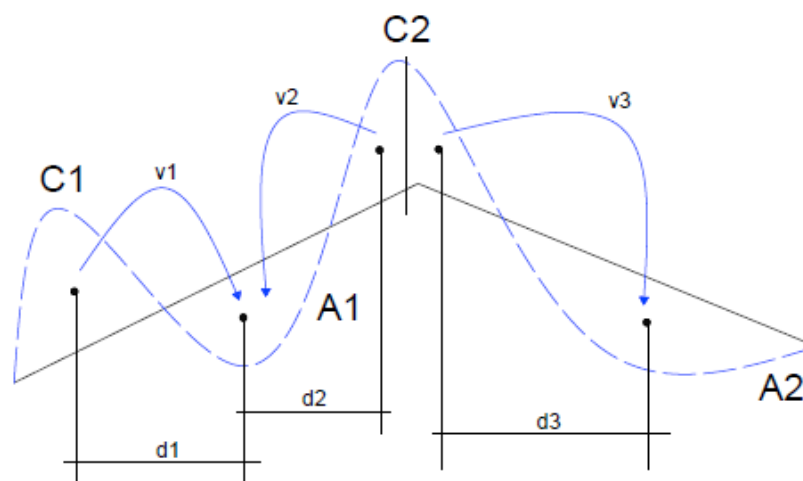
A escolha da localização de empréstimos e bota-foras é influenciada principalmente pela menor distância de transporte dos materiais, conceito que será explicado em um item

específico nesta unidade. Além disso, o impacto ambiental também deve ser avaliado, pois grandes movimentações de terra são capazes de modificar ecossistemas permanentemente.

3.2. DIAGRAMA DE BRÜCKNER

A distribuição dos volumes ao longo de um trecho pode ser relativamente complexa, como mostra a Figura 8. Geralmente, o mesmo corte terá seu material destinado à diferentes trechos em aterro, ou vice-versa.

Figura 8 - Distribuição de volumes.



Fonte: Autores.

O diagrama de Brückner é uma ferramenta gráfica utilizada para otimizar a distribuição de volumes. É importante saber que a linha que se observa no diagrama não é o perfil longitudinal do terreno, mas sim uma ilustração do volume acumulado ao longo do eixo de uma rodovia.

O diagrama considera:

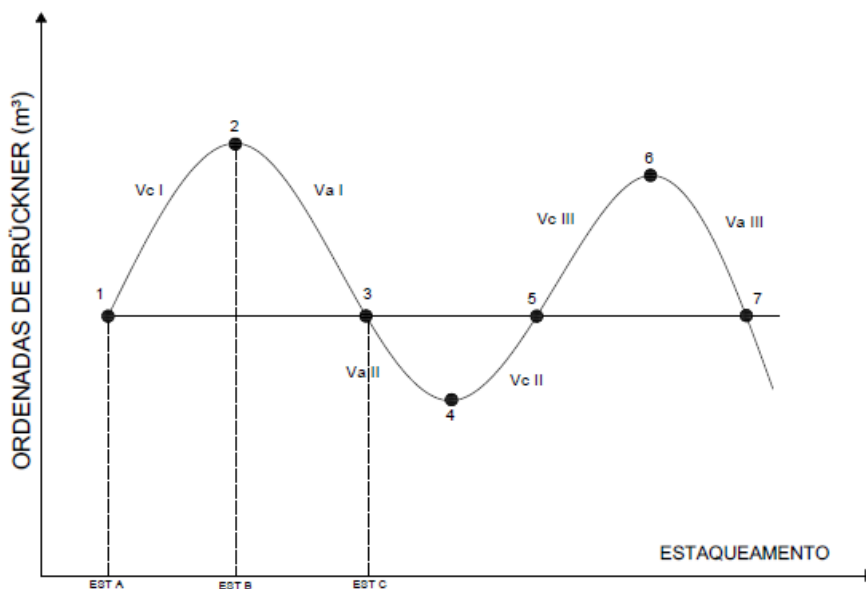
- Em abcissas, o estaqueamento do eixo da rodovia.
- Em ordenadas, o volume acumulado em m³, sendo os volumes de corte, positivos, e os de aterro, negativos.

Os ramos ascendentes dos diagramas representam maciços de corte, e os ramos descendentes representam volumes de aterro. Os pontos máximos indicam passagem de corte para aterro, e os pontos mínimos de aterro para corte.

Outra observação importante é que a diferença de ordenadas entre dois pontos do diagrama mede o volume de terra entre esses pontos. Neste mesmo sentido, qualquer linha horizontal traçada sobre o diagrama, determina trechos de volumes compensados, ou seja, o volume de corte é igual ao volume de aterro corrigido. Esta linha horizontal é chamada linha de compensação.

O diagrama referente ao esquema de distribuição na Figura 8 pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 - Diagrama de Brückner.



Fonte: Autores.

No esquema apresentado, os volumes v_1 e v_2 compensam o aterro A_1 , e o volume v_3 compensa o aterro A_2 . Então, para essa situação tem-se a Equação 4:

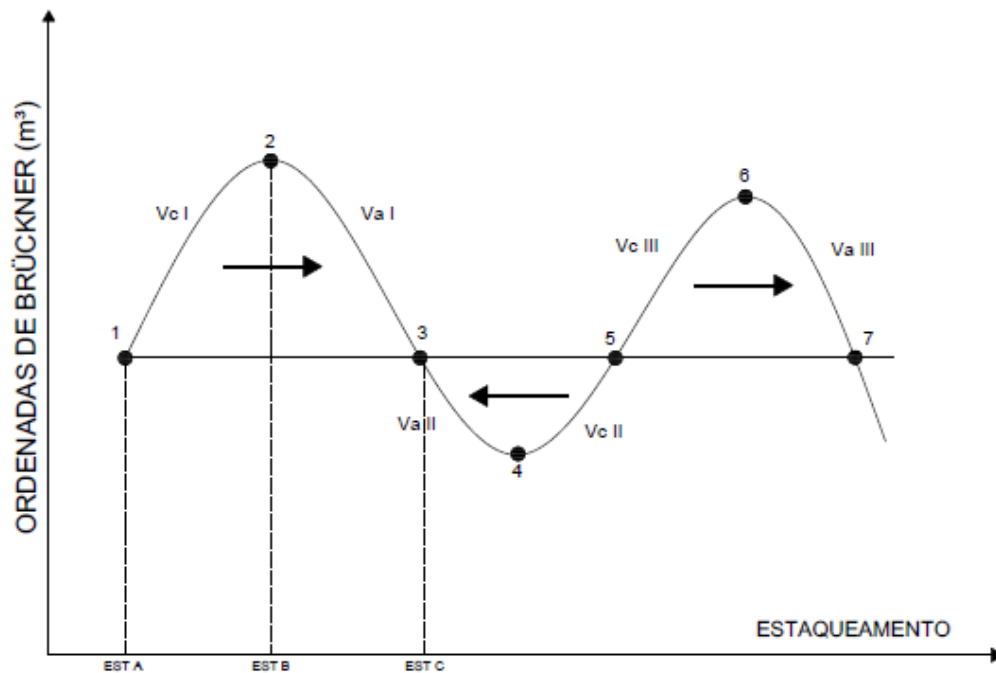
$$v_1' + v_2' + v_3' = A_1 + A_2 \quad (4)$$

Onde:

- v_i' são os volumes de origem já homogeneizados (m^3).
- A_i são os volumes de destino (m^3).

Outra informação possível de extrair dessa ferramenta é a direção do transporte de terras. Ondas positivas indicam transporte de terra no sentido do estaqueamento da rodovia, e ondas negativas indicam transporte no sentido contrário, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Sentido de transporte.



Fonte: Autores.

Existem outros métodos para determinar a distribuição de terras de materiais escavados, mas o diagrama de Brückner é amplamente empregado, por ser um método que possibilita uma distribuição eficiente e que fornece todas as indicações necessárias para o projeto de terraplanagem.

3.3. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE

Uma vez determinada a distribuição dos materiais, a próxima etapa é a determinação da distância média de transporte – *DMT*. A Equação 5 demonstra o cálculo da *DMT* para o esquema da Figura 8:

$$DMT = \frac{v_1 \times d_1 + v_2 \times d_2 + v_3 \times d_3}{v_1 + v_2 + v_3} \quad (5)$$

O caso geral é expresso na Equação 6:

$$DMT = \frac{\sum v_i \times d_i}{\sum v_i} \quad (6)$$

Onde:

- *DMT* é a distância média de transporte (m).

- v_i são os volumes geométricos transportados (m^3).
- d_i são as distâncias de transporte (km).

A multiplicação do volume transportado pela distância ($v_i \times d_i$) resulta no momento de transporte, que pode ser interpretado como o trabalho desenvolvido pelos equipamentos. A *DMT* resultante nada mais é do que a média ponderada entre as distâncias de transporte, tendo como fatores de peso os volumes transportados.

3.4. QUADRO DE ORIGEM E DESTINO

Para sistematizar e otimizar o processo de cálculo da *DMT*, emprega-se uma planilha com o seguinte formato (Figura 11):

Figura 11 - Exemplo de quadro de orientação de terraplanagem.

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																		
IDENTIFICAÇÃO			ORIGEM				VOLUMES			DESTINO				CÁLCULOS DMT				
ID	QUALIF.	HOMOG.	LOCALIZAÇÃO			D. MORTA	GEO TOTAL	HOMOGENEIZADO		ID	LOCALIZAÇÃO			D. MORTA	GEO TOTAL	DIST. TRANSP.	VOLUME COMP.	MOM. TRANS.
			INÍCIO	FIM	CM			TOTAL	PARCIAL		INÍCIO	FIM	CM					
C01	1ª	1,3	0+000	0+760	0+350		400	307,692		AI 01	0+400	0+700	0+550		1900	0,5	1220	610
										AS 01	0+400	0+700	0+550		400	0,5	1005	502,5
C02	1ª	1,3	0+890	1+430	1+110		3500	2692,31		AI 02	0+800	1+000	0+900		1730	0,35	402,7	140,945
										AI 02							0,2	120,3
C03	1ª	1,3	1+530	1+990	1+750		1780	1369,23		AI 03	1+300	1+600	1+500		1030	0,5	968,7	484,35
										AS 03	1+300	1+600	1+460		2000	0,4	2352	940,8
C04	1ª	1,3	2+020	2+300	2+150		2020	1553,85		AI 03						0,35	3697	1293,95
										AS 03							0,35	372,4
J01	1ª	1,3			2+800	1500	3679	2830		AS 02	0+800	1+000	0+900		1693,08	0,22	1535,7	337,854
TOTAIS								11379	8753,08					8753,08		11673,8	4464,8	
																		DMT = 0,38246

Fonte: Autores.

Nas colunas referentes ao transporte, é possível observar os valores da distância, em quilômetros, do volume, em metros cúbicos, e do momento de transporte.

É preciso seguir alguns passos ao preencher a tabela:

- Primeiramente, colocar os respectivos cortes e aterros em origem e destino, respectivamente.
- Aplicar o fator de homogeneização para corrigir os valores dos volumes dos cortes.
- Verificar se o valor total homogeneizado de corte será compensado pelo volume total de aterro; se isso não acontecer, considerar a criação de novas origens ou destinos (jazidas ou bota-foras).
- Verificar as totalizações.

3.5. VALOR DOS SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM

Os serviços de terraplanagem são orçados a partir de custos unitários, geralmente determinados pelo órgão gestor (na maioria das vezes, esse órgão é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT). O DNIT possui um sistema denominado SICRO – Sistema de Custos Rodoviários, que é atualizado periodicamente, e indica custos unitários dos principais serviços que fazem parte de uma obra viária para cada região do país.

No website do DNIT, é possível encontrar os relatórios descrevendo o valor unitário de serviços, materiais, mão de obra e encargos sociais, com suas respectivas unidades e algumas outras especificações. Além disso, é possível encontrar relatórios das composições de custos para as diversas atividades. A Figura 12 mostra uma página, dentro do item de terraplanagem, descrevendo a atividade de escavação e transporte de material de 3ª categoria.

Figura 12 - Página do relatório de composições SICRO.

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Rio Grande do Sul		FIC 0,00584			
Custo Unitário de Referência		Abril/2023		Produção da equipe		64,84 m³	
5502663 Escavação e transporte de material de 3ª categoria - DMT de 0 a 50 m		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo	
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9646 Compressor de ar portátil de 58,52 l/s (124 PCM) - 27 kW	1,00000	1,00	0,00	43,1165	11,2276	43,1165	
E9527 Martelete perfurador/rompedor a ar comprimido de 25 kg para rocha com capacidade de 2.040 gpm	1,00000	1,00	0,00	25,5687	24,0987	25,5687	
E9574 Perfuratriz sobre esteiras - 145 kW	1,00000	1,00	0,00	435,3982	195,4270	435,3982	
E9541 Trator sobre esteiras com lâmina - 259 kW	1,00000	0,53	0,47	749,3673	299,4721	537,9166	
				Custo horário total de equipamentos		1.042,0000	
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total	
P9852 Auxiliar de blaster	2,00000	h		28,7227		57,4454	
P9852 Blaster	1,00000	h		33,1777		33,1777	
				Custo horário total de mão de obra		90,6231	
				Custo horário total de execução		1.132,6231	
				Custo unitário de execução		17,4680	
				Custo do FIC		0,1020	
				Custo do FIT		-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário	
M2062 Coroa de botões esféricos linha T38 - D = 64 mm (2 1/2")	0,00034	un		721,3555		0,2453	
M2042 Emulsão explosiva encartuchada	0,56230	kg		12,5191		7,0395	
M2065 Haste linha T38 para perfuratriz sobre esteiras - D = 38,0 mm (1 1/2") e C = 3,05 m	0,00016	un		1.966,4245		0,3146	
M2066 Luva em aço linha T38 para perfuratriz sobre esteiras - D = 38,0 mm (1 1/2")	0,00025	un		347,5480		0,0869	
M2144 Nonel de coluna - C = 6,0 m	0,04000	un		15,1944		0,6078	
M2141 Nonel de iniciação para fogacho - C = 6,0 m	0,15000	un		14,3836		2,1575	
M2143 Nonel de ligação - C = 6,0 m	0,01571	un		34,3882		0,5402	
M2146 Nonel iniciador - C = 150,0 m	0,00143	un		212,2668		0,3035	
M2067 Punho linha T38 para perfuratriz sobre esteiras - D = 38 mm (1 1/2")	0,00013	un		999,5783		0,1299	
M2145 Série de brocas integrals 812	0,00333	un		926,8937		3,0866	
				Custo unitário total de material		14,5118	
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário	
				Custo total de atividades auxiliares			
				Subtotal		32,0818	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário	
				Custo unitário total de tempo fixo			
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	LN	RP	P	Custo Unitário	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total		32,08	

Obs:

Fonte: DNIT (2023).

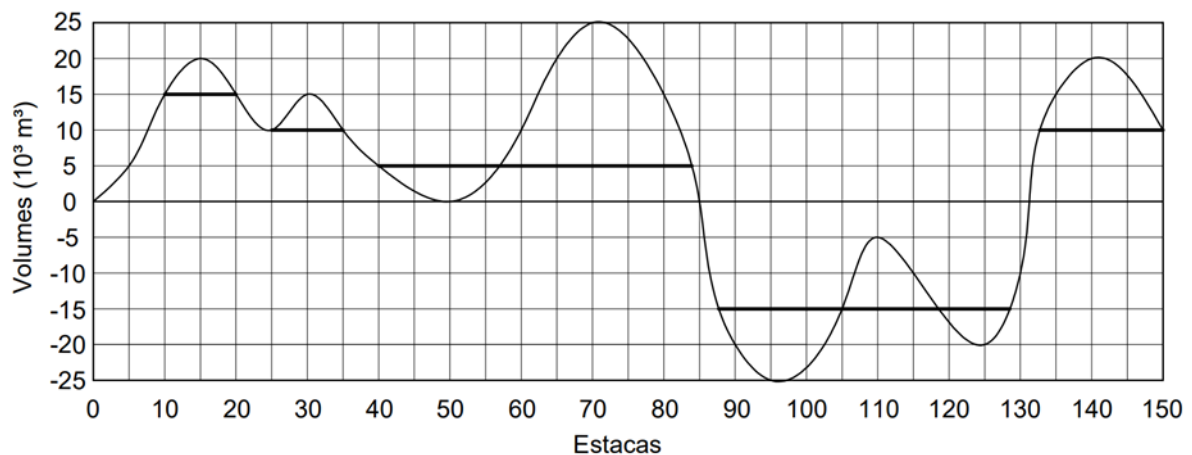
O valor dos serviços de terraplanagem de uma obra viária consiste em multiplicar os custos unitários pelas quantidades obtidas no projeto. É necessário um detalhamento em planilha, indicando os serviços e atividades através de seus códigos, descrições, unidades, preços unitários, quantitativos de projeto e preços totais. O somatório de todos os valores deve ser destacado ao final da planilha.

3.6. EXERCÍCIO

Para a realização do projeto de terraplanagem no intervalo entre as estacas km 0+000 e km 75+000 de uma rodovia, foi desenvolvido por um projetista inexperiente o diagrama de Brückner da Figura 13. Com base, determine:

- O volume do empréstimo, em m^3 .
- O volume do bota-fora, em m^3 .
- O volume do maior corte, em m^3 .
- O volume do maior aterro, em m^3 .

Figura 13 - Exercício de Diagrama de Brückner



Fonte: Autores.

Respostas: a) 30000 m^3 ; b) 40000 m^3 ; c) 40000 m^3 ; d) 50000 m^3

4. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

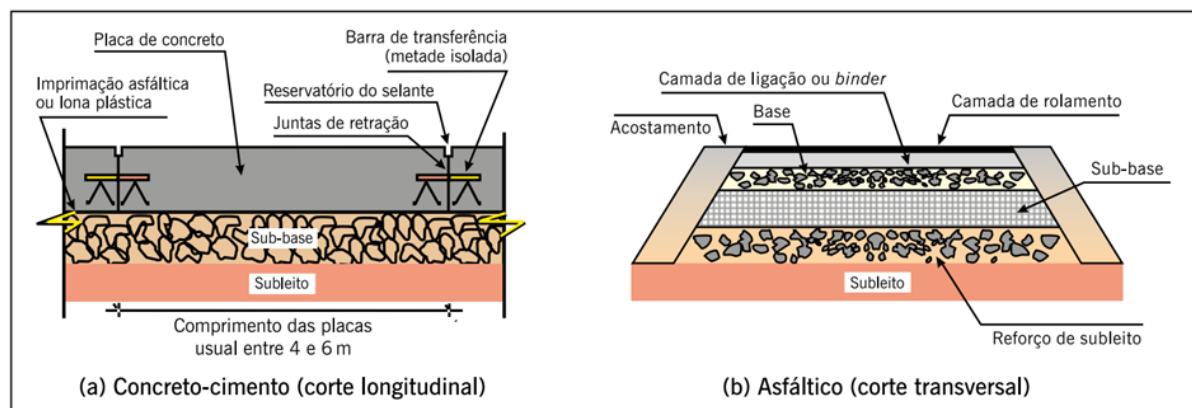
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os estudos geotécnicos (a geotecnia é uma área que investiga o comportamento de solos e rochas) constituem um elemento muito importante na concepção de uma obra rodoviária. Eles objetivam a identificação, determinação de características tecnológicas e classificação dos materiais a serem escavados, possibilitando os projetos de terraplanagem, drenagem e pavimentação.

As características de um solo não podem ser descobertas apenas pelo aspecto da camada superficial. Há necessidade de investigar o solo em profundidade, e é justamente o estudo geotécnico que fornece informações relevantes para definir as camadas dos perfis dos solos e rochas encontrados no subsolo. As investigações proporcionam a confirmação técnica e econômica de um traçado proposto, e viabilizam a elaboração do planejamento das técnicas e equipamentos a empregar na terraplanagem.

Um conceito importante a ser tratado nesta etapa de projeto é o subleito. Em uma rodovia, ele consiste na camada de solo que passa por terraplanagem para receber o pavimento, e pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Camadas de um pavimento.



Fonte: BERNUCCI et al. (2007).

Além disso, é válido relembrar a classificação dos materiais de superfície:

- 1ª categoria: solo de fácil escavação, carga e transporte.

- 2ª categoria: apresentam alguma resistência na escavação, necessitando preparação para sua manipulação.
- 3ª categoria: materiais rochosos; necessitam explosivos para desmonte, e equipamentos especializados para transporte.

4.1.1. Objetivos dos estudos geotécnicos

Os objetivos dessa etapa de projeto são diversos, como verificar a profundidade e as características das rochas, determinar o perfil geológico da região, a densidade e umidade do solo local. A Figura 15 ilustra diferentes camadas de solo no mesmo terreno.

Figura 15 - Perfis de solo.



Fonte: Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Além disso, as investigações servem para verificar a compacidade de solos arenosos e consistência dos solos argilosos, proporcionando a escolha adequada de métodos para manuseio desses materiais.

Quanto à segurança, os estudos visam orientar os projetistas a evitar passar por áreas onde tenham ocorrido escorregamentos ou onde hajam falhas em camadas rochosas, além de indicar escorregamentos geológicos anteriores e a possível influência dos materiais passíveis de escorregamentos na obra. É possível observar um deslizamento na Figura 16.

Figura 16 - Deslizamento de terra.



Fonte: Brasil de Fato.

Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2022/04/05/rj-autoridades-alertam-para-alto-risco-de-deslizamentos-de-terra-em-angra-dos-reis-e-paraty>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Outro objetivo importante é localizar o nível de água, os lençóis d'água e as camadas aquíferas com influência sobre os escorregamentos e a indicação dos dispositivos especiais de drenagem.

4.1.2. Etapas

As etapas da investigação geotécnica são:

- Estudo de cortes incluindo o subleito.
- Estudo de materiais de empréstimo e jazidas.
- Estudo de fundações de aterros.
- Estudo da drenagem profunda.
- Estudo da estabilidade de taludes.

Elas serão tratadas nos próximos tópicos deste capítulo.

4.2. ESTUDO DE CORTES E SUBLEITO

O estudo é dividido em duas fases: estudos preliminares e estudos definitivos.

4.2.1. Estudos preliminares

Nesta etapa, são traçadas faixas alternativas. O perfil geológico de cada faixa alternativa define as formações das quais são originados os seus materiais. Para cada formação encontrada, caberá a execução de sondagens em intervalos de aproximadamente 1000 metros, que deverão atingir profundidades compatíveis com a possível cota do greide do local. Outras sondagens poderão ser executadas em pontos nos quais a geologia julgar necessário.

Serão apresentados boletins de sondagens e quadro-resumo dos resultados de ensaios com os elementos obtidos dos perfis geológicos. Com esses dados é possível ter uma visão da utilização dos materiais de corte para construção de aterros, além de concluir soluções quanto aos problemas de desmonte na terraplanagem (1ª, 2ª e 3ª categorias). Eles fornecem também orientação sobre o valor suporte dos solos de subleito, que permitirá obter uma primeira ideia sobre a espessura do futuro pavimento da rodovia.

4.2.2. Estudos definitivos

A partir da locação do eixo do traçado fixado pelo anteprojeto geométrico, serão realizados estudos definitivos dos materiais componentes dos cortes e do subleito.

Os perfis de reconhecimento geológico do anteprojeto informarão preliminarmente sobre a homogeneidade dos solos encontrados, sua formação e predominância de suas características físicas (solos siltsosos, arenosos ou argilosos).

Assim, a fase de estudos definitivos realiza:

- Levantamento do perfil geológico do subsolo.
- Realização do desenho do perfil geológico levantado.
- Coleta de amostras para ensaios e estudo dos solos que constituem o perfil do terreno.

As amostras podem ser deformadas (extraídas por raspagem ou escavação, implicando na destruição da estrutura e na alteração das condições de compactidade ou consistência naturais), ou indeformadas (extraídas com o mínimo de perturbação, procurando manter a estrutura e condições de umidade e compactidade ou consistência naturais).

Os ensaios serão realizados de acordo com os métodos especificados pelo DNIT, e as sondagens serão efetuadas através de poços, trado e percussão, incluindo o uso de equipamentos

que permitam a obtenção de maior quantidade de amostras a maiores profundidades. A execução da técnica de sondagem será descrita no tópico a seguir.

4.2.3. Sondagem

O número e a localização dos furos de sondagem dependem do grau de variabilidade das condições do subsolo e da área a ser construída. O método, as ferramentas e os equipamentos necessários para a prospecção do solo variam em função da localização dos furos e das características topográficas do local. É importante notar que não é incomum o emprego de vários métodos numa mesma obra.

Uma boa aproximação para o número de furos de sondagem de acordo com a extensão de corte pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7 - Número mínimo de furos de sondagem.

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

Fonte: Adaptado de DNIT (2022).

Além disso, é importante atender a algumas condições:

- É obrigatória a sondagem nos pontos de passagem de corte para aterro e vice-versa.
- Em trechos cujos perfis longitudinais acompanham o terreno natural (greide colado), greide de rodovias implantadas e ainda aterros com altura inferior a 60 centímetros, o espaçamento máximo dos furos deverá ser de 200 metros.
- A profundidade a ser sondada para fins de coleta de amostras deverá atingir 1 metro abaixo do greide de terraplanagem.
- Deverá ser coletada uma amostra representativa para cada horizonte de material de todo furo de sondagem e caso não ocorra variação, deve ser coletada uma amostra a cada 3 metros sondados.

Serão representadas no perfil longitudinal as sondagens executadas nos cortes, pois existe a possibilidade de aproveitamento futuro destes materiais na construção de aterros (corpo e topo).

As sondagens verificam, ainda, a capacidade de suporte do subleito, cujos resultados irão influenciar no projeto de pavimentação. Nos trechos em aterros, a representação será feita somente quando as camadas de fundação apresentarem solos compressíveis (solos moles), para se prever os métodos construtivos mais adequados para cada caso, os quais serão recomendados no projeto.

4.2.3.1 Métodos de sondagem

Os métodos de sondagem manuais são: escavação de poços, trado manual e escavação de trincheiras.

Os poços são perfurados com equipamentos manuais (pás e picaretas) e a profundidade é limitada pela presença do nível d'água (4 a 5 metros). O diâmetro mínimo do poço deve ser 60 cm (para permitir a movimentação de um operário). A Figura 17 mostra um poço escavado.

Figura 17 - Escavação de poço.



Fonte: Strato. Disponível em: <<https://stratosondagens.com.br/sondagens/pocos-de-inspecao-em-pavimento/>>.

Acesso em: 24 ago. 2023.

Esse tipo de sondagem viabiliza a coleta de amostras deformadas ou indeformadas, na forma de blocos, e o perfil exposto permite o exame visual das camadas do subsolo e a análise da consistência e da compacidade das camadas para materiais que se classificam na 1ª categoria, sendo esse, um método que não pode ser utilizado para todos os tipos de solo.

A sondagem por meio de trado manual é um processo rápido, simples e econômico, aplicado em investigações preliminares do subsolo. Os operadores giram uma barra horizontal, acoplada a uma haste vertical, cuja extremidade detém uma broca ou cavadeira, como mostram as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Trado.



Fonte: Geoscan. Disponível em: <<https://www.geoscan.com.br/blog/tipos-de-sondagem-do-solo/>>. Acesso em 24 ago. 2023.

Figura 19 - Operadores realizando sondagem por meio de trado manual.



Fonte: Solosul. Disponível em: <<https://solosul.eng.br/portfolio/sondagem-a-trado/>>. Acesso em: 24 ago. 2023.

O diâmetro dos trados varia entre 75 a 300 mm. À medida que o trado penetra no subsolo, a cada 5 ou 6 rotações, o trado é retirado para coleta do material colhido, atingindo profundidades de até 10m, acima do nível d'água.

Esse é um método que permite conhecer o tipo de solo, a espessura das camadas e o nível do lençol freático. Porém, não pode ser aplicado em solos com camadas de pedregulhos, matacões, areias muito compactas e abaixo do nível d'água, ou seja, só pode ser utilizado para materiais de 1ª categoria, de preferência solos argilosos.

Existe ainda, dentro dos métodos manuais de sondagem, a escavação de trincheiras, que consistem em valas escavadas com auxílio de escavadeiras. Esse método permite uma análise visual e contínua do subsolo, seguindo uma direção, objetivando a inspeção visual das paredes e fundo.

É realizada a coleta de amostras representativas deformadas e indeformadas, e os materiais se classificam na 1ª ou 2ª categoria. É possível ver uma trincheira escavada na Figura 20.

Figura 20 - Trincheira.



Fonte: NASCIMENTO (2017).

Os métodos de sondagem mecânicos são: sondagem à percussão e sondagem rotativa.

A sondagem à percussão, também conhecida como SPT (Standard Penetration Test), é um ensaio de baixo custo e de simples execução. É a sondagem mais utilizada no Brasil, muito empregada em prospecções do subsolo para fins de fundações. É usada para obter a resistência ao cisalhamento do solo, estado de consistência e compactidade dos solos. A Figura 21 mostra o equipamento sendo operado.

Figura 21 - Sondagem SPT.



Fonte: Geosystem. Disponível em: <<https://www.geosystemgma.com.br/geologia/sondagem-a-percussao-spt.html>>. Acesso em 24 ago. 2023.

O processo de perfuração do SPT consiste em:

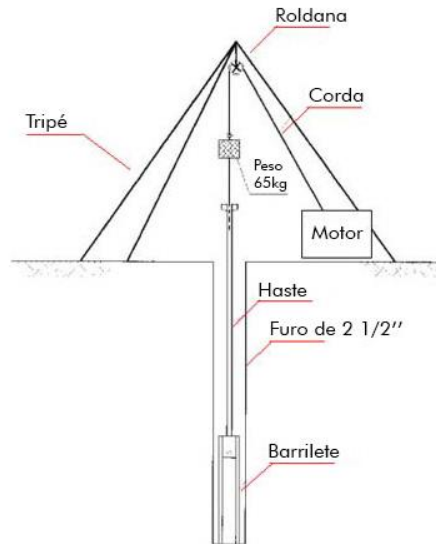
- Utiliza-se o trado cavadeira, depois o trado espiral até encontrar o nível d'água ou material que dificulte tal procedimento.
- Utiliza-se também um tubo de revestimento do furo (150 a 300 mm).
- A partir do nível d'água, a penetração no solo é através da batida do trépano de lavagem – o material após esmigalhado pelo trépano, com a presença da água, forma uma lama facilitando sua retirada.
- Mede-se a cada metro, o número de golpes de um peso de 60 a 65 Kg, que cai em queda livre de 75 cm de altura, para cravar 15 cm do amostrador, nas camadas atravessadas.
- Procede-se desta forma, até que o amostrador penetre 45 cm de profundidade. Despreza os 15 cm iniciais e pode-se determinar a compacidade e a consistência das camadas ensaiadas.

A sondagem à percussão é um método que permite a determinação do nível d'água e do índice de resistência à penetração, através do número de golpes (N), a cada metro perfurado. A profundidade máxima do furo é de 50 a 60 m, e os materiais se classificam na 1ª ou 2ª categoria. A Figura 22 mostra com detalhes o equipamento utilizado.

É um método que proporciona facilidade de execução em locais de difícil acesso, e a coleta de amostras a diversas profundidade, mostrando a estratigrafia do terreno. Porém, apresenta também algumas desvantagens, pois a energia aplicada em sua execução é alta, e

demanda fornecimento de água, além de sua instalação ser demorada. Além disso, não existe a sensibilidade de profundidade para solos saturados e moles, e identificação precisa do solo é dificultada pela quebra das partículas pelo trépano e a mistura dos materiais pela lavagem.

Figura 22 - Equipamento para SPT.



Fonte: Guia da Engenharia. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/resultado-ensaio-spt/>>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Outro método de sondagem mecânica é a sondagem rotativa. Ela é empregada na perfuração de rochas, matacões e rochas alteradas de alta resistência, obtendo amostras de rocha e identifica discontinuidades no maciço rochoso. A Figura 23 mostra operadores realizando uma sondagem rotativa.

Permite também a realização dos ensaios de perda d'água e infiltração. O método perfurante é dado por forças de penetração e rotação que, conjugadas, atuam com poder cortante. A amostra de rocha obtida é chamada de testemunho.

É possível também realizar a chamada sondagem mista, que é a conjugação do processo à percussão e rotativo. Os materiais obtidos se classificam entre 1ª, 2ª e 3ª categorias. A sondagem rotativa é necessária em praticamente todas as obras de grande porte.

A composição do equipamento consiste em:

- Haste metálica rotativa dotada, na extremidade, de ferramenta de corte (coroa) com barriletes.
- Conjunto motor-bomba.

- Tubos de revestimento e sonda rotativa.

Figura 23 - Sondagem rotativa.



Fonte: Geoscan. Disponível em: <<https://www.geoscan.com.br/blog/tipos-de-sondagem-do-solo/>>. Acesso em 22 set. 2023.

Existe ainda, o método sísmico de sondagem. Inicialmente, era aplicado somente à prospecção da exploração de petróleo, depois de algum tempo, passou a ser utilizado no reconhecimento dos maciços de terra e rocha.

É considerado o método mais preciso para a determinação dos perfis das camadas de solo e rocha no subsolo, utilizando um aparelho chamado GEOFONE. O funcionamento pode ser observado na Figura 24.

O funcionamento do aparelho baseia-se no fato de que ondas de choque provocadas por explosivos atravessam as camadas de diferentes rochas com velocidades proporcionais ao grau de compacidade que elas apresentam. É possível calcular as velocidades de ondas de choque através das camadas sucessivas de diferentes densidades, bem como as espessuras correspondentes.

Figura 24 - Sondagem sísmica.



Fonte: DE FREITAS (2012).

Além da geometria das camadas rochosas, o método também permite a extração de parâmetros físicos, tal como a densidade das rochas. O conhecimento da velocidade de propagação das ondas sísmicas permite construir a seção da área pesquisada e estimar sua profundidade, podendo ser estimado o custo da escavação e planejar melhor a seleção de equipamentos, pois os custos de escavação aumentam substancialmente com a compacidade dos materiais.

A Tabela 8 mostra a correlação entre as velocidades de propagação e a escarificabilidade dos materiais. O trator com *ripper* (escarificador) citado é na faixa de 200/300HP, com peso de 30 a 45 t.

Tabela 8 - Correlação entre velocidade de propagação e escarificabilidade.

Velocidade de propagação (m/s)	Escarificação	Equipamento	Classificação provável
0-450	Não necessita	Equipamentos normais	1ª categoria
450-900	Escarificação leve	Trator com <i>ripper</i>	Transição
900-1200	Escarificação média	Trator com <i>ripper</i>	2ª categoria
1200-1500	Escarificação pesada	Trator com <i>ripper</i>	2ª categoria
1500-1800	Escarificação muito pesada	<i>Ripper</i> e/ou explosivo	2ª categoria com explosivos
>1800	Não escarificável	Para desmonte de rocha	3ª categoria

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

Após analisar todos os diversos métodos de sondagem, é possível fazer algumas considerações finais sobre eles:

- Sondagem a trado: método recomendável para profundidades rasas, em que a coleta de amostras deformadas não inviabiliza os objetivos de uma análise.
- Sondagem à percussão (SPT): método recomendável para profundidades maiores, sendo que também obtém amostras deformadas ou semi-deformadas.
- Sondagem rotativa: recomendada para situações com solo alterado (cascalho, piçarras) e para a presença de rocha.
- Sondagem sísmica: método que exige técnicos especializados, equipamentos sofisticados e onerosos, recomendado somente para serviços em rochas, em obras de grande porte.

4.2.3.2 Coleta de amostras

Em cada furo de sondagem, e em cada horizonte, será coletada uma amostra representativa para a realização dos ensaios, devendo ser anotadas as profundidades iniciais e finais de cada camada, a cota do lençol d'água (se ocorrer), material com excesso de umidade, material de pequena resistência a penetração, ocorrência de mica, teor de matéria orgânica, etc.

Além destas anotações o saco de amostra deverá ser etiquetado por fora e por dentro com o número da estaca e a profundidade da camada.

4.2.3.3 Boletim de sondagem

Para cada amostra coletada, é preciso lançar boletim de sondagem com uma classificação por inspeção usando os testes:

- Teste visual: consiste na observação visual do tamanho, forma, cor e constituição mineralógica dos grãos do solo (solos grossos ou solos finos). A Tabela 9 mostra a classificação granulométrica dos materiais.
- Teste do tato: consiste em apertar e friccionar, entre os dedos, a amostra de solo, como mostra a Figura 25. Os solos ásperos são de comportamento arenoso e os solos macios são de comportamento argiloso.

Tabela 9 - Granulometria.

Material	Diâmetro (d)
Bloco de rocha	d > 1 m



Matacão	$0,25 \text{ m} < d < 1 \text{ m}$
Pedra	$76 \text{ mm} < d < 0,25 \text{ m}$
Pedregulho	$2 \text{ mm} < d < 76 \text{ mm}$
Areia grossa	$0,42 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$
Areia fina	$0,42 < d < 0,075 \text{ mm}$
Finos	$d < 0,075 \text{ mm}$

Fonte: Adaptado de NBR 6502, NBR 7181 e DNIT 412 ME.

Figura 25 - Teste do tato.



Fonte: Cecierj. Disponível em: <https://extensao.cecierj.edu.br/material_didatico/geo09/popups/textura.htm>.

Acesso em 24 ago. 2023.

- Teste do corte: consiste em cortar a amostra com uma lâmina fina e observar a superfície de corte: polida (ou lisa) será um solo de comportamento argiloso, fosca (ou rugosa) será um solo arenoso.
- Teste da dilatância: também chamado de mobilidade da água, consiste em colocar na palma da mão uma pasta de solo e sacudi-la batendo leve e rapidamente umas das mãos contra a outra. A dilatância se manifesta pelo aparecimento de água à superfície da pasta e posterior desaparecimento. Ao se amassar a amostra entre os dedos, os solos arenosos agem sensível e prontamente ao teste, enquanto os solos argilosos não reagem.
- Teste da resistência seca: consiste em tentar desagregar (pressionando com os dedos) uma amostra seca de solo; se a resistência for pequena, será arenoso, se a resistência for elevada, será argiloso. Para a perfeita caracterização dos diversos horizontes, deverão ser feitos os diversos ensaios nas amostras coletadas, que serão descritos em um tópico específico.

4.3. ESTUDO DE MATERIAIS DE EMPRÉSTIMO E JAZIDAS

Os estudos geotécnicos dos materiais de empréstimos visam identificar e determinar suas características tecnológicas. Com o estudo, é possível selecionar materiais para utilização na complementação dos aterros e para a construção da pavimentação.

Os estudos de materiais de empréstimo, assim como o estudo dos materiais de cortes e subleito, também são divididos em preliminares e definitivos.

4.3.1. Estudos preliminares

Nessa fase, serão determinadas áreas dentro da faixa de domínio onde haja provável ocorrência de materiais com características tecnológicas satisfatórias atendendo aos tipos de solos para utilização como material de empréstimo.

Não dispondo a faixa de domínio de materiais satisfatórios (solos e rochas) para os fins desejados em qualidade e quantidade, será necessária a procura de ocorrências de materiais fora da faixa de domínio.

É importante lembrar que, além do estudo geológico, deve ser levado também em consideração o fator econômico na escolha do material de empréstimo.

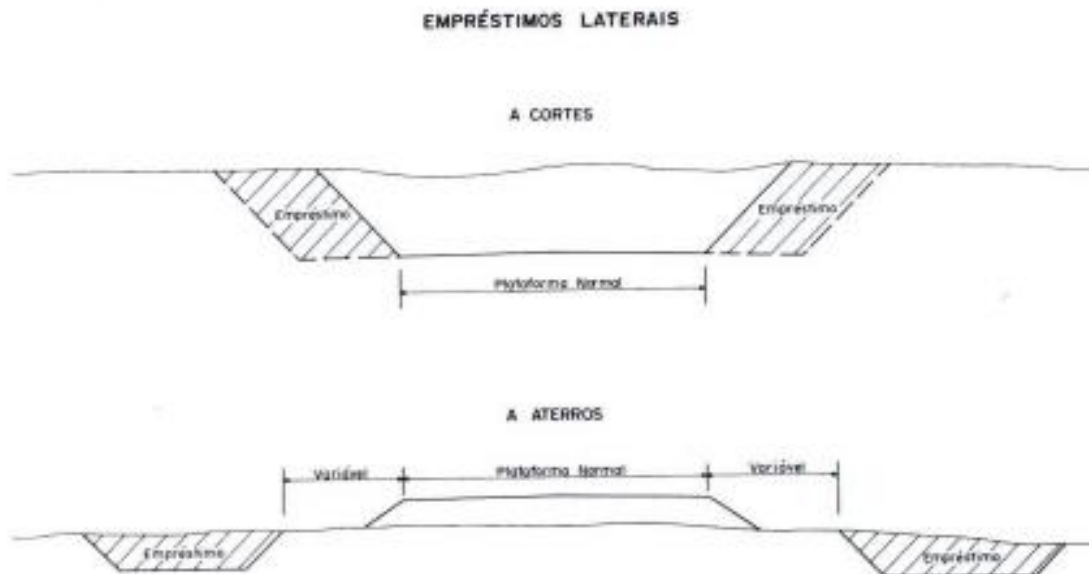
4.3.2. Estudos Definitivos

Após a fase preliminar, os estudos definitivos são realizados dentro e fora da faixa de domínio.

4.3.2.1. Dentro da Faixa de Domínio

Dentro da faixa de domínio, podem existir os chamados “empréstimos laterais”, que são basicamente escavações efetuadas perto do corpo da estrada. Em trechos em corte, consistem no alargamento da plataforma com conseqüente deslocamento dos taludes. Em aterros, são feitas escavações do tipo “valetões”, em um ou ambos os lados. A Figura 26 ilustra essas situações.

Figura 26 - Empréstimos laterais.



Fonte: RATTON et al. (2015).

Onde forem previstos empréstimos laterais serão feitos, pelo menos, cinco furos distribuídos pela área de empréstimo com profundidade igual à prevista para o empréstimo. É recomendado também que a caixa de empréstimo esteja afastada no mínimo 5,0 m do pé do aterro.

Transversalmente, os pontos de sondagem serão afastados do eixo por uma distância Y dada pela Equação 7:

$$Y = \frac{x}{2} + \frac{p}{2} + 1,5 h + 5, \text{ onde } x = \frac{F}{2} - \left(\frac{p}{2} + 1,5h + 6 \right) \quad (7)$$

Sendo:

- Y = afastamento do ponto de sondagem, contado a partir do eixo, em metros.
- F = largura da faixa de domínio, em metros.
- p = largura da plataforma de terraplanagem em metros.
- h = altura de corte, no eixo da seção transversal considerada, em metros.
- x = largura da caixa de empréstimo na seção considerada, em metros.

As sondagens serão do mesmo tipo recomendado para cortes incluindo o subleito, atendendo as condições particulares de cada área de empréstimo. Em zonas de aterro, os empréstimos laterais deverão limitar-se a altura máxima de aterro a ser estabelecida.

É importante, na execução, anotar em cada furo de sondagem as profundidades inicial e final de cada camada, a presença e a cota do lençol freático, a presença de material com excesso de umidade, e a ocorrência de mica e matéria orgânica.

É necessário também numerar furos de sondagem e identificar com número de estaca, seguido das letras E, C ou D (bordo esquerdo, eixo ou bordo direito), e anotar o tipo de seção – corte (C), aterro (A), seção mista (SM) ou raspagem (R).

Além dos empréstimos laterais, é possível realizar, dentro da faixa de domínio, o alargamento das bocas de corte (em zonas de corte). São feitos furos no sentido longitudinal a cada 100 metros ao longo do eixo do empréstimo.

No sentido transversal os furos serão afastados do eixo da via de uma distância Y , dada pela Equação 8:

$$Y = \frac{p}{2} + 2h + \frac{x}{2}, \text{ onde } x = \frac{F}{2} - \left(\frac{p}{2} + 2h + 3\right) \quad (8)$$

Sendo:

- Y = afastamento do ponto de sondagem, contado a partir do eixo, em metros.
- F = largura da faixa de domínio, em metros.
- p = largura da plataforma de terraplanagem em metros.
- h = altura de corte, no eixo da seção transversal considerada, em metros.
- x = largura da caixa de empréstimo na seção considerada, em metros.

Os furos deverão se aprofundar, preferencialmente, até a cota do greide de terraplanagem indicado no projeto ou de acordo com o volume previsto para o empréstimo.

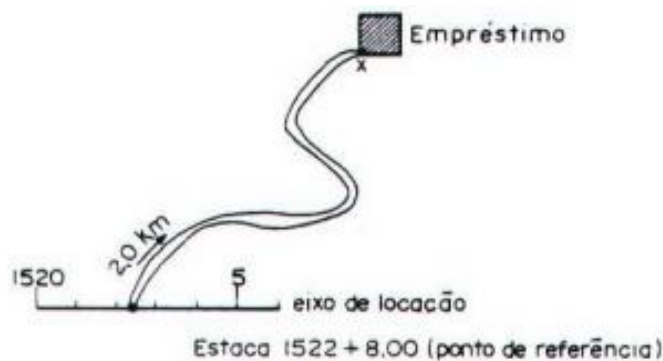
Além disso, a superfície do fundo do alargamento deverá ter um caimento de 2% voltado para fora, possuindo uma valeta na parte mais baixa para o escoamento das águas pluviais. A largura mínima da faixa entre o bordo externo das caixas de empréstimo e o limite da faixa de domínio é de 3,0 m.

4.3.2.2. Fora da faixa de domínio

Fora da faixa de domínio existem os chamados “empréstimos concentrados”, também chamados de jazidas. Geralmente esses empréstimos são utilizados quando não existem

materiais adequados nas laterais da rodovia, ou quando o volume das faixas laterais de exploração não é suficiente. A Figura 27 ilustra um empréstimo concentrado.

Figura 27 - Esquema de localização de empréstimo concentrado.



Fonte: Adaptado de Ratton *et al.* (2015).

Os materiais estudados podem ser terrosos, pétreos ou areias. Para os materiais terrosos, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria.
- Índices Físicos.
- Equivalente de areia.
- Compactação.
- CBR.
- Densidade in situ.
- Cubagem da jazida.

Para materiais pétreos a investigação exige os ensaios de:

- Abrasão Los Angeles.
- Adesividade.
- Sanidade.
- Ensaio de lâmina (para rochas basálticas).
- Difração de Raio X (para rochas basálticas).
- Cubagem da brita.

Por fim, para as areias, são realizados os ensaios de granulometria e matéria orgânica. Vale lembrar que os ensaios serão descritos no final deste capítulo.

Na fase preliminar de estudo, a prospecção é feita para identificar as ocorrências que apresentam a possibilidade de aproveitamento, tendo em vista a qualidade do material e seu volume aproximado. A prospecção preliminar compreende a inspeção expedita no campo, sondagens e ensaios de laboratório.

Nas ocorrências de materiais julgados aproveitáveis na inspeção de campo, procede-se do seguinte modo:

- Delimita-se, aproximadamente, a área onde existe a ocorrência do material.
- Faz-se de 1 a 4 furos no centro e de 4 a 8 furos na periferia da área delimitada, convenientemente localizados até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração a serem adotados.
- Coleta-se em cada furo e para cada camada, uma amostra suficiente para o atendimento dos ensaios desejados.
- Anotam-se as cotas de mudanças de camadas, adotando-se uma denominação que as caracterize.
- Anota-se as distâncias aproximadas entre os materiais e a posição da ocorrência em relação à rodovia.
- Realizam-se os ensaios relacionados e, quando a jazida for julgada satisfatória, procede-se a prospecção definitiva.

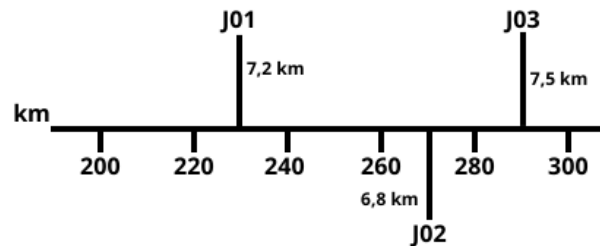
Uma ocorrência será considerada satisfatória para a prospecção definitiva quando os materiais coletados e ensaiados (ou pelo menos parte dos materiais existentes) satisfizerem as especificações vigentes, quando houver a possibilidade de correção, por mistura, com materiais de outras, ocorrências e quando seu volume for superior a 10.000 m³.

Uma vez que se considera possível a utilização da jazida, será feito o estudo definitivo. Para isso, é feito um reticulado com malha de 30 metros de lado, dentro dos limites da ocorrência selecionada, em cujos vértices numerados serão feitos furos de sondagem.

Em cada furo da malha de 30 m, para cada camada de material, será feito um ensaio de granulometria por peneiramento simples, limites de liquidez e plasticidade e equivalente de areia. Em furos alternados serão realizados também ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia e Densidade in situ.

Deve ser feito também um croqui indicando a posição das jazidas ao longo do eixo da rodovia em relação ao estaqueamento deste eixo e das distâncias em que se encontram, como ilustra a Figura 28.

Figura 28 - Croqui indicando jazidas.



Fonte: Autores.

4.4. ESTUDO DE FUNDAÇÃO DE ATERROS

Toda vez que houver dúvida na capacidade de suporte dos terrenos de fundação dos aterros, haverá necessidade de se desenvolver um estudo geotécnico especial que defina a capacidade de suporte do terreno natural.

Este estudo consistirá, basicamente, de ensaios de determinação da espessura das camadas, de umidade natural, da massa específica aparente e real dos grãos, granulometria, limites de liquidez e plasticidade, além de resistência à compressão, adensamento e triaxial.

Nos aterros de baixa capacidade de suporte, devem ser executadas sondagens especiais para um estudo mais amplo, que possa prever recalques, remoção de espessura de camada, etc. É importante que sejam feitas as comparações técnico-econômicas para as várias soluções de aterros sobre solos compressíveis.

4.5. ESTUDO DE DRENAGEM PROFUNDA

Para o estudo de drenagem profunda, é necessária sondagem nos pés dos taludes de corte. Os furos são feitos a trado, com uma profundidade de 1,50 m para verificação da existência de água livre.

São feitos inicialmente 4 furos, e se 1 deles apresentar água se faz uma sondagem mais detalhada. É importante lembrar que este estudo deve ser feito após a época de chuvas. Quando se verificar a presença de água em um furo, deve-se coletar amostras para ensaios de granulometria e permeabilidade.

4.6. ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES

O estudo da estabilidade de taludes é importante, pois em taludes de cortes a meia encosta existe a possibilidade, quando não estudados com atenção, da ocorrência de deslizamentos.

Os taludes a serem estudados são os que apresentam mais de 5 metros de altura e serão escolhidos aleatoriamente dentro de grupos formados que tenham características semelhantes.

Devem ser feitas sondagens à percussão e rotativas com retiradas de amostras indeformadas para os ensaios de cisalhamento (triaxial) e permeabilidade.

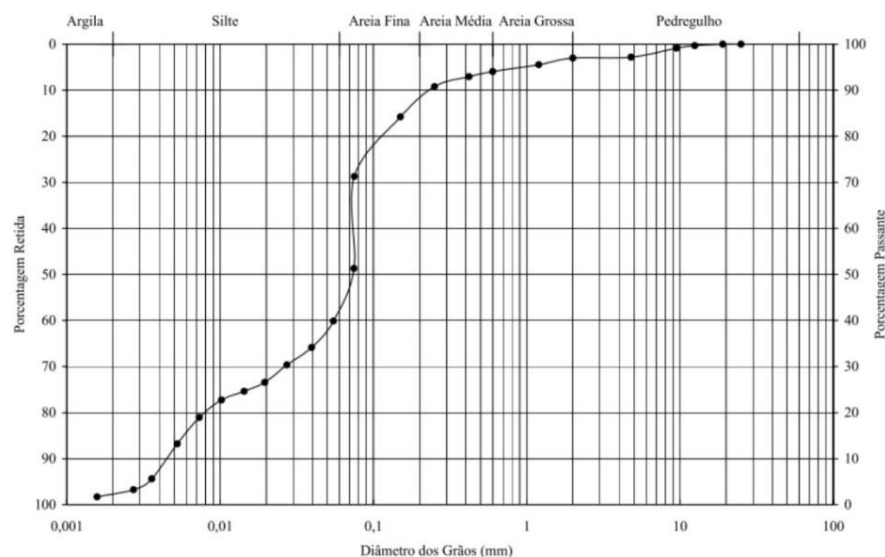
4.7. ENSAIOS

Os ensaios citados nos tópicos anteriores serão descritos a seguir.

4.7.1. Ensaio de granulometria

É realizado para determinar as faixas de tamanho das partículas de um material, e a porcentagem de material que pertence a cada faixa. Necessita de peneiras com diferentes aberturas e uma balança para aferir a massa de material passante e retido nas peneiras. O resultado é uma curva granulométrica, como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Curva granulométrica.



Fonte: Guia da Engenharia. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/analise-granulometrica-solo/>>.

Acesso em 26 ago. 2023.

As normas que especificam esse ensaio são:

- DNER–ME 080.
- NBR 6502.

4.7.2. Índices físicos

São as relações entre as parcelas sólidas, líquidas (água) e gasosas (ar) de uma porção de solo. Entre eles estão a umidade, o índice de vazios e o peso específico dos grãos.

As especificidades podem ser encontradas no “Manual de Pavimentação IPR – 719”.

4.7.3. Limite de liquidez

É o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico, determinado com auxílio do aparelho de Casagrande no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos, de um centímetro de comprimento, aberta na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas. A Figura 30 mostra uma etapa do ensaio, normatizado pela DNER-ME 122.

Figura 30 - Aparelho de Casagrande.



Fonte: Habisolute. Disponível em: <<https://habisoluteengenharia.com.br/area-de-atuacao/12>>. Acesso em 26 ago. 2023.

4.7.4. Limite de plasticidade

É o valor de umidade no qual o solo passa do limite plástico para o semi-sólido. É definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, rolando com a palma da mão. A execução do ensaio, que segue as especificações da DNER-ME 082, pode ser observada na Figura 31.

Figura 31 - Limite de plasticidade.



Fonte: Support. Disponível em: <<https://supportsondagens.com.br/ensaios-de-laboratorio/>>. Acesso em 26 ago. 2023.

4.7.5. Equivalente de areia

Estabelece a quantidade de finos e de possíveis impurezas de uma mistura de agregados. O equivalente de areia deve ser maior que 55%. As normativas correspondentes são:

- DNER-ME 054.
- NBR 12052.

4.7.6. Ensaios de compactação

A compactação é um método de estabilização de solos que ocorre por aplicação de energia em uma amostra de solo que produz um aumento da densidade e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

A NBR 7182 especifica os procedimentos de ensaio para compactação e compressão do solo.

4.7.7. Ensaio de CBR ou Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A especificação do ensaio é DNIT-ME 172. O ensaio de CBR permite determinar a capacidade de suporte de um solo pela relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em uma amostra de um determinado solo, e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão. É possível, também, determinar o índice de expansibilidade do solo.

4.7.8. Densidade *in situ*

A massa específica aparente (densidade) pode ser determinada em campo pelo método do frasco de areia, retratado na Figura 32. O ensaio do frasco de areia consiste em calcular a massa específica aparente seca e, conseqüentemente, o grau de compactação do solo.

As especificações correspondentes estão em:

- NBR 7185.
- DNER-ME 092.

Figura 32 - Ensaio do frasco de areia.

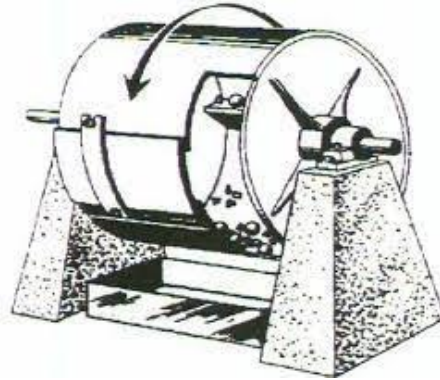


Fonte: Torres Geotecnia. Disponível em: <<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/densidade-in-situ/>>. Acesso em 28 ago. 2023.

4.7.9. Abrasão Los Angeles

Este fator indica o desgaste superficial dos grãos do agregado quando sofrem atrição. A resistência à abrasão mede, portanto, a capacidade que o agregado tem de não alterar-se quando manuseado (carregamento, basculamento, estocagem). As normativas que descrevem o ensaio são: DNER-ME 035 e NBR-NM 51. A Figura 33 mostra o moinho de bolas, equipamento onde é realizado o ensaio.

Figura 33 - Moinho de bolas.



Fonte: IME. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/~moniz/matconst2/abrasao.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2023.

4.7.10. Ensaio de adesividade

Determina a capacidade de adesividade dos agregados, descrito pela normativa DNER-ME 078. A Figura 34 mostra agregados durante o ensaio, envoltos por ligante asfáltico.

Figura 34 - Ensaio de adesividade.



Fonte: BIAVA (2016).

4.7.11. Ensaio de sanidade

A durabilidade do agregado está relacionada a resistência ao intemperismo. É avaliada por meio do ensaio de sanidade (DNER-ME 089) em que o agregado é submetido ao ataque de uma solução padronizada de sulfatos de sódio ou de magnésio. A perda de massa resultante desse ataque químico ao agregado deve ser de no máximo 12%.

4.7.12. Análise petrográfica por lâminas

Essa análise é realizada para determinar características do solo, como cor, textura, mineralogia, forma e estado de alteração da rocha (Figura 35).

Figura 35 - Análise petrográfica.



Fonte: IPR. Disponível em: <<https://www.pucrs.br/ipr/servicos/analise-petrografica/>>. Acesso em 28 ago. 2023.

4.7.13. Difração de raio-x

Pode ser realizado por meio de diferentes métodos, mas tem o objetivo de realizar a caracterização mineralógica dos solos, por meio de um equipamento específico que libera raios-x e avalia a resposta da amostra em frente a eles.

4.7.14. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica serve para dar ideia da textura do solo, com valores até de 15 g/dm^3 para solos arenosos, entre 16 e 30 g/dm^3 para solos de textura média e de 31 a 60 g/dm^3 para solos argilosos. As normas que regem o ensaio para determinação desse teor são: DNER-ME 055 e NBR NM 49.

4.7.15. Resistência à compressão simples

O ensaio de compressão simples é o método mais simples e rápido para determinar a resistência ao cisalhamento de solos coesivos. O ensaio pode ser observado na Figura 36. As especificações podem ser encontradas em: DNER-IE 004 e NBR 12770.

Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão simples.



Fonte: Contech. Disponível em: <<https://contech.eng.br/servicos/ensaios-em-solos/ensaio-de-compressao-simples/>>. Acesso em 28 ago. 2023.

4.7.16. Resistência ao adensamento

A NBR 16853 normatiza este ensaio. O adensamento de solo é a diminuição dos vazios de um solo, devido a saída da água e ar do seu interior.

4.7.17. Triaxial

O ensaio triaxial serve para determinar as propriedades mecânicas dos solos ou rochas, como resistência ao cisalhamento ou resistência ao corte e comportamento frente a tensões e deformações. O equipamento pode ser observado na Figura 37.

As especificações podem ser encontradas nas normas americanas:

- ASTM D7181.
- ASTM D4767.
- ASTM D2850.



Figura 37 – Equipamento de ensaio triaxial.



Fonte: Autores.

4.7.18. Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento de água através dele. As normativas que trazem métodos para determinação desse índice são:

- NBR 13292
- NBR 14545.

4.8. EXERCÍCIOS

4.8.1. Exercício 1

Sendo a largura da faixa de domínio de 150 m, a largura da plataforma de terraplenagem de 20 m e a altura de corte de 7,5 m, determine:

- a) Qual a largura máxima da caixa de empréstimo na seção considerada, em metros?
- b) Qual a distância do afastamento do ponto de sondagem, contado a partir do eixo, em metros?

Respostas: a) $x = 47$ m; b) $Y = 48,5$ m.

4.8.2. Exercício 2

Sendo a largura da faixa de domínio de uma rodovia 175 m, a largura da plataforma de terraplenagem de 12 m e a altura de aterro de 7 m, determine:

- a) Qual a largura máxima da caixa de empréstimo na seção considerada, em metros?
- b) Qual a distância do afastamento do ponto de sondagem, contado a partir do eixo, em metros?

Respostas: a) $x = 65$ m; b) $Y = 54$ m.

5. EXECUÇÃO DA TERRAPLANAGEM

Nesse capítulo serão tratados aspectos e conceitos importantes relacionados à execução da terraplanagem de uma obra rodoviária.

5.1. TERRAPLANAGEM MANUAL

As ferramentas tradicionais de terraplanagem manual são pás e picaretas para o corte e carroças com tração animal para o transporte. As ferramentas e a execução podem ser observadas nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 38 - Pá.



Fonte: Capil. Disponível em: <<http://capil.coop.br/produto/pa-tarza-bico-4-0-libras-com-cabo/>>. Acesso em 29 ago. 2023.

Figura 39 - Picareta.



Fonte: Dauge. Disponível em: <<https://www.dauge.com.br/produto/picareta-paraboni-estreita-c-cabo-r-32052/>>. Acesso em 29 ago. 2023.

Figura 40 - Execução manual da terraplanagem.



Fonte: PUC Goiás. Disponível em:

<https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Aula%2016%20-%20Terraplanagem%20-%20Conceitos%20Iniciais.pdf>. Acesso em 29 ago. 2023.

Esse método executivo costuma apresentar baixo rendimento, e é dependente da mão-de-obra abundante e barata. Para 50 m³/h de escavação, seriam necessários pelo menos 100 trabalhadores. Em comparação, uma escavadeira, operada por apenas uma pessoa, executa a mesma tarefa no mesmo tempo.

A terraplanagem manual era mais comum antigamente. Nesse sentido, era necessária organização para resolver os sérios problemas de recrutamento, administração, alojamento e subsistência dos trabalhadores.

5.2. TERRAPLANAGEM MECANIZADA

Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram os equipamentos mecanizados. Estes equipamentos possuem elevados fatores de produtividade, o que conduz a preços menores em comparação com a execução manual, especialmente em virtude de redução de mão-de-obra.

Atrelado à alta eficiência, a terraplanagem mecanizada requer grandes investimentos em equipamentos de alto custo. Além disso, exige serviços racionalmente planejados e executados. A redução da mão-de-obra empregada é significativa, mas, por outro lado, há a necessidade de especialização profissional e, conseqüentemente, melhor remuneração.

Ainda assim, traz grandes vantagens, pois permite a movimentação de grandes volumes de terra em prazos curtos, grande velocidade no transporte e preços unitários extremamente baixos apesar do custo dos equipamentos, que podem ser vistos na Figura 41.

Figura 41 - Equipamentos mecanizados.



Fonte: Exército Brasileiro. Disponível em:

<<https://2de.eb.mil.br/index.php/component/content/article?id=1498>>. Acesso em 29 ago. 2023.

5.3. OPERAÇÕES BÁSICAS DE TERRAPLANAGEM: CICLO DE OPERAÇÃO

Examinando-se a execução de quaisquer serviços de terraplanagem, podem-se distinguir quatro operações básicas que ocorrem em sequência, ou, às vezes, com simultaneidade:

- Escavação: processo empregado para romper a capacidade do solo em seu estado natural, através do emprego de ferramentas cortantes, desagregando-o e tornando possível o seu manuseio.
- Carga do material escavado: consiste no enchimento da caçamba, ou no acúmulo diante da lâmina, do material que já sofreu o processo de desagregação.
- Transporte: movimentação da terra do local em que é escavada para onde será colocada em definitivo; distingue-se “transporte com carga” de “transporte vazio”.
- Descarga e espalhamento: constituem a execução do aterro propriamente dito.

Essas operações básicas podem ser executadas pela mesma máquina ou por equipamentos pequenos. Quando as especificações determinam a obtenção de certo grau de compactação no aterro, haverá, ainda, a operação final de adensamento do solo até os índices mínimos estabelecidos. Há, em certos casos, quando o solo a escavar for muito compacto, a necessidade de tratamento prévio, a fim de romper a resistência oposta ao desmorte do solo, como no caso da escarificação.

As quatro operações básicas repetem-se através do tempo, constituindo, portanto, um trabalho cíclico e o seu conjunto denomina-se ciclo de operação.

5.4. ESTUDO DOS MATERIAIS DE SUPERFÍCIE

Para o estudo de terraplanagem será necessário o conhecimento de algumas características dos solos que têm grande influência no seu comportamento ao ser escavado e, posteriormente, ao ser novamente adensado. Serão descritas a seguir algumas terminologias, classificações e conceitos da mecânica dos solos.

5.4.1. Terminologia de rochas TB-3 (ABNT)

Segundo essa classificação, os materiais de superfície classificam-se em:

- Rochas: materiais constituintes essenciais da crosta terrestre provenientes da solidificação do magma ou de lavas vulcânicas ou da consolidação de depósitos sedimentares, tendo ou não sofrido transformações metamórficas. Esses materiais apresentam elevada resistência, somente modificável por contatos com o ar ou a água em casos muito especiais.
- Solos: materiais constituintes especiais da crosta terrestre provenientes da decomposição in situ das rochas pelos diversos agentes geológicos, ou pela sedimentação não consolidada dos grãos elementares constituintes das rochas, com adição eventual de partículas fibrosas de material carbonoso e matéria orgânica coloidal.

As rochas são subdivididas, segundo suas dimensões, em:

- Bloco de rocha: pedaço isolado de rocha com diâmetro médio superior a 1 m.
- Matacão: pedaço de rocha com diâmetro médio superior a 25 cm e inferior a 1 m.
- Pedra: pedaço de rocha com diâmetro médio compreendido entre 7,6 cm e 25 cm.

As subdivisões dos solos são:

- Pedregulho: solos cujas propriedades dominantes são devidas à sua parte constituída pelos grãos minerais de diâmetros superiores a 4,8 mm e inferiores a 76 mm.
- Areia: solos cujas propriedades dominantes são devidas à sua parte constituída pelos minerais de diâmetros máximos superiores a 0,05 mm e inferiores a 4,8 mm.

- Silte: solo que apresenta apenas a coesão para formar, quando seco, torrões facilmente desagregáveis pela pressão dos dedos; suas propriedades dominantes são devidas à parte geralmente constituída pelos grãos de diâmetros máximos inferiores a 0,005 mm.
- Argila: solo que apresenta características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas; quando seco apresenta torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos.

Os solos em que não se verificam nitidamente as predominâncias de propriedades anteriormente referidas são designados pelo nome do tipo de solo cujas propriedades sejam mais acentuadas, seguido de adjetivos correspondentes aos que o completam. Por exemplo, argila arenosa, argila-silto arenosa, etc.

Existem ainda:

- Solos com matéria orgânica: caso um dos tipos anteriores apresente teor apreciável de matéria orgânica, será anotada sua presença. Ex: argila arenosa com matéria orgânica.
- Turfas: solos com grandes porcentagens de partículas fibrosas de material carbonoso ao lado de material orgânico no estado coloidal.
- Alteração de rocha: é o solo proveniente da desagregação das rochas *in situ* pelos agentes geológicos.
- Solos superficiais: a zona abaixo da superfície do terreno natural, igualmente constituída de misturas de areias, argilas e matéria orgânica exposta à ação de fatores climáticas e de agentes de origem vegetal e animal.

5.4.2. Classificação do DNIT

O critério de classificação a ser aplicado aos solos superficiais quanto à terraplanagem é, apenas e exclusivamente, a maior ou menor resistência à escavação. Por isso os órgãos rodoviários criaram classificações próprias para a utilização em seus contratos de terraplanagem, procurando enquadrar a maioria dos tipos de solos presentes em sua área de atuação.

Como já citado anteriormente, a classificação é dividida em: 1ª categoria - solo de fácil escavação, carga e transporte; 2ª categoria - apresentam alguma resistência na escavação,

necessitando preparação para sua manipulação; 3ª categoria - materiais rochosos, necessitam explosivos para desmonte, e equipamentos especializados para transporte.

A necessidade de se classificarem os materiais de escavação nas citadas categorias provém do fato de que os materiais mais resistentes (os quais oferecem maior dificuldade ao desmonte) demandam emprego de um número maior de horas de equipamento ou obrigam ao seu uso de modo mais intensivo, gerando maiores custos de escavação.

Os preços de remuneração das três categorias variam na proporção de 1:2:6. O classificador deve ter vasta experiência e bom senso, pois o processo de classificação é de certa forma subjetivo. Além disso, pela grande variação das características das camadas de solos, especialmente quando existe alteração de rocha em vários estágios, poderá ocorrer mudança gradual da consistência do material, dificultando a classificação. O problema se acentua quando, no mesmo corte, são encontradas três categorias, obrigando o classificador a estimar os volumes de cada uma delas, estabelecendo-se porcentagens mais ou menos arbitrárias dos volumes a serem pagos.

Nas escavações com grandes volumes, deve ser feita sondagem que forneça informações relevantes à predeterminação da natureza dos perfis de solos e rochas encontrados no subsolo e que serão alcançadas durante a escavação. Pelas sondagens é feita uma estimativa dos volumes de materiais (solos e rochas) que serão posteriormente removidos.

A Figura 42 retrata as 3 diferentes categorias.

Figura 42 - Materiais de superfície.



Fonte: Pedreira. Disponível em: <<https://pedreira.com.br/o-que-sao-materiais-de-1-2-e-3-categorias-passo-a-passo/>>. Acesso em 29 ago. 2023.

6. EQUIPAMENTOS DE TERRAPLANAGEM

Esta unidade traz informações sobre os diversos equipamentos de terraplanagem, como suas aplicações, características, além de algumas vantagens e desvantagens relacionadas ao seu uso.

Os equipamentos apresentados são:

- Unidades de tração.
- Unidades escavo-empurradoras.
- Escarificadores.
- Escavo-carregadeiras.
- Escavadeiras.
- Unidades aplainadoras.
- Unidades transportadoras.
- Unidades compactadoras.

6.1. UNIDADES DE TRAÇÃO - TRATORES

A unidade de tração (trator) é a máquina básica de terraplanagem. Todos os equipamentos são tratores devidamente modificados ou adaptados com o intuito de realizar operações de terraplanagem.

Define-se trator como uma unidade autônoma que executa a tração ou empurra outras máquinas e pode receber diversos implementos destinados a diferentes tarefas.

A classificação desses equipamentos distingue duas classes:

- Sobre esteiras (trator de esteiras, ilustrado na Figura 43).
- Sobre pneus (trator de rodas ou pneus, ilustrado na Figura 44).

As unidades tratoras possuem certas características necessárias para uso, como:

- Esforço trator: é a força que o trator possui na barra de tração (trator de esteiras), ou nas rodas motrizes (trator de rodas) para executar as funções de rebocar ou de empurrar outros equipamentos ou implementos.
- Velocidade: é a velocidade de deslocamento da máquina que depende do dispositivo de montagem, sobre esteiras ou sobre rodas.

- Aderência: capacidade do trator de se deslocar sobre os diversos terrenos ou superfícies revestidas, sem haver o “patinamento” da esteira ou dos pneus.
- Flutuação: característica que permite ao trator deslocar-se sobre terrenos de baixa capacidade de suporte, sem o afundamento excessivo da esteira ou dos pneus.
- Balanceamento: qualidade que o trator deve possuir, proveniente de uma boa distribuição de massa e de um centro de gravidade a pequena altura do chão, garantindo boas condições de equilíbrio, sob as mais variadas condições de trabalho.

Figura 43 - Trator de esteiras.



Fonte: CAT. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/articles/ci-articulos/tratores-de-esteira-D50.html>.

Acesso em: 01 set. 2023.

Figura 44 - Trator de pneus.



Fonte: AEC. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/conheca-as-diferencas-entre-tratores-de-esteira-ou-de-pneus/22642>>. Acesso em: 01 set. 2023.

A Tabela 10 compara os tratores de esteiras e pneus em relação as características citadas.

Tabela 10 - Comparação entre unidades tratoras.

Característica	Trator de esteiras	Trator de pneus
Esforço Trator	Elevado	Limitado
Aderência	Boa	Sofrível
Flutuação	Boa	Regular a ruim
Balanceamento	Bom	Bom
Velocidade	Baixa	Alta

Fonte: Adaptado de Ricardo e Catalani (2007).

Quanto à operação, os tratores de pneus possuem uma plataforma de operação mecanizada, gerenciada por um operador. Quando ligada a plataforma, os pneus fazem o trabalho de tração necessário no terreno.

Por sua parte, os tratores de esteira são diferentes. Suas esteiras operam através de placas de aço rígidas, de vários tipos e tamanhos, ligadas umas às outras de maneira que haja articulação entre elas. Assim, a esteira consegue se adaptar as irregularidades do terreno. Na superfície da esteira existem saliências (garras), que penetram no solo aumentando a aderência do trator com o solo. Porém, o tamanho das garras interfere no momento de manobra da máquina.

No que se refere à utilização na construção civil, o trator é muito empregado para carregar materiais, restos de demolições e realizar trabalhos em locais com diferentes tipos de terrenos. O trator de esteira, por exemplo, é usado principalmente para terraplanagem, escavação e ajudar no reboque de outras máquinas. O mesmo trabalha muito bem em locais com terra solta e em terrenos pantanosos.

Quanto ao campo de aplicação, os trabalhos que requerem esforços tratores elevados, com rampas de grande inclinação ou quando executados em terrenos de baixa capacidade de suporte, constituem o campo de aplicação ideal para os tratores de esteiras.

Quando a topografia é favorável, onde as inclinações das rampas não são fortes e as condições de suporte e aderência do solo são boas, as máquinas de pneus são muito utilizadas, tendo como vantagem sua velocidade elevada, significando também uma maior produção.

É possível listar algumas vantagens e desvantagens de ambos os tipos de unidades tratoras, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Vantagens e desvantagens de tratores.

	Trator de esteiras	Trator de pneus
Vantagens	Boa aderência com o terreno.	Boa velocidade de deslocamento, de 60 a 70 km/h.
	Empurram grandes cargas em terrenos de forte declividade sem patinar.	Menor tempo de ciclo de operação.
	Boa flutuação, deslocam-se sobre solos de baixa capacidade de suporte.	
Desvantagens	Baixa velocidade, máximo 10 km/h.	Baixa aderência entre pneu e solo, gera patinamento.
		Alta pressão no solo, afunda terrenos fracos.

Fonte: Autores.

6.2. ESCAVO-EMPURRADORES

Os escavo-empurradores correspondem a tratores de esteiras ou pneus adaptados com o implemento de uma lâmina a frente, que os transforma em unidades capazes de escavar e empurrar a terra.

Existem tratores de esteira com lâminas, para trabalhos que exigem maior necessidade de aderência e flutuação das máquinas, e tratores de pneus com lâminas, para serviços que exigem maiores velocidades e maior mobilidade das máquinas.

As unidades escavo-empurradeiras foram modificadas para servirem em diferentes funções, como desmatamento e limpeza do terreno, abertura de caminhos de serviço, escavação, transporte e espalhamento do material no aterro, acabamento de taludes e corte e mineração.

A capacidade da lâmina depende de seu tamanho e formato e existem diversos tipos, que serão descritos nos próximos tópicos.

6.2.1. Lâmina fixa

A lâmina fixa, ou “Bulldozer” permite o transporte apenas para frente. Para outras direções, é preciso a combinação de movimentos da unidade inteira. A Figura 45 mostra um trator de esteiras com lâmina fixa, mas também existem tratores de pneus com esse tipo de lâmina.

Figura 45 - Trator de esteiras com lâmina fixa.



Fonte: CAT. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/102980.html>. Acesso em: 01 set. 2023.

Nos modelos modernos são utilizados aparelhos onde o acionamento das lâminas é do tipo hidráulico. Dessa forma, o acionamento é feito por dois pistões de duplo efeito que sustentam a lâmina e são movidos pela pressão fornecida por uma bomba hidráulica de alta pressão. Isso facilita as operações quando precisa cortar uma superfície e em materiais mais compactos e, portanto, difíceis de serem escavados.

6.2.2. Lâmina *angledozer*

Esse tipo de lâmina tem um movimento horizontal que permite empurrar a terra lateralmente para facilitar a escavação e o transporte de material. Pode formar ângulos de 90° até 25° com o eixo longitudinal do trator. A Figura 46 mostra um trator de esteiras com uma lâmina *angledozer* acoplada.



Figura 46 - Trator com lâmina *angledozer*.



Fonte: Terraplanagem Guimarães. Disponível em:

<http://www.terraplanagemguimaraes.com.br/tratordeesteira.html>. Acesso em: 1 set. 2023.

6.2.3. Lâmina *tilt-dozer* e lâmina *tip-dozer*

Além dos movimentos apresentados pela *angledozer*, em algumas máquinas ainda são possíveis movimentos de variação do ângulo de ataque em relação a superfície de solo, facilitando a escavação em terrenos compactos (“*tip-dozer*”), ou uma inclinação em torno do eixo longitudinal do trator (“*tilt-dozer*”). Essas lâminas são anguláveis e inclináveis.

6.2.4. Lâmina “U”

Essa lâmina é utilizada para a movimentação de grandes cargas e grandes distâncias. Pelo seu formato em “U” evita perdas laterais. Porém, devido ao seu formato e largura da lâmina, a relação da potência do trator e lâmina (HP/m) é baixa, o que impede a utilização desse tipo de lâmina em solos com grande resistência ao corte. A lâmina “U” pode ser vista na Figura 47.

Figura 47 - Lâmina “U”.



Fonte: Lufer. Disponível em: <https://lufer.com.br/linha-amarela/lamina-cat-d10/>. Acesso em: 1 set. 2023.

6.2.5. Lâmina reta

Com dimensões menores que a lâmina “U”, pode ser usada em materiais resistentes por possuir elevada relação HP/m, obtendo-se maior penetração e maior carga. Sua relação HP/m³ permite sua aplicação em materiais com peso específico elevado.

6.3. ESCARIFICADOR OU RIPPER

Essa máquina consta de um ou mais dentes reforçados, providos de pontas cortantes, utilizados para romper os solos muito compactos, inclusive os de segunda categoria, para serem transportados por uma lâmina comum (Figura 48).

Figura 48 - Escarificador.



Fonte: FDantas. Disponível em: <<https://fdantaspe.com.br/>>. Acesso em 14 set. 2023.

6.4. ESCAVO CARREGADEIRAS

Essas unidades também podem ser chamadas de pás-carregadeiras ou pás-mecânicas. Funcionam por meio da adaptação de uma caçamba ou concha à dianteira de um trator de esteiras ou de rodas. A caçamba é articulada em relação aos braços e pode ocupar diversas posições, comandada por dois pistões de acionamento da caçamba, podendo ficar na posição de escavação ou de carga.

As carregadeiras de esteiras são mais indicadas para operações em locais de dimensões limitadas, por conseguirem praticamente girar sobre elas mesmas sem grandes dificuldades. Além disso, possuem transmissão hidrostática, que melhora condições de aceleração e manobra da máquina, reduzindo o tempo de ciclo básico de carga e aumentando a produtividade.

As carregadeiras montadas sobre pneus têm como vantagem a velocidade de deslocamento da máquina e a possibilidade de vencer longos trajetos por suas próprias forças, eliminando custo e dificuldades inerentes ao transporte via carretas. As Figuras 49 e 50 mostram uma carregadeira de esteiras e uma carregadeira de pneus, respectivamente.

Figura 49 - Carregadeira de esteiras.



Fonte: CAT Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/track-loaders/track-loaders/1000033102.html>. Acesso em: 4 set. 2023.

Figura 50 - Carregadeira de pneus.



Fonte: Hedsa. Disponível em: <<https://www.hedsa.com.br/pneu-pa-carregadeira>>. Acesso em: 4 set. 2023.

Existem ainda outras diferenças entre as escavo-carregadeiras sobre esteiras e sobre pneus, como a capacidade de aderência e escavação, maior em escavadeiras sobre esteiras. Porém, a velocidade de manobra é maior para os tratores de pneus.

Quanto ao funcionamento e direcionamento, as escavo-carregadeiras podem ser classificadas de três formas:

- Rígida: somente as rodas traseiras mudam de direção.

- Articulada: é dividida em duas partes, ligadas ao sistema pivotante, facilitando as operações.
- Dupla articulação: possui três partes, divididas por juntas articuláveis.

As fases de operação de uma dessas unidades consistem em:

- Escavação.
- Carga.
- Manobra.
- Descarga.

6.5. ESCAVADEIRAS

O termo “escavadeira” é conhecido por muitas vezes servir como uma nomenclatura genérica para qualquer tipo de máquina para escavar. Esse tipo de máquina é utilizado para remoção de terra, objetos e entulhos, assim como para retirada de aterro. É um equipamento que trabalha parado, podendo ser montado sobre esteiras, pneumáticos ou trilhos.

A maior dificuldade na operação destes equipamentos está no balanceamento deficiente, em razão da excentricidade do ponto de aplicação da carga, ocasionando momento de tombamento elevado. Para minimizar esse problema os equipamentos mais recentes têm o motor colocado para funcionar como contrapeso, a fim de contrabalançar o levantamento da caçamba carregada.

As escavadeiras podem ser empregadas em diversos trabalhos, dependendo do tipo de lança (mecanismo que pode ser acoplado) utilizado. Os principais tipos de lança serão descritos nos tópicos a seguir.

6.5.1. *Drag-line* ou draga de arrasto

Esse tipo de escavadeira é utilizado para manipulação do solo, proporcionando um grande raio de escavação. O processo se faz pelo arrasto da caçamba, devidamente posicionada, formando um ângulo de ataque favorável entre seus dentes e o terreno.

O arrasto da caçamba é realizado através da utilização do cabo de arrasto. É um equipamento que executa escavação dentro da água, mas pouco utilizado atualmente. A Figura 51 mostra uma dessas máquinas.

Figura 51 - *Dragline*.

Fonte: Komatsu. Disponível em: <<https://mining.komatsu/pt/mineração-de-superfície/draglines>>. Acesso em: 4 set. 2023.

6.5.2. *Clam-shell* ou mandíbulas

Essa lança é constituída por duas partes móveis comandadas por cabos que podem se abrir ou fechar como mandíbulas, possuindo superfícies de corte ou dentes. A Figura 52 ilustra o equipamento.

Figura 52 - *Clam-shell*.

Fonte: Thorco. Disponível em: <<https://thorco.com.br/acessorios-implemto-para-tratores-2/escavadeira/caçamba-clam-shell-escavadeira/>>. Acesso em: 4 set. 2023.

A escavação se dá pela queda da caçamba e, posteriormente, pelo fechamento das referidas mandíbulas. É apropriada para a abertura de valas de pequenas dimensões, sobretudo quando há obstáculos, sendo também utilizada para escavação embaixo d'água.

6.5.3. Shovel ou caçamba frontal

Essas escavadeiras são usadas em taludes pois o alcance para o corte é elevado, e movimentam-se no sentido de baixo para cima.

Elas são articuladas no braço móvel e acionadas por cilindro hidráulico próprio. O levantamento da lança e o movimento do braço móvel são feitos por circuitos independentes. A Figura 53 mostra a máquina.

Figura 53 - Escavadeira de caçamba frontal.



Fonte: CAT. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/hydraulic-mining-shovels/hydraulic-mining-shovels/104540.html>. Acesso em: 4 set. 2023.

6.5.4. Retroescavadeira

Nesses equipamentos, a caçamba é voltada para baixo, permitindo escavação abaixo do nível em que a máquina se encontra. Isso possibilita abertura de valas em profundidade ou em corte de altura elevada. É possível observar uma retroescavadeira na Figura 54.

Figura 54 - Retroescavadeira.



Fonte: Forza J. Malucelli. Disponível em: <<https://www.forzajmalucelli.com.br/case/retroescavadeira-580n>>. Acesso em: 4 set. 2023.

6.6. UNIDADES APLAINADORAS

Conhecidas como motoniveladoras, plaina ou patrol, as unidades aplainadoras são máquinas pesadas utilizadas nas obras de engenharia civil, essenciais para a terraplanagem, porque realizam o serviço de acabamento, a fim de ajustar o terreno aos greides finais do projeto e deixar a superfície adequada para receber seus elementos construtivos. A Figura 55 mostra uma motoniveladora.

Figura 55 - Motoniveladora.



Fonte: Portal Governo. Disponível em: <<https://portalgoverno.com.br/product/motoniveladora-xcmg-gr1803br-2/>>. Acesso em 5 set. 2023.

A motoniveladora é uma máquina versátil, completa e eficiente, que possui diferentes tipos de lâminas, capazes de atuar de acordo com os diversos tipos de solos. É utilizada para nivelar terrenos, fazer terraplanagem, realizar pavimentação e ajustar terrenos irregulares.

As motoniveladoras possuem 6 rodas, sendo que 2 são dianteiras e responsáveis pelo direcionamento do equipamento e 4 traseiras, que distribuem a carga do motor e proporcionam tração. Ao utilizar quatro rodas motrizes, com dois eixos, o acionamento é feito por engrenagens e correntes que permitem ao trator traseiro adaptar-se a irregularidades no terreno.

A lâmina é ajustável para “modelar” o material trabalhado, conforme o projeto da obra. Ela tem deslocamento nos três eixos, ou seja, pode se deslocar em todos os sentidos desejados, de acordo com as necessidades do local.

Devido à pequena distância entre as rodas motrizes e as baixas velocidades, é possível o uso de rodas acionadas por somente um eixo rígido sem diferencial. Forças excêntricas surgem devido à angulação e inclinação lateral das lâminas, que são compensadas pela inclinação das rodas dianteiras.

Essas máquinas podem possuir lâminas de corte, que são fabricadas com material espesso, mais resistentes e duráveis, apresentando melhor desempenho com diferentes materiais. Existem também as lâminas de acabamento, fabricadas com material mais fino, utilizadas em acabamento e nivelamento de base, apresentando ótimo desempenho para esse uso específico.

A utilização de unidades aplainadoras apresenta certas vantagens, como a garantia de um nivelamento preciso do solo, além de rapidez e eficácia. Porém, essas máquinas exigem um grande espaço para locomoção, além de seu elevado custo.

6.7. UNIDADES TRANSPORTADORAS

As unidades transportadoras são empregadas em obras de terraplanagem quando a movimentação de solo atinge distâncias elevadas. Para movimentação de grandes distâncias, o emprego de maquinário rápido, de boa produção e de baixo custo se torna mais economicamente viável.

Esses equipamentos executam apenas a operação de transporte e descarga, sendo necessário efetuar o carregamento por unidades escavo-carregadoras. As principais unidades de transporte serão descritas nos tópicos a seguir.

6.7.1. Caminhão basculante comum

Consiste em um chassi de caminhão convencional acoplado com uma caçamba metálica articulada na parte superior traseira. As capacidades das caçambas variam de 4,5 a 12 m³.

O terreno onde são efetuados os carregamentos de material deve ter suporte suficiente para que o caminhão carregado realize manobras sem o perigo de atolar ou tombar. Caso contrário, é necessário fazer troca de solo.

A balança é acionada por meio de um pistão hidráulico, permitindo a descarga através da tampa traseira. Existem três tipos de caminhão basculante: *toco* (semipesado), *truck* (pesado) ou *bitruck*, utilizados de acordo com a quantidade ou tipo de carga. A Figura 56 mostra um caminhão basculante do tipo *truck*.

Figura 56 - Caminhão basculante.



Fonte: Portal do Trânsito. Disponível em: <<https://www.portaldotransito.com.br/noticias/mobilidade-e-tecnologia/transporte-de-carga/caminhoes-basculantes-medidas-que-exigem-instalacao-de-dispositivo-de-seguranca-nas-cacambas-sao-ignoradas/>>. Acesso em: 5 set. 2023.

6.7.2. Vagões

Essas unidades são de grande porte e, conseqüentemente, de maiores capacidades. Os vagões podem ser rebocados por tratores de pneus ou transportados em trilhos, a descarga pode ser de fundo móvel (*bottom-dump*), traseira (*rear-dump*) ou lateral (*side-dump*).

6.7.3. Dumpers

São similares aos caminhões basculantes, porém com estrutura reforçada, de capacidade que variam entre 4 e 6 m³. É possível observar um *dumper* na Figura 57.

Figura 57 - Dumper.



Fonte: Igus. Disponível em: <<https://www.igus.eu/info/chainflex-in-dumper>>. Acesso em: 5 set. 2023.

O operador sempre trabalha olhando para frente, mesmo com o veículo se deslocando para trás. Isto é possível pelo posicionamento da cabine e pela existência de comandos duplos e de assento e volante giratórios.

6.7.4. Caminhões fora de estrada

São caminhões basculantes de grande porte, com dimensões tais que impedem seu uso em estradas normais, ficando restritos ao canteiro de obra que deve ter suporte pra esse tipo de equipamento.

São construídos e dimensionados para serviços pesados, sendo capazes de carregar de 25 a 500 toneladas de material. Sua capacidade depende da caçamba, podendo chegar até 645 m³, e a velocidade máxima é de 60 km/h. Podem chegar a 8 metros de altura e 20 de comprimento, como mostra a Figura 58.

Figura 58 - Caminhão fora de estrada.



Fonte: Hunter Seguros. Disponível em: <<https://www.hunterseguros.com.br/caminhao-fora-de-estrada-para-mineracao-veja-os-5-maiores/>>. Acesso em: 5 set. 2023.

Pelo seu alto custo de aquisição, têm utilização restrita à movimentação de grandes volumes de terra.

6.8. UNIDADES COMPACTADORAS

São unidades que promovem a compactação do solo, processo que resulta em um menor número de vazios, aumentando a sua capacidade de suporte e a durabilidade da estrutura. É uma etapa muito importante, pois uma falha na compactação pode comprometer as outras camadas da estrutura.

A compactação ocorre por meio de rolos, de diferentes modelos, que devem ser escolhidos de acordo com o material a ser compactado.

6.8.1. Rolos pé-de-carneiro

São rolos que tem o cilindro com patas que formam um relevo na circunferência, como mostra a Figura 59.

Figura 59 - Rolo pé-de-carneiro.



Fonte: Guimarães Terraplanagem. Disponível em:

<<http://www.terraplanagemguimaraes.com.br/wordpress/equipamentos/aluguel-de-rolo-compactador/>>. Acesso em: 5 set. 2023.

A função das patas é penetrar superficialmente no solo para aumentar a área de contato. Isso faz com que a coesão entre as partículas seja quebrada, o que favorece a evaporação para que o material possa ser compactado.

Esse tipo de rolo é muito utilizado na compactação de terra, nas fases de aterro da obra. A umidade do solo também é importante, nem muito sec, nem muito úmido, para o melhor uso desse equipamento.

6.8.2. Rolo liso

Possui estrutura semelhante ao tipo pé-de-carneiro, porém seu cilindro não tem saliências (Figura 60).

Figura 60 - Rolo compactador liso.



Fonte: ECivil. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-rolo-compactador-liso.html>>.

Acesso em: 5 set. 2023.

Esse equipamento atua com um peso excêntrico localizado no eixo central do cilindro. Ao começar a rotação, o cilindro vibra subindo a uma pequena altitude (amplitude) e golpeia o solo várias vezes por segundo (medido em Hertz). A força aplicada gera ondas de choque em todas as direções, reduzindo o atrito entre partículas e facilitando a compactação.

Rolos lisos são empregados em compactação da base, terraplanagem, pavimentação entre outros. São versáteis, e dependendo da frequência podem ser utilizados na compactação de materiais argilosos. Porém, seu uso não é recomendado próximo a edificações e outros obstáculos devido a vibração que é causada no processo.

6.8.3. Rolo pneumático

É constituído por uma plataforma metálica apoiada em dois eixos com pneumáticos. As rodas dos eixos são desencontradas, ou seja, as traseiras correm nos espaços deixados pelas dianteiras, garantindo uma largura total de rolagem.

O adensamento dos solos depende da pressão de contato entre os pneus e o terreno. Quanto maior a pressão, maior facilidade na obtenção de um bom adensamento, e menos passadas com o rolo serão necessárias.

Geralmente, rolos pneumáticos são empregados em locais com base de material granular ou camada asfáltica. Eles podem ser utilizados em lugares que não permitem vibrações, como nas proximidades de pontes e edifícios. Porém, é importante considerar que há risco de ruptura caso as pressões de contato utilizadas sejam muito elevadas. A Figura 61 mostra um rolo pneumático compactando uma camada asfáltica.

Figura 61 - Rolo compactador pneumático



Fonte: ECivil. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-rolo-compactador-pneumatico.html>>. Acesso em: 5 set. 2023.

6.8.4. Rolo combinado

Esse tipo de rolo conta com um cilindro vibratório dianteiro e pneus de borracha em todo o eixo traseiro, como mostra a Figura 62. Rolos combinados são recomendados para serviços pequenos, como tapar buracos ou fazer pequenos reparos.

Figura 62 - Rolo combinado.



Fonte: Amplytude. Disponível em: <<http://www.amplytude.com.br/produto/dynapac/rolos-compactador-vibratorio-combinado/cc-1300-c>>. Acesso em: 5 set. 2023.

O modelo pode ser usado em reparos rodoviários e pequenas aplicações como ciclovias, ruas de baixo tráfego, estacionamentos e ruas de pequenos acessos. Também apresenta bons resultados na compactação de aclives e curvas acentuadas.

7. DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES

Neste capítulo, serão abordados tópicos necessários para o dimensionamento de equipes de terraplanagem em função do prazo de execução da obra. As informações contidas foram retiradas do livro “Manual Prático de Escavação – Terraplanagem e Escavação de Rocha” de Ricardo e Catalani (2007).

Para a execução do dimensionamento final de uma equipe, devem ser feitos estudos importantes, tais como:

- Características dos materiais.
- Condições de locomoção dos equipamentos.
- Tempo de ciclo.
- Fator de eficiência ou rendimento.
- Produção dos equipamentos.
- Seleção dos equipamentos.
- Dimensionamento da equipe.

Cada uma dessas etapas será descrita nos próximos itens dentro deste capítulo.

7.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

A produção e o comportamento das operações de terraplanagem são geralmente afetados pelos tipos e pelas condições dos materiais envolvidos.

Assim, os principais fatores que afetam a produção são o tipo de material, e seus fatores de empolamento e redução.

7.1.1. Tipo de material

Como já tratado anteriormente, existem os materiais de 1^a, 2^a e 3^a categoria. Os materiais da 1^a categoria são solos de fácil escavação, os de 2^a categoria são aqueles que apresentam resistência à escavação, e os de 3^a categoria são rochas, que necessitam explosivos para seu desmonte.



7.1.2. Fator de empolamento

O empolamento pode ser definido como aumento de volume sofrido pelo material em decorrência da destruição de sua estrutura, pela separação ou quebra dos elementos componentes do material durante a escavação. É importante salientar que o empolamento é diferente do inchamento, que se trata do aumento de volume de material devido à absorção de água.

O fator de empolamento (F_E), é a relação entre o volume solto, posterior à escavação, e volume natural, anterior. Ele é também o fator que multiplicado pela capacidade do equipamento (máximo volume a ser transportado) dará o volume do material natural escavado (medido no corte, volume pago). As Equações 9 e 10 mostram a relação entre fator de empolamento (F_E) e porcentagem de empolamento (E).

$$F_E = \frac{100\%}{100\% + E\%} \quad (9)$$

$$E\% = \left(\frac{1}{F_E} - 1 \right) \times 100 \quad (10)$$

7.1.3. Fator de redução

É a diminuição de volume do material solto causada pela aproximação dos grãos devido à redução do índice de vazios, por efeito da compactação recebida na formação dos aterros.

O fator de redução é o fator que multiplicado pelo volume exigido pelo aterro nos dará o volume necessário a ser escavado. É conhecido também como fator de contração, sendo a relação entre o volume do material posterior à compactação e o volume anterior. As Equações 11 e 12 mostram a relação entre fator de redução (F_R) e porcentagem de redução (R).

$$F_R = \frac{100\%}{100\% - R\%} \quad (11)$$

$$R\% = \left(1 - \frac{1}{F_R} \right) \times 100 \quad (12)$$

7.2. CONDIÇÕES DE LOCOMOÇÃO DOS EQUIPAMENTO

Para obter a produção de cada equipamento é preciso determinar o tempo de ciclo de cada equipamento pois a produção (Q) é função inversa do tempo de ciclo (t_c), ou seja, $Q = f(1/t_c)$, o qual depende dos espaços percorridos pelo equipamento (dm) e também das velocidades de deslocamento. Para determinar estas velocidades deve ser feita uma análise de todos os fatores que influem na locomoção das máquinas:

- Forças resistentes ao movimento.
- Condições de aderência.
- Forças que impulsionam o equipamento (forças-motrizes).

7.2.1. Forças resistentes ao movimento

As resistências que se opõem ao movimento de um veículo são a resistência de rolamento, a resistência de rampa, a resistência de inércia e a resistência do ar.

A resistência de rolamento (R_R), aplicável somente em máquinas de pneus, é a força mínima que deve ser aplicada ao equipamento para iniciar o movimento sobre uma superfície plana, horizontal contínua e indeformável. Essa força provém do atrito interno gerado nos rolamentos dos eixos, e depende, também, do peso total do veículo. Estudos experimentais indicam que a força mínima para iniciar o movimento é em torno de 2% do peso total.

Existe, ainda, o fenômeno do afundamento que é a necessidade de vencer uma rampa ascendente. Determinou-se experimentalmente que o afundamento é responsável por grande parte da resistência ao movimento, estimando-se em 0,6% do peso total P , em toneladas, para cada centímetro de afundamento (a). Assim, a resistência de rolamento pode ser calculada a partir das Equações 13 e 14. O resultado é dado em quilogramas.

$$R_R = 0,02 \times P + 0,006 \times P \times a \quad (13)$$

$$R_R = 20 \text{ kg/t} \times P + 6 \text{ kg/t} \times P \times a \quad (14)$$

Reorganizando a Equação 12, tem-se as Equações 15, 16 e 17.



$$R_R = (20 + 6 \times a) \times P \quad (15)$$

$$(20 + 6 \times a) = K \quad (16)$$

$$R_R = K \times P \quad (17)$$

K é chamado de coeficiente de rolamento, e diferentes valores podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de K .

Terreno	Afundamento (cm)	K
Revestimento em asfalto ou concreto	0	20
Terra seca e firme	1,6	30
Terra seca e solta	3,2	40
Terra seca e arada	10	80
Aterros sem compactação	10	80
Areia solta e seca	13,3	100
Terra muito úmida e mole	23,3	160
Terra argilosa e muito úmida	26,6	180

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

A resistência de rampa (R_p), outra força que se opõe ao movimento, atua quando um equipamento se move em rampa, para cima, e a componente de seu próprio peso (R_p) contraria diretamente o movimento.

A resistência de rampa, em quilogramas, é dada pela Equação 18, onde P é o peso do equipamento em toneladas e i é a inclinação da rampa em %, com valor positivo em aclave e negativo em declive. Assim, o sinal da resistência é negativo na descida (assistência de rampa), e positivo na subida.

$$R_p = 10 \times P \times i \quad (18)$$

Já a resistência de inércia (R_i), surge toda a vez que o veículo sofre uma variação de velocidade (ΔV , em km/h), em um certo intervalo de tempo (t , em segundos). Ela é dada, em

quilogramas, pela Equação 19. O sinal será negativo quando ΔV for negativo, indicando desaceleração, e positivo se ΔV for positivo, quando há aceleração.

$$R_i = 28,3 \times P \times \frac{\Delta V}{t} \quad (19)$$

A última das forças resistentes ao movimento é a R_{ar} , dada pela Equação 20.

$$R_{ar} = \frac{K'}{13} \times S \times V^2 \quad (20)$$

Sendo K' o coeficiente de forma, S a área da seção normal à direção do movimento e V a velocidade de deslocamento. O valor de K' , para máquinas de obra, é de 0,07. Porém, como os veículos de obra têm velocidade máxima na ordem de 60 km/h, verifica-se que a resistência do ar será desprezível em face dos esforços tratores disponíveis no eixo motriz.

Após considerar as diferentes resistências, conclui-se que a soma de todas as resistências ($\Sigma R = R_R + R_p + R_i + R_{ar}$) que afetam o deslocamento de um veículo, em qualquer momento é dada pela Equação 21.

$$\sum R = K \times P + 10 \times i + 28,3 \times P \times \frac{\Delta V}{t} + \frac{K'}{13} \times S \times V^2 \quad (21)$$

É importante notar que, para que o movimento da máquina seja possível, a condição necessária será pela Equação 22.

$$E_R \geq \sum R \quad (22)$$

E_R é o esforço trator na roda motriz, e a condição necessária para iniciar o movimento se expressa na Equação 23.

$$E_R > \sum R \quad (23)$$

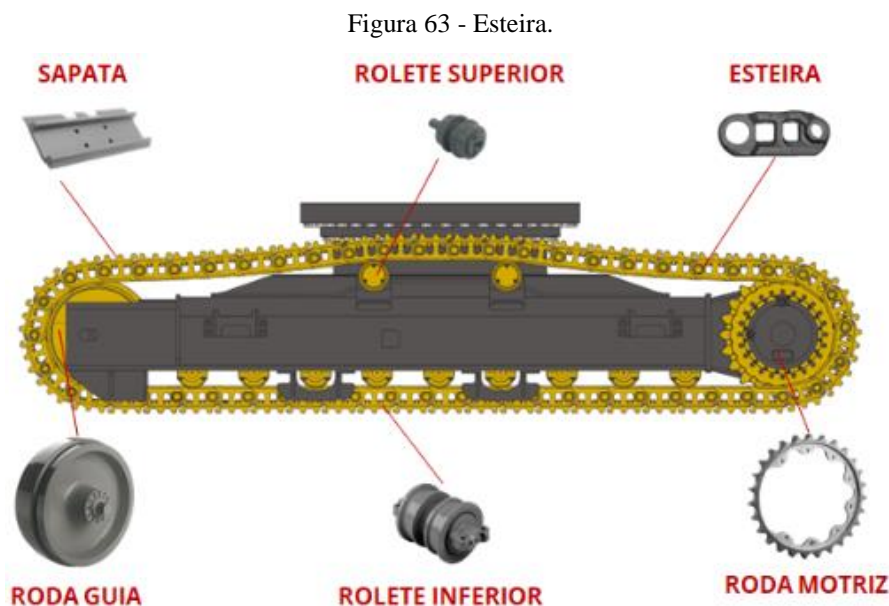
Por fim, se o veículo estiver em movimento, a condição dada pela Equação 24 assegura o deslocamento com o movimento uniforme. Essa é a primeira condição para o movimento.

$$E_R = \sum R \quad (24)$$

7.2.2. Condições de aderência

Dependendo das características do solo ou do terreno e do tipo das rodas motrizes (ou esteiras), pode existir maior ou menor aderência entre pneu (ou esteira) e terreno.

É importante entender onde se encontra a roda motriz em uma esteira, visto que se trata de um equipamento relativamente complexo. É possível observar os componentes de uma esteira na Figura 63.



Fonte: ITR. Disponível em: <<https://www.itrsa.com.br/site/como-e-o-processo-de-fabricacao-do-material-rodante-itr/>>. Acesso em: 08 set. 2023.

A roda guia é uma roda lisa cuja função é alinhar e dar tensão adequada as esteiras. Já a roda motriz é dentada e transmite o torque, proveniente da transmissão às esteiras propriamente ditas.

Dependendo da força de atrito (F_a) entre solo e equipamento, a aderência poderá ser reduzida. Logo, o patinamento inicia quando o esforço trator é maior do que a força de atrito. F_a pode ser obtida a partir da Equação 25, onde f é o coeficiente de aderência entre o pneu e o solo e P_m é o peso sobre a roda motriz ou peso aderente.

$$F_a = f \times Pm \quad (25)$$

A Tabela 13 mostra alguns valores para f .

Tabela 13 - Valores para o coeficiente de aderência

Natureza da pista	Coeficiente de Aderência (f)	
	Pneus	Esteiras
Pavimento de concreto	0,90	0,45
Terra seca e firme	0,55	0,90
Terra solta	0,45	0,60
Terra firme e úmida	0,45	0,70
Areia seca	0,20	0,30
Areia úmida	0,40	0,50

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

O peso sobre a roda motriz depende da distribuição de cargas no equipamento. Essa informação geralmente é fornecida pelos fabricantes de equipamentos nas especificações técnicas. Porém, na falta de dados do fabricante, é possível admitir, com o veículo carregado, que Pm corresponde a dois terços (66,6%) do peso total.

Para que haja aderência, é necessário que ocorra a condição imposta pela Equação 26, de acordo com a segunda condição do movimento. Se existirem, simultaneamente, as duas condições de movimento citadas, haverá a locomoção do equipamento, ou seja, o movimento de translação sobre o terreno.

$$E_r < F_a = f \times Pm \quad (26)$$

O movimento não se inicia se não ocorre o que diz a Equação 27, e não se mantém caso não seja satisfeita a condição da Equação 28.

$$\sum R < E_r < F_a = f \times Pm \quad (27)$$

$$\sum R \leq E_r \leq F_a = f \times Pm \quad (28)$$



7.2.3. Forças motrizes

As forças que impulsionam os equipamentos, vencendo as resistências opostas ao movimento, dependem em última análise das características dos motores com que são equipados.

Para o estudo das forças motrizes é necessário conhecer a potência desenvolvida pelo motor. Sabendo que a potência no volante (N_o) transmite-se para as rodas motrizes pelos órgãos de transmissão e que nessa transmissão haverá perdas por atrito nos mancais e engrenagem, a potência nas rodas (N_R) será dada pela Equação 29, em CVs.

$$N_R = N_o \times \eta \quad (29)$$

Sendo:

- η = coeficiente de rendimento mecânico da transmissão.
- $\eta = 0,80$ (para máquinas novas).
- $\eta = 0,60$ (para máquinas usadas).

A função básica da transmissão será a de reduzir o número de rotações do motor, no volante, para um número bem menor de rotações nas rodas motrizes e compatível com a velocidade de deslocamento do veículo numa certa marcha. A esta relação chama-se de Razão de Desmultiplicação (m), dada pela Equação 30.

$$m = \frac{n_o}{n_r} \quad (30)$$

Onde:

- n_o é o número de rotações do eixo motor.
- n_r é o número de rotações da roda motriz.

E_R é o esforço trator aplicado nas rodas motrizes de um equipamento e que impulsionam a máquina, vencendo as resistências opostas ao movimento. Ele pode ser calculado pela Equação 31.

$$E_R = 270 \times \frac{N_o \times \eta}{V} \quad (31)$$

Sendo V a velocidade, obtida pela Equação 32.

$$V = 0,377 \times R \times n_r \quad (32)$$

Onde R é o raio da roda, em metros, e n_r o número de rotações da roda motriz, em rpm.

A partir da manipulação dessas equações, é possível determinar o conjugado motriz disponível na roda motriz (C_R) em função da potência (N_R) e do no de rotações do motor no volante (n_o), sendo m a razão de desmultiplicação. A Equação 33 mostra como obter C_R , uma unidade de torque em kgfm.

$$C_R = 716 \times \frac{N_R}{n_o} \times m \quad \text{ou} \quad C_R = 716 \times \frac{N_o \times \eta}{n_o} \times m \quad (33)$$

7.3. PRODUTIVIDADE: TEMPO DE CICLO E RENDIMENTO

7.3.1. Tempo de ciclo

“Ciclo” consiste no conjunto de operações que um equipamento executa em um certo tempo, voltando em seguida à posição inicial para recomeçá-las.

Assim, o tempo de ciclo (t_c) consiste no intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do equipamento pelo ponto inicial. Ele consta de tempos fixos (t_f), que são os tempos gastos nas operações de carga, descarga, manobras e mudanças de marcha, e de tempos variáveis (t_v), que são aqueles gastos no transporte carregado ou vazio, que dependem da distância percorrida pelo equipamento.

Outro conceito importante é o tempo de ciclo mínimo ($t_{c_{\min}}$), a soma de todos os tempos elementares que resulte no menor tempo de ciclo em que a tarefa pode ser teoricamente executada, como mostra a Equação 34.

$$t_{c_{\min}} = \sum t_f + \sum t_v \quad (34)$$

Porém, na prática, o equipamento realiza paradas, que não são computadas no tempo de ciclo mínimo. Para isso, existe o tempo de ciclo efetivo ($t_{c_{ef}}$), aquele gasto realmente pelo equipamento para executar o ciclo de operação, considerando os tempos de parada (t_p). A Equação 35 mostra o cálculo.



$$tc_{ef} = \sum t_f + \sum t_v + \sum t_p \text{ ou } tc_{ef} = tc_{min} + \sum t_p \quad (35)$$

O último conceito referente ao tempo de ciclo é o chamado tempo disponível, que consiste no tempo em que o equipamento está à disposição para a execução da tarefa no prazo, ou seja, o turno de trabalho fixado.

7.3.2. Fator de eficiência ou rendimento

O primeiro conceito que se refere ao rendimento é a produção (Q). Ela consiste no volume escavado, transportado e descarregado na unidade de tempo, representado pelo produto do volume solto da caçamba (C) pelo número de ciclos (f) efetuados na unidade de tempo (frequência). As Equações 36, 37 e 38 mostram como obter a produção.

$$Q = C \times f \quad (36)$$

$$f = \frac{1}{tc} \quad (37)$$

$$Q = C \times \frac{1}{tc} \quad (38)$$

A produção máxima do equipamento é calculada pela Equação 39.

$$Q_{max} = C_{max} \times \frac{1}{tc_{min}} \quad (39)$$

A produção efetiva é calculada pela Equação 40.

$$Q_{ef} = C_{max} \times \frac{1}{tc_{ef}} \quad (40)$$

Já o fator de rendimento ou eficiência (E) pode ser calculado pelas Equações 41, 42, 43 e 44.

$$E = \frac{Q_{ef}}{Q_{max}} \quad (41)$$

$$E = \frac{C_{max} \times \frac{1}{tc_{ef}}}{C_{max} \times \frac{1}{tc_{min}}} \quad (42)$$

$$E = \frac{tc_{min}}{tc_{ef}} = \frac{tc_{min}}{tc_{min} + \sum t_p} \quad (43)$$

$$E = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_p}{tc_{min}}} \quad (44)$$

Portanto, o rendimento da operação é função direta dos tempos de parada. Se o $\sum t_p = 0$, tem-se $E = 1$ ou 100%, e o tempo de ciclo seria mínimo (tc_{min}). Se o $\sum t_p \neq 0$, tem-se $E < 1$ ou $< 100\%$, e o tempo de ciclo seria o efetivo (tc_{ef}).

Dessa forma, o aumento da Produção (Q) será conseguido pela diminuição do somatório dos tempos de parada. Sempre que se tratar em produção, esta será a Q_{ef} que é a que interessa na prática. Ela é expressa em volume medido no corte com sua massa específica natural (γ_n), porque a terraplanagem é paga pelo volume geométrico do corte. As Equações 45, 46 e 47 mostram o cálculo da produção efetiva.

$$Q_{ef} = C \times F_E \times \frac{1}{tc_{ef}} \quad (45)$$

$$E = \frac{tc_{min}}{tc_{ef}}; \frac{1}{tc_{ef}} = \frac{E}{tc_{min}} \quad (46)$$

$$Q_{ef} = C \times F_E \times \frac{1}{tc_{min}} \times E \quad (47)$$

Onde:

- Q_{ef} = produção efetiva medida no corte (m^3/h).
- C = capacidade da caçamba em volume solto (m^3).
- F_E = fator de empolamento.
- tc_{min} = tempo de ciclo mínimo, em horas.
- E = coeficiente de rendimento da operação.



Para trabalhar com o tempo em minutos, que é o mais usual, e obter a produção em m^3/h , é necessário multiplicar o numerador por 60, pois 1 minuto = 1/60 hora, como mostra a Equação 48.

$$Q_{\left(\frac{m^3}{h}\right)} = C_{(m^3)} \times F_E \times \frac{60}{tc_{\min}(\text{minutos})} \times E \quad (48)$$

7.3.3. Aumento da produtividade

Analisando-se a equação básica da produção, visando o aumento da produtividade, verificam-se três parâmetros que influem na produção:

- Capacidade da caçamba: para conseguir maior produção, haverá necessidade do enchimento total da caçamba, desde que a carga total não ultrapasse a carga máxima prevista pelo fabricante.
- Tempo de ciclo mínimo (tc_{\min}): $tc_{\min} = \sum t_f + \sum t_v$.
- Coeficiente de Rendimento: $E = \frac{N^\circ \text{ de horas de trabalho efetivo do equipamento}}{N^\circ \text{ de horas disponíveis do equipamento}}$.

Uma máquina pode executar um certo número de ciclos durante algumas horas sem que haja paradas, mas com o decorrer do tempo haverá paradas devidas a causas mais diversas, de maneira que, na realidade, sempre $E < 1$.

As paradas podem ser causadas por diversos fatores, como defeitos mecânicos, más condições meteorológicas, más condições do solo, falta de habilidade do operador, organização deficiente dos serviços e esperas devidas a outros equipamentos.

Para melhorar a produtividade, é preciso combater estas causas. Para condições normais, levando-se em conta esses fatores adversos, admite-se que:

- Para máquinas de esteiras: em cada 60 minutos de máquina à disposição, 50 minutos são de trabalho efetivo, ou seja, $E = 0,83$.
- Para máquinas de pneus: em cada 60 minutos de máquina à disposição, 45 minutos são de trabalho efetivo, ou seja, $E = 0,75$.

Existem alguns princípios gerais para o aumento da produtividade:

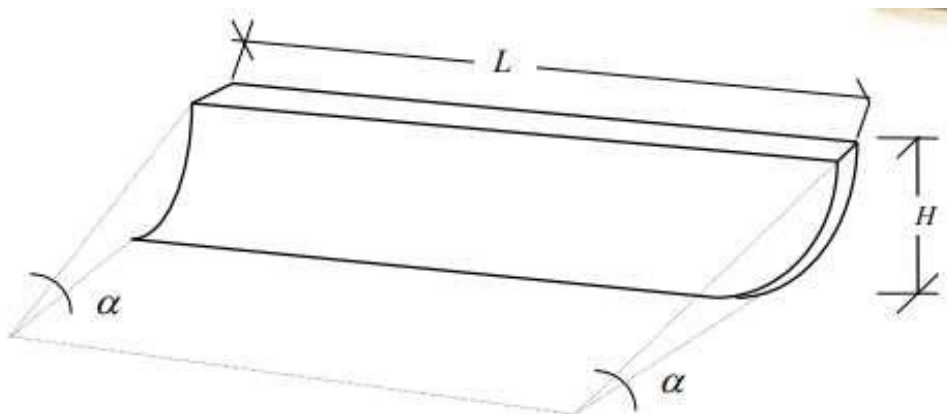
- Aproveitar, sempre que possível, a assistência de rampa, quer na escavação, quer no transporte, para aumentar a velocidade do equipamento, com economia de potência consumida na operação (economia de combustível).
- Utilizar, de preferência, velocidades constantes em trechos retos para eliminar as Resistências de Inércia. Evitar as acelerações e desacelerações bruscas que só consomem energia (combustível).
- Quando há ciclos combinados de duas máquinas haverá necessidade de sincronismo para evitar esperas necessárias.
- As unidades básicas, das quais depende a produção (trator “*pusher*”, carregadeiras), devem ser máquinas bem dimensionadas à tarefa e, sobretudo, em bom estado mecânico.

7.4. PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

7.4.1. Unidades escavo-empurradoras

A Equação 45 demonstra que o cálculo da produção de um equipamento precisa de uma informação importante: sua capacidade (C). Para as unidades escavo-empurradoras, existem dois processos para calcular a capacidade de suas lâminas. O primeiro de deles necessita o valor do ângulo α , para cada tipo de solo, como mostra a Figura 64.

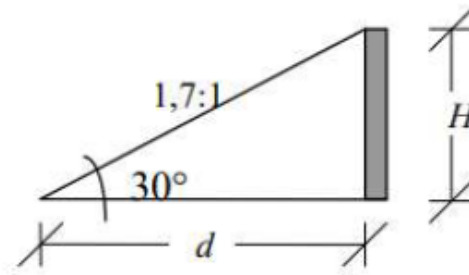
Figura 64 - Fatores que influenciam a capacidade da lâmina.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

O processo de cálculo para solos arenosos é baseado no ângulo de talude natural para esse tipo de solo, como mostra a Figura 65.

Figura 65 - Ângulo de talude para solos arenosos.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

A partir disso, o cálculo é realizado por meio das Equações 49, 50 e 51.

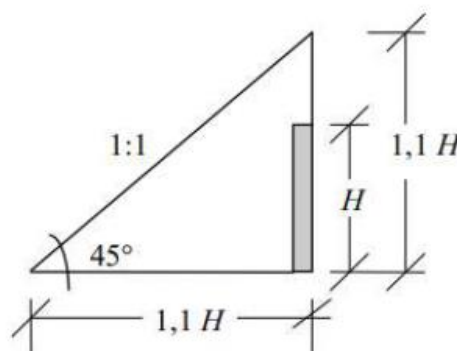
$$\tan 30^\circ = \frac{H}{d} = 0,58 \quad (49)$$

$$d = \frac{H}{0,58} \quad (50)$$

$$C = V = \frac{H}{0,58} \times \frac{H}{2} \times L = 0,86 \times H^2 \times L \quad (51)$$

Já para solos argilosos, o ângulo é diferente, conforme a Figura 66. Nesse caso, a altura do volume de terra pode superar em 10% a altura H da lâmina, visto que o material apresenta elevada coesão.

Figura 66 - Ângulo natural de talude em solos argilosos.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

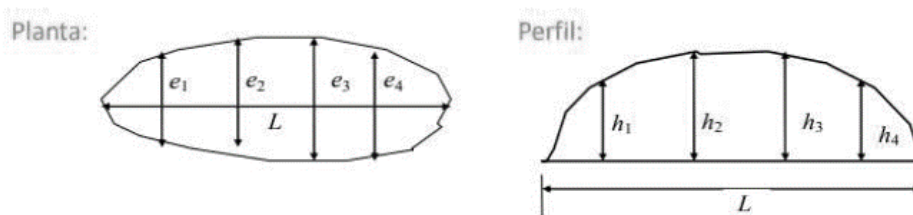
Os cálculos são semelhantes, como mostram as Equações 52 e 53.

$$\tan 45^\circ = \frac{1,1H}{1,1H} = 1 \quad (52)$$

$$C = V = 1,1H \times \frac{1,1H}{2} \times L = 0,6 \times H^2 \times L \quad (53)$$

O segundo processo de cálculo consiste em escavar uma carga completa da lâmina, levando-a a uma área plana. Em seguida, levanta-se a lâmina, empurrando o material para frente. Isso formará um pequeno monte de terra, com forma em planta e perfil como mostra a Figura 67.

Figura 67 - Estimativa de capacidade da lâmina.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

Com isso, faz-se a medida de diversas espessuras e alturas procurando-se as médias, conforme as Equações 54, 55 e 56.

$$e = \frac{e1 + e2 + e3 + e4}{4} \quad (54)$$

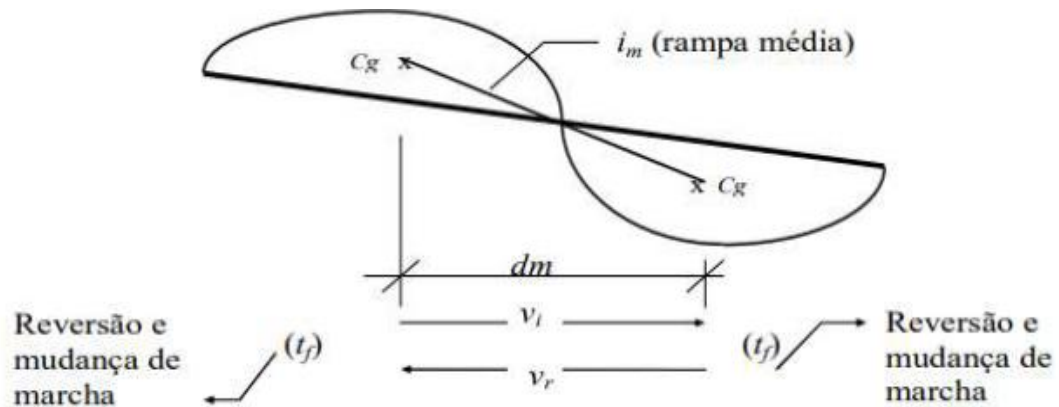
$$h = \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4} \quad (55)$$

$$C = \frac{3}{8} \times e \times h \times L \quad (56)$$

Já para o cálculo do tempo de ciclo mínimo das escavo empurradoras admite-se uma distância média de percurso, dada pela distância do centro de gravidade (*cg*) do corte até o *cg* do aterro, ou seja, *dm*, com rampa média *im*. A Figura 68 ilustra a situação.

Os tempos fixos (*tf*) são representados por duas mudanças de direção (reversão) e duas mudanças de marcha. O tempo fixo adotado para tratores com transmissão mecânica é 0,3 min, e para automáticos, 0,05 min.

Figura 68 - Determinação da rampa média.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

Os tempos variáveis são determinados por meio da Equação 57.

$$\sum t_v = \frac{dm \times 0,06}{v_i} + \frac{dm \times 0,06}{v_r} \quad (57)$$

A dm deve ser calculada em metros, e a velocidade em km/h. O resultado é apresentado em minutos.

O tempo de ciclo mínimo calculado pela Equação 34 pode ser expresso pela Equação 58, utilizada para equipamentos com transmissão mecânica, e pela Equação 59, para equipamentos com transmissão automática.

$$t_{c_{\min}(\text{minutos})} = 0,3 \text{ min} + \frac{dm_{(\text{metros})} \times 0,06}{v_{i(\frac{\text{km}}{\text{h}})}} + \frac{dm_{(\text{metros})} \times 0,06}{v_{r(\frac{\text{km}}{\text{h}})}} \quad (58)$$

$$t_{c_{\min}(\text{minutos})} = 0,05 \text{ min} + \frac{dm_{(\text{metros})} \times 0,06}{v_{i(\frac{\text{km}}{\text{h}})}} + \frac{dm_{(\text{metros})} \times 0,06}{v_{r(\frac{\text{km}}{\text{h}})}} \quad (59)$$

Esses tempos de ciclo se referem à condição de rampa $i = 0\%$, ou seja, terreno horizontal. Se houver declives, a produção será corrigida de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 - Incremento da produção.

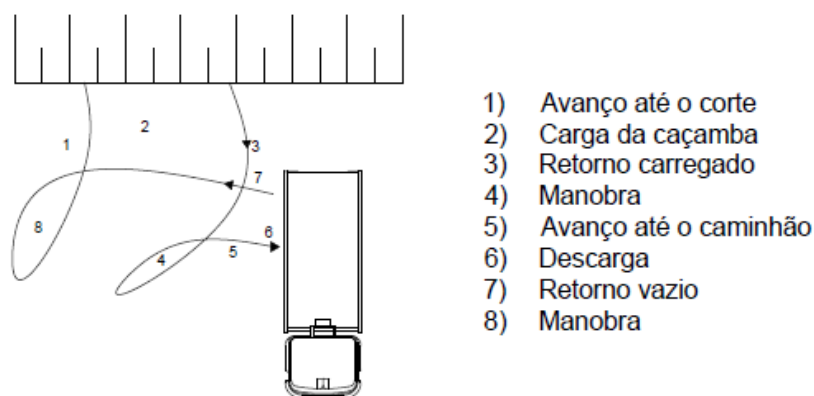
Rampa Média (i %)	Incremento da Produção
0	1,00
5	1,06
10	1,12
15	1,18
20	1,22
25	1,25
30	1,26

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

7.4.2. Unidades escavo-carregadeiras

O ciclo de uma carregadeira (esteiras ou pneus) pode ser decomposto nos seguintes movimentos elementares, como mostra a Figura 69, quando trabalhando na carga de um veículo transportador.

Figura 69 - Ciclo de operação de uma carregadeira.



Fonte: Adaptado de Ricardo e Catalani (2007).

Nesses movimentos elementares há tempos variáveis, que dependem diretamente da distância percorrida e tempos fixos, que permanecem mais ou menos constantes no decorrer de muitos ciclos.



Os tempos fixos incluem: tempo de carga da caçamba, tempos de manobras e mudanças de marchas, tempo de descarga da caçamba. Os tempos variáveis dependem das distâncias $d1$ (avanço até o corte) e $d2$ (avanço até o caminhão), que são no mínimo $d1 = d2 = 3,0$ m; logo, os tempos gastos nestes percursos são função das velocidades das marchas utilizadas pelo operador.

Para as carregadeiras de esteiras o tempo de ciclo inclui: carga, manobra, descarga, bem como o tempo de transporte mínimo definido pelas distâncias $d1$ e $d2$, percorridas em direção ao talude e ao veículo de transporte, respectivamente. O tempo de carga varia conforme o material a ser escavado:

- Agregados de granulometria uniforme: 0,03-0,05 min.
- Agregados misturados e úmidos: 0,04-0,06 min.
- Argila úmida: 0,05-0,07 min.
- Terra, matacões, raízes: 0,05-0,20 min.
- Materiais concrecionados: 0,10-0,20 min.

O tempo de manobra inclui o tempo básico de transporte (ida e retorno) determinado pelas distâncias $d1$ e $d2$, correspondentes ao espaço mínimo percorrido para o operador colocar o equipamento na posição de corte ou de descarga, além de quatro mudanças de direção e o tempo de giro. Para um operador eficiente a soma desses tempos atinge 0,22 minutos.

O tempo de transporte é o tempo gasto no movimento da máquina para aproximar-se do local de carga e do veículo de transporte, bem como os tempos de retorno. Ele pode ser estimado admitindo-se que as distâncias mínimas a percorrer sejam $d1 = d2 = 3,0$ m e as velocidades de ida e retorno sejam respectivamente 5,0 km/h e 8,0 km/h, resultando em 0,12 minutos, que já está incluído no tempo estimado de manobra.

O tempo de descarga da caçamba em caminhões oscila entre 0,04 e 0,07 min. Pode ocorrer, ainda, um tempo de espera da carregadeira, enquanto aguarda a manobra de posicionamento da unidade de transporte. Esse tempo de posicionamento é bastante variável já que depende em grande parte das condições vigentes no local de carga. Havendo boa coordenação entre as unidades poderá ser estimado em 0,10 min.

O tempo de ciclo total para a carregadeira de esteiras, na carga de caminhões com terra, será, para uma carga de argila úmida, de 0,33 min.

Para carregadeira de pneus, o tempo de ciclo é de 0,45 a 0,60 min, devendo ser corrigido, a partir de variações provenientes das condições reais de trabalho, de acordo com os seguintes valores:

- Materiais:
 - Misturados (várias granulometrias): + 0,02.
 - Até 3 mm (1/8"): + 0,02.
 - De 3 mm (1/8") a 20 mm (3/4"): - 0,02.
 - De 20 mm (3/4") a 150 mm (6"): 0.
 - De 150 mm (6") em diante: + 0,03 ou mais.
 - No corte ou fragmentado: + 0,04 ou mais.
- Materiais empilhados:
 - De 3 m (10') de altura ou mais: 0.
 - De 3 m (10') de altura ou menos: + 0,01.
 - Descarga por caminhão: + 0,02.
- Diversos:
 - Mesmo proprietário das carregadeiras e caminhões até - 0,04 min.
 - Caminhões de terceiros até + 0,04.
 - Operação contínua até - 0,04.
 - Operação descontínua até + 0,04.
 - Descarga em caçamba reduzida até + 0,04.
 - Descarga em equipamento frágil até + 0,05.

A estimativa de produção será feita através da fórmula geral de produção, pela Equação 60.

$$Q_{\left(\frac{m^3}{h}\right)} = C_{(m^3)} \times f \times F_E \times \frac{60}{t_{c_{\min}(\text{minutos})}} \times E \quad (60)$$



Essa equação, similar à Equação 48, inclui o fator f , que indica o fator de carga da caçamba. Ele está ligado à natureza do material a ser carregado, levando-se em conta o volume de vazios existentes entre os fragmentos do material e que dependerá da sua granulometria.

Além disso, a força de desagregação e a presença de dentes na borda da caçamba são fatores que afetam a carga. O volume solto do material contido na caçamba será obtido multiplicando-se a sua capacidade pelo fator de carga.

Alguns fatores de carga podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 - Fatores de carga.

Fator de carga da caçamba	f
Agregados úmidos misturados	
Agregados uniformes até 3mm (1/8'')	0,95 – 1,00
3mm (1/8'') até 9mm (3/8'')	0,90 – 0,95
12mm (1/2'') até 20mm (3/4'')	0,85 – 0,90
24 mm (1'') ou acima	0,85 – 0,90
Rochas fragmentadas	
Bem fragmentada	0,80 – 0,95
Regularmente fragmentada	0,75 – 0,90
Bem fragmentada	0,60 – 0,75
Outros	
Mistura de terra e pedras	1,00 – 1,20
Argila úmida	1,00 – 1,10
Terra, matacões e raízes	0,80 – 1,00
Material concrecionado	0,80 – 0,95

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

7.4.3. Escavadeiras

O ciclo de uma escavadeira compreende vários movimentos elementares, que são:

- Carga da caçamba (tempo fixo).
- Giro carregado (tempo variável).
- Descarga (tempo fixo).

- Giro vazio (tempo variável).

Outro fator que afeta o desempenho dessas unidades é a altura ótima do corte. Deverá haver uma relação entre o volume da caçamba (capacidade) e a altura do talude de terra que vai ser escavado. A utilização da altura ótima do corte, condicionada pela capacidade da caçamba, resulta no aumento da produção do equipamento.

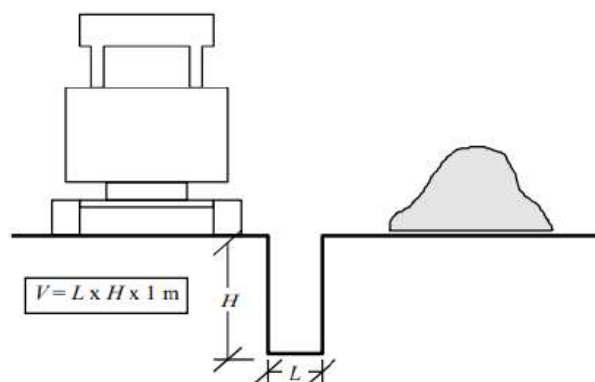
A estimativa de produção de uma escavadeira pode ser calculada pela fórmula geral, correspondente à Equação 60. O rendimento médio (E) para essas unidades é de 0,6.

Uma situação importante é o trabalho de retroescavadeiras em valas. Quando as retroescavadeiras (“*back-hoe*”) trabalham em valas de dimensões prefixadas pode-se exprimir a produção em metros lineares executados de vala por hora ou por dia. Sendo Q a produção da escavadeira (medida no corte) e V_o o volume por metro linear de vala, a produção em metros lineares de vala (MV) será calculada pela Equação 61.

$$MV_{\left(\frac{m}{h}\right)} = \frac{Q}{V} \quad (61)$$

Admitindo-se que o terreno seja autoportante, isto é, permanece estável quando cortado na vertical, ou próximo dela, a colocação de tubulações exige a abertura de valas com as larguras mínimas L indicadas na Tabela 16, de acordo com a “*American Concrete Pipe Association*”, para tubos de concreto, como ilustra a Figura 70. Nela, o volume linear de escavação V é calculado a partir das dimensões de L e da profundidade H da vala.

Figura 70 - Escavação de vala.



Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).



Tabela 16 - Valores de L .

L (m)	Diâmetro do Tubo	
	polegadas	cm
0,55	6	15
0,76	12	30
1,03	18	46
1,25	24	61
1,49	30	76
1,70	36	91
1,92	42	106
2,13	48	121
2,54	60	152
3,05	72	183
3,47	84	213

Fonte: RICARDO e CATALANI (2007).

7.4.4. Unidades transportadoras

São utilizadas em operação conjugada com as unidades escavo- carregadoras, realizando as operações básicas de transporte e descarga. Logo, deve haver sincronismo entre as unidades, isto é, haverá sempre um veículo sendo carregado pela escavo-carregadora. Em outras palavras, a produção da unidade escavo-carregadora será igual a capacidade de produção da frota de transporte.

Sendo a frota de transporte constituída de N veículos de capacidade C cujo tempo de ciclo seja tc , a produção se calcula mediante a Equação 62.

$$Q_{carregadeira} = N \times C \times F_E \times \frac{1}{tc} \times E \quad (62)$$

Admitindo-se que a capacidade solta da caçamba da unidade de transporte C seja igual a n vezes a capacidade solta da caçamba da carregadeira c , as Equações 63, 64, 65, 66 e 67 mostram o processo de cálculo.

$$C = n \times c \quad (63)$$

$$\frac{c}{tc} = \frac{N \times n \times c}{T_c} \quad (64)$$

$$N = \frac{T_c}{n \times tc} \quad (65)$$

$$n \times tc = t_{carga} \quad (66)$$

$$N = \frac{T_c}{t_{carga}} = \frac{\text{Tempo de Ciclo de Transporte (E = 100\%)}}{\text{Tempo de Carga do Veículo de Transporte}} \quad (67)$$

Sendo N o número máximo de unidades de transporte para cada carregadeira ou escavadeira. Admite-se $E = 100\%$, pois se fosse adotado $E < 100\%$ para um dos equipamentos, no ciclo em que não houvesse esperas (e isto pode ocorrer durante muitos ciclos), um dos equipamentos, a carregadeira ou os veículos, teriam espera desnecessária.

Deve haver adequação entre a capacidade da caçamba da unidade carregadora e a da transportadora, e o número n deve estar compreendido entre 3 e 6. Com duas caçambadas, provavelmente devido à rapidez da carga, poderá haver espera no posicionamento da unidade transportadora seguinte e, com mais de seis caçambadas, o tempo de carga cresce inutilmente, fazendo com que a unidade transportadora aumente desnecessariamente o seu tempo de ciclo.

Se N não resultar em um número inteiro, deve ser utilizado o número inteiro imediatamente inferior ou superior. Se arredondado para menos, haverá pequena falta de unidades transportadoras e a carregadeira terá que esperar. A produção global será governada pela frota de transporte. Se arredondado para mais, haverá espera da unidade de transporte, e a produção será governada pela produção máxima da carregadeira.

Assim, a produção Q é calculada pela Equação 68.

$$Q = N \times q ; N = \frac{Q}{q} \quad (68)$$

Sendo Q a produção da carregadeira; q produção da unidade de transporte individual e N número de unidades de transporte.

O tempo de ciclo das unidades de transporte é formado por:



- Tempo de carga da unidade (tempo fixo).
- Tempo de transporte carregado (tempo variável).
- Tempo de manobra e descarga (tempo fixo).
- Tempo de retorno vazio (tempo variável).
- Tempo de posicionamento para carga (tempo fixo).

7.4.5. Unidades aplainadoras

Unidades aplainadoras são máquinas para o acabamento final da terraplanagem, de modo que seu emprego é muito diversificado. Por isso, é impraticável a determinação da estimativa de produção, a não ser para tarefas simples como espalhamento e regularização de camadas para a compactação.

O cálculo da produção depende do tempo de ciclo na operação de espalhamento, calculado pela Equação 69.

$$T = \left(\frac{L_i \times 0,06}{v_i} + \frac{L_r \times 0,06}{v_r} \right) \times \frac{N}{E} \quad (69)$$

Sendo:

- T = tempo de ciclo na operação de espalhamento (min).
- v_i = velocidade do trajeto de ida (espalhamento) (km/h) (fase produtiva).
- v_r = velocidade do trajeto de volta (km/h) (não-produtiva).
- L_i = distância à frente (m).
- L_r = distância percorrida a ré (m).
- N = nº de passadas para executar a tarefa de regularização de cada camada.
- E = rendimento ($E = 50/60 = 0,83$ em condições normais).

Assim, a produção é calculada pela Equação 70.

$$Q_{\left(\frac{m^3}{h}\right)} = \frac{L \times C \times e \times 60}{T} \quad (70)$$

Sendo L a largura (m), C o comprimento (m) da área a ser regularizada, com a camada de espessura e (m).

7.4.6. Unidades compactadoras

A produção das unidades compactadoras pode ser estimada conhecendo-se os seguintes elementos:

- l = largura útil do rolo (m).
- e = espessura da camada solta (cm).
- v = velocidade do equipamento (km/h).
- N = número de passadas para atingir o grau de compactação, por camada.
- E = rendimento ($E = 0,50$).

A Equação 71 mostra o cálculo da produção.

$$Q_{\left(\frac{m^3}{h}\right)} = \frac{10 \times l \times e \times v \times E \times F_E}{N} \quad (71)$$

7.5. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE TERRAPLANAGEM

Os fatores que influenciam na escolha de uma equipe de terraplanagem, são:

- Fatores naturais.
- Fatores de projeto.
- Fatores econômicos.

7.5.1. Fatores naturais

São aqueles que dependem das condições no local de trabalho, tais como: topografia mais ou menos acidentada, natureza dos solos existentes, presença de lençol freático, regime de chuvas, etc.

A natureza dos solos é sempre o primeiro fator considerado no estudo da seleção do equipamento, devendo ser determinadas as principais características físicas do solo, como:

- Granulometria.
- Resistência ao rolamento (K).
- Capacidade de suporte.
- Umidade natural.
- Posição do lençol freático.

Quando os solos locais apresentam baixa capacidade de suporte, devido ao excesso de umidade ou à presença de matéria orgânica e resistências de rolamento muito elevadas, é necessário usar máquinas de esteiras (que têm boa flutuação e aderência).

Em casos extremos, como solos argilosos com matéria orgânica, muito úmidos (solos turfosos) ou com baixa capacidade de suporte que não suportam nem o peso de trator de esteiras, recomenda-se o uso de escavadeiras “*Drag-Line*”.

A topografia resulta em rampas, aclives ou declives, mais ou menos pronunciados. É um fator importante, pois certos equipamentos não conseguem vencer rampas, seja por falta de potência ou por falta de aderência, ou ainda por falta de segurança em rampas acentuadas, impedindo sua utilização.

Outro fator importante é o regime de chuvas, pois pequenas precipitações influem negativamente na produtividade dos equipamentos e por conseguinte no custo das operações. Em regiões com precipitações intensas maiores que 3.000 mm/ano, não é recomendado usar máquinas de pneus, apenas de esteiras.

7.5.2. Fatores de projeto

São representados por:

- Volume de terra a ser movida.
- Distâncias de transporte.
- Rampas.
- Dimensões da plataforma.

O volume a ser movido deve ser considerado para a escolha do equipamento a ser utilizado porque volumes grandes levam a um faturamento elevado, permitindo emprego de máquinas em quantidade e qualidade, exigindo grandes investimentos. Já volumes pequenos demandam equipamentos de menor produtividade e menor custo de aquisição.

A distância de transporte é o fator que, se considerado isoladamente, é o mais importante na seleção dos equipamentos. Sabe-se que os tempos variáveis, que dependem das distâncias de transporte, são inversamente proporcionais à produção. Simultaneamente, grandes distâncias geram maiores custos para a obra.

Para distâncias médias pequenas (< 50 m), devem ser empregadas máquinas de esteiras com lâmina ($V < 10$ km/h). Para distâncias médias maiores que 100 metros, o tempo de ciclo do trator de lâmina aumenta bastante, diminuindo a produção.

7.5.3. Fatores econômicos

Esses fatores podem ser resumidos no custo unitário de trabalho.

Em um mercado de trabalho competitivo, em que as obras são licitadas quase exclusivamente mediante critérios de custo, torna-se óbvia a importância da seleção correta do equipamento que conduza aos menores preços unitários.

É necessário verificar o desempenho de várias equipes diferentes, para se concluir, com segurança, qual a mais econômica.

7.6. DIMENSIONAMENTO DE EQUIPE

Após a seleção dos equipamentos mais indicados para realizar economicamente a tarefa, será necessário determinar o número de unidades capazes de cumprir o prazo fixado para a tarefa ou verificar se o prazo fixado será ou não cumprido.

É possível determinar a produção diária média necessária pela Equação 72.

$$Qm_{\left(\frac{m^3}{dia}\right)} = \frac{V}{P} \quad (72)$$

Sendo V é o volume de terra do projeto e P é o prazo de execução, em dias.

Sabendo-se que uma máquina tem a produção média individual estimada em Q (m^3/h), para o turno diário t estabelecido, a sua produção diária será dada pela Equação 73.

$$Qd_{\left(\frac{m^3}{dia}\right)} = Q \times t \quad (73)$$

O número mínimo de unidades (n) que devem ser empregadas para garantir o cumprimento do prazo fixado é calculado a partir da Equação 74.



$$n = \frac{Qm}{Qd} = \frac{Qm}{Q \times t} \quad (74)$$

Após a determinação de n , é necessário calcular o custo unitário da equipe de n equipamentos. Isso serve para comparar o preço de equipes distintas e escolher a melhor opção para a obra.

Para saber qual é a equipe mais econômica, é necessário dimensionar cada uma delas. Ou seja, calcular quantos equipamentos de cada seriam necessários em cada caso e quanto isso iria custar.

Um exemplo é uma equipe composta por carregadeiras e caminhões. A carregadeira escava o material e o coloca no caminhão. O caminhão leva o material até o destino. Assim, uma carregadeira pode trabalhar com mais de um caminhão: enquanto um caminhão está transportando o material, outro está sendo carregado no local de escavação.

Para realizar o dimensionamento, existem dois conceitos importantes, o custo unitário e a produção total da equipe. O custo unitário é o custo por volume produzido (R\$/m³). Ou seja, é o custo pago por todos os equipamentos da equipe por hora (R\$/h) dividido pela produção total da equipe em m³/h. A produção total da equipe é a produção individual do equipamento multiplicada pelo número de equipamentos usados.

O custo unitário de uma equipe pode ser determinado a partir dos seguintes passos:

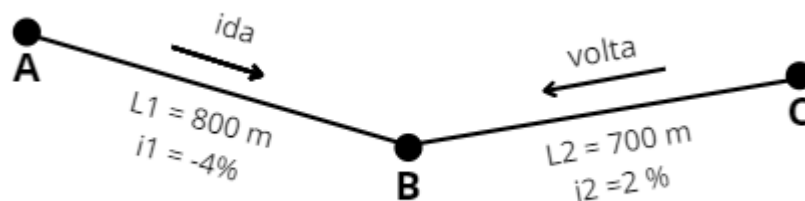
- Passo 1: achar o tempo de ciclo.
- Passo 2: calcular a produção (Q) individual do equipamento.
- Passo 3: calcular a produção média (Qm) necessária para cumprir o prazo.
- Passo 4: dimensionar a equipe calculando o número mínimo de unidades de cada equipamento.
- Passo 5: calcular a produção total da equipe.
- Passo 6: calcular o custo unitário.

7.7. EXERCÍCIO

Calcular o custo unitário para a realização de um serviço de terraplanagem de volume (no corte) avaliado em 600.000 m³, no prazo de seis meses. Considere a equipe formada por

um caminhão basculante fora de estrada e uma retroescavadeira. O fator de empolamento do solo é $F_E = 0,8$. O trajeto em questão é dividido em dois trechos, A e B, como mostra a Figura 71.

Figura 71 - Exercício de cálculo de custos de terraplanagem.



Fonte: Autores.

As velocidades do caminhão são:

- Trecho AB: 45 km/h.
- Trecho BC: 12 km/h.
- Trecho CB: 48 km/h.
- Trecho BA: 19 km/h.

Para a retroescavadeira, considerar:

- Capacidade = $1,3 \text{ m}^3$.
- Tempo de ciclo (t_c) = 0,8 min.
- Fator de eficiência = 0,75.
- Custo = R\$160/h.

Para o caminhão:

- Capacidade $C = 12 \text{ m}^3$.
- Tempo fixo = 1,6 min.
- Fator de eficiência = 0,75.
- Custo = R\$285/h.

Resposta: R\$5965,00/h.

8. ESTUDO ECONÔMICO DOS EQUIPAMENTOS

Os custos que entram na composição do custo horário de utilização dos equipamentos são classificados em:

- Custos de Propriedade.
- Custos de Operação.
- Custo de Manutenção.
- Benefício e Despesas Indiretas (BDI).

Os tópicos deste capítulo irão contextualizar cada um deles. As informações foram retiradas do livro “Manual Prático de Escavação - Terraplanagem e Escavação de Rocha” de Ricardo e Catalani (2007).

8.1. CUSTOS DE PROPRIEDADE

Custos de propriedades são fixos, e configuram as despesas decorrentes do simples ato de possuir a máquina, ainda que ela não seja utilizada. São provenientes da ação do tempo e do desgaste físico devido à utilização da máquina (denominado de depreciação ou perda de valor). A depreciação de propriedade pode ser contábil ou econômica.

A depreciação contábil consiste na diminuição do valor contábil dos bens do ativo, resultante do desgaste pelo uso, da ação do tempo e obsolescência normal. O Imposto de Renda permite a dedução parcial dessa despesa em parcelas anuais, em número que depende da vida útil fixada àquela máquina.

Para máquinas em geral, durante 5 anos, o valor é de 20% ao ano, e para equipamentos rodoviários, em 4 anos, a depreciação corresponde à 25% ao ano. Ao fim de 5 ou 4 anos o valor contábil será zero e a máquina estará totalmente depreciada contabilmente.

A depreciação econômica está ligada ao conceito de vida útil econômica, que corresponde ao período de tempo em que o equipamento opera de maneira econômica, isto é, desde que o faturamento produzido pelo seu trabalho seja suficiente para, ao menos, equilibrar todas as despesas.



A depreciação econômica não é encarada como um custo, mas sim como a formação de uma fonte de fundos para a substituição do equipamento desgastado.

Para calcular a depreciação, é preciso entender o conceito de valor inicial (V_0), que corresponde a despesas de aquisição, como:

- Preço de venda à vista, com impostos.
- Despesas de financiamento, se a compra é a prazo.
- Fretes, armazenamento e seguros.

Além deste, existe o valor residual (V_r), que é valor de revenda no fim de sua vida útil (V_r mínimo = valor de sucata). Esse valor está compreendido entre 10 a 20% do valor inicial (V_0), considerando a economia estável. Quando o regime é inflacionário, $V_r = 0$.

Assim, a depreciação horária Dh é dada pela Equação 75.

$$Dh = \frac{V_0 - V_r}{H} \quad (75)$$

Sendo V_0 o valor inicial, V_r o valor residual e H a vida útil do equipamento, em horas.

Sendo n a vida útil em anos e assumindo a como o número de horas de utilização efetiva da máquina por ano, a depreciação horária pode ser expressa segundo a Equação 76.

$$Dh = \frac{V_0 - V_r}{a \times n} \quad (76)$$

Para as principais máquinas usadas na terraplanagem, normalmente, assume-se o valor de 2000 h/ano. Para equipamentos auxiliares, podem ser adotados valores inferiores como 1700 h/ano ou 1800 h/ano, como no caso dos rolos compactadores.

A depreciação (valor residual) pode ser calculada pelo método exponencial, a partir da Equação 77.

$$V_r = V_0(1 - R)^n \quad (77)$$

Sendo R a taxa de depreciação, que tem que ser pesquisada no mercado.

Para sanar a ausência da aplicação dos juros sobre o capital investido, costuma-se admitir a incidência de juros simples sobre o investimento médio (I_m), que seria um valor intermediário entre os valores inicial (V_0) e residual (V_r), ao mesmo tempo em que utiliza a depreciação linear. Esse valor é dado pela Equação 78.

$$I_m = (V_0 - V_r) \times \frac{n + 1}{2n} + V_r \quad (78)$$

Para o cálculo dos juros horários (J_h), admitindo-se uma taxa de juros anual (j), utiliza-se a Equação 79.

$$J_h = \frac{I_m \times j}{a} \quad (79)$$

Assim, o custo de propriedade, em R\$/h, é calculado pela Equação 80.

$$C_p = D_h + J_h \quad (80)$$

8.2. CUSTOS DE OPERAÇÃO

São os custos que ocorrem somente quando o equipamento é operado para realizar algum trabalho e guardam certa proporcionalidade com as horas de uso do equipamento; por isso são denominados custos variáveis. Os principais são:

- Combustíveis.
- Lubrificantes.
- Graxa lubrificante.
- Custo de filtro.
- Mão-de-obra e leis sociais.
- Pneus.

8.2.1. Combustíveis

O consumo de combustível é função da potência nominal do motor e das condições de uso. Geralmente, a informação é dada pelo fabricante do equipamento, em l/h.

O custo horário de combustível é dado pela Equação 81, em R\$/h.



$$Custo = C \times Preço \quad (81)$$

Sendo C o consumo em l/h e o preço em R\$/l.

8.2.2. Lubrificantes

Correspondem ao óleo do carter e ao óleo para transmissão. Semelhantes aos combustíveis, seu consumo é especificado pelo fabricante, e o cálculo do custo horário pode ser feito por meio da Equação 81.

8.2.3. Graxa lubrificante

O consumo médio de graxa é estimado conforme a máquina:

- Tratores de esteiras: 0,02 kg/h.
- Carregadeiras de esteiras: 0,01 kg/h.
- Carregadeiras de pneus: 0,01- 0,02 kg/h.
- Motoniveladoras: 0,01 kg/h.
- Caminhões Fora-de-Estrada: 0,05 kg/h.
- Escavadeiras frontais: 0,02 kg/h.

O cálculo do custo horário de graxa, em kg/h, também pela Equação 81, usando o consumo em kg/h e o preço por kg.

8.2.4. Custo de filtro

O custo da troca dos elementos de filtro dependerá do número de unidades existentes na máquina para a filtragem dos óleos combustíveis, lubrificante e fluido hidráulico, e também do período de troca recomendada.

O custo horário é dado pela Equação 82.

$$Custo = \frac{Preço}{Tempo\ de\ Troca} \quad (82)$$

O preço é correspondente a um jogo de filtros, e o tempo de troca é dado em horas.

8.2.5. Mão-de-obra e leis sociais

Esse custo pode ser estimado adotando, para um operador de máquina, 1,5 h para cada hora de operação e 0,5 h para cada hora no caso de um ajudante.

Os encargos sociais, adicionados ao custo direto da mão de obra, são variáveis, mas podem ser estimados, aproximadamente em 135%. Assim, o custo horário da mão-de-obra de um equipamento é dado pela Equação 83.

$$C_{MO} = C_{op} + C_{aj} + C_{ES} \quad (83)$$

Sendo C_{MO} o custo horário da mão-de-obra, C_{op} o custo do operador (preço horário multiplicado pelas horas de trabalho), C_{aj} o custo do ajudante, e C_{ES} o custo dos encargos sociais.

8.2.6. Pneus

Embora sejam adquiridos com a máquina, devem ser considerados como depreciação do equipamento. Por causa do desgaste rápido, proporcional às horas de operação, é possível incluí-los nas despesas operacionais.

Para isso, é necessário estimar a vida útil dos pneus, dada por três zonas de aplicação: A, B e C, nas quais a severidade de uso reduz sensivelmente sua duração. A Tabela 17 mostra a vida útil provável de pneumáticos de alguns equipamentos.

Tabela 17 - Vida útil de pneus.

Equipamento	Zona A	Zona B	Zona C
Motoniveladora	6000-4000 h	4000-2500 h	2500-1500 h
Carregadeiras	4000-3000 h	3000-2000 h	2000-1000 h
Caminhões fora de estrada	4000-3000 h	3000-2000 h	2000-1000 h

Fonte: RICARDO E CATALANI (2007).

O custo horário dos pneus é dado pela Equação 84.

$$Custo = \frac{N \times Preço}{Vida\ útil} \quad (84)$$

Sendo N o número de pneus do equipamento, estando a vida útil expressa em horas.

Assim, o custo horário de operação é dado pela soma dos seis diferentes custos citados.

8.3. CUSTOS DE MANUTENÇÃO

São despesas de oficina (peças e mão-de-obra) e não são diretamente proporcionais às horas de uso da máquina.

O custo de manutenção (M_h) pode ser estimado pela Equação 85.

$$M_h = \frac{V_0 \times k}{1000} \quad (85)$$

Sendo V_0 o custo inicial e k o coeficiente de reparo. A Tabela 18 traz alguns valores de k de acordo com as condições de operação.

Tabela 18 - Valores de k .

Equipamento	Zona A	Zona B	Zona C
Trator de esteiras	0,07	0,09	0,13
Motoniveladora	0,04	0,06	0,09
Carregadeira de esteiras	0,07	0,09	0,13
Carregadeira de rodas	0,04	0,06	0,09
Caminhão fora de estrada	0,06	0,08	0,11

Fonte: Adaptado de RICARDO E CATALANI (2007).

Assim, configuram-se os custos totais diretos (CD) pela soma dos custos de propriedade, operação e manutenção.

8.4. BENEFÍCIOS E DESPESAS INDIRETAS

Sobre o custo direto de utilização do equipamento, devem ser somadas as despesas gerais da empresa, como despesas de instalações, administração, impostos e publicidade. Esses custos são indiretos, e independem do funcionamento do equipamento.

A taxa de BDI, assumida na composição de preços, é variável conforme a obra e gira em torno de 35% do custo direto. Assim, o custo indireto (CI) pode ser calculado pela Equação 86.

$$CI = \frac{BDI}{100} \times CD \quad (86)$$

O custo horário total é dado pela soma entre custos diretos e indiretos.

8.5. EXERCÍCIO

Determinar o custo horário de uma carregadeira de esteiras de 120HP, com capacidade de 1 m³, admitindo-se uma vida útil de 5 anos, sob regime de economia estável, sem inflação. A utilização anual da máquina é de 2000h/ano, supondo-se condições médias.

Dados:

- Valor inicial: $V_0 = \text{R\$ } 500.000,00$.
- Taxa de depreciação anual: $R = (30\%/ano) = 0,3$.
- Taxa de juro anual: $j = 12\%/ano = 0,12$.
- Combustível: $C = 0,16$ l/h e Preço: R\$ 3,00/l.
- Lubrificante: $C = 0,057$ l/h, Preço: R\$ 40,00/l.
- Graxas: $C_g = 0,01$ kg/h e Preço: R\$ 50,00/kg
- Filtros: Preço: R\$ 435,00 e Tempo de troca = 125 horas
- Mão-de-obra:
 - Operador = 1,5 horas e Preço = R\$ 20,00/h.
 - Ajudante = 0,5 horas e Preço = R\$ 10,00/h.
- Leis sociais = 100% sobre a mão-de-obra.
- Coeficiente de reparo (manutenção): $k = 0,09$.
- B.D.I = 35% dos Custos Diretos.

Resposta: R\$ 428,31/h.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Solos e Rochas – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Solos – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

BERNUCCI, Liedi et al. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. PETROBRAS: Rio de Janeiro, 2007.

BIAVA, Leonardo Rovaris. **Análise de agregados por meio da determinação do dano por umidade induzida e adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso**. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2017.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Relatório Analítico de Composições de Custos: Rio Grande do Sul**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, 2023.

DE FREITAS, Leandro Gomes et al. **Integração de Métodos Geofísicos com a Sonda MIP para caracterização estratigráfica de uma área contaminada**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2012.

DNIT IPR 719 – Manual de Pavimentação. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT. Instituto de Pesquisas Rodoviárias IPR, 2006.

DNIT ISF 207 – Estudos Geotécnicos. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT. Diretoria de Infraestrutura Ferroviária. Coordenação Geral de Obras Ferroviárias, 2013.

DNIT 412/– ME. Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT. Instituto de Pesquisas Rodoviárias IPR, 2019.

RATTON, Eduardo et al. **Introdução à Terraplanagem**. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Departamento de Transportes. Curitiba, 2015.

RICARDO, Hélio de Souza. CATALANI, Guilherme. **Manual Prático de Escavação – Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SOUZA, Cristiano Brilhante. **Limites e possibilidades de aplicações de Modelos Digitais de Elevação gerados a partir de produtos obtidos por sensores remotos nos cálculos de volumes de terraplenagem**. Monografia de Especialização, Instituto Serzedello Corrêa, Tribunal de Contas da União, Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 110 p. 201.

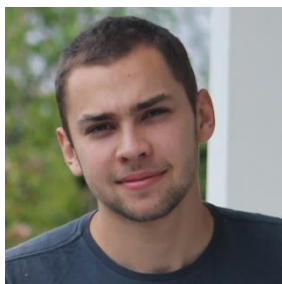
DADOS DOS AUTORES



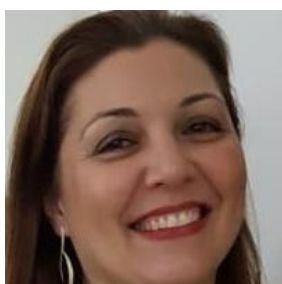
Alejandro Ruiz-Padillo é doutor em Engenharia Civil com ênfase em Transportes, professor adjunto no Departamento de Transportes da Universidade Federal de Santa Maria e fundador do Laboratório de Mobilidade e Logística, onde desenvolve projetos de ensino, pesquisa e extensão ligados aos sistemas de transporte, engenharia de tráfego, segurança viária e mobilidade sustentável.



Ester Schmitt Duarte é acadêmica do curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. Atuou como voluntária no Programa de Educação Tutorial Engenharia Civil da UFSM, e é bolsista de iniciação científica na área de materiais sustentáveis na construção civil. É voluntária no Laboratório de Mobilidade e Logística, onde atua no âmbito de projetos de ensino.



Silvio Lisbôa Schuster é doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria e Professor Adjunto no Departamento de Transportes da UFSM. Tem experiência em análise reológica e caracterização de dano por fadiga de asfaltos e misturas asfálticas. Publicou 14 artigos Qualis A, sendo autor de diversos outros em congressos e revistas reconhecidas da área.



Tatiana Cureau Cervo possui graduação e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria e doutorado em Engenharia de Transportes pela POLI/USP. É Professora Associada no Departamento de Transportes da UFSM. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em materiais alternativos e sustentáveis para pavimentos, rodovias, ferrovias e infraestrutura de transporte.

ALEJANDRO RUIZ-PADILLO, ESTER SCHMITT DUARTE,
SÍLVIO LISBÔA SCHUSTER, TATIANA CUREAU CERVO

PROJETO DE TERRAPLANAGEM DE RODOVIAS

Uma etapa essencial no processo de construção de uma estrada é a terraplanagem a ser realizada para construção da infraestrutura rodoviária. Este livro busca reunir conhecimentos essenciais referentes à movimentação de terras em um projeto final de rodovia, de maneira didática e aplicável no contexto da formação de profissionais da área, como engenheiros civis e de transportes. São abordados estudos, cálculos, equipamentos, produtividade e outros elementos que constituem a terraplanagem de uma rodovia, úteis também para projetos de outras infraestruturas lineares.



ISBN 978-85-64049-21-5