

ESTRADAS II

SOLOS e TERRALANAGEM

Apostila 3

Manaus, 2019

ANTONIO ESTANISLAU SANCHES
Engenheiro Cartógrafo

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Os estudos geotécnicos possuem por objetivo a definição das características técnicas do subleito, sobre os quais repousam, de forma decisiva, o projeto de terraplenagem.

Uma importante informação consiste na definição das categorias dos solos.

Nas Edificações:

as fundações se apoiam nos material

Na Terraplanagem:

As fundações se consistem nos próprios materiais de construção.

São solos empregados nas operações de Terraplenagem:

- ❖ **Pedregulhos:** suas propriedades principais se devem ao comportamento de grãos minerais com dimensões entre $48 \text{ mm} < d < 76 \text{ mm}$.
- ❖ **Areias:** são solos usados como agregado, cujas dimensões dos grãos é de $0,05 \text{ mm} < d < 4,8 \text{ mm}$.
- ❖ **Siltes:** são materiais com alta plasticidade cuja dimensão dos grãos é de $0,005 \text{ mm} < d < 0,075 \text{ mm}$.
- ❖ **Argilas:** são materiais cujas propriedades se devem aos grãos de $0,001 \text{ mm} < d < 0,005 \text{ mm}$

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Na natureza estes materiais (*pedregulho, areia, silte, argilas*) são encontrados, na grande maioria dos casos, misturados entre si.

Tais misturas são referidas pelo nome da porção com **MAIOR PREDOMINÂNCIA**, seguido dos demais nomes das frações. Por exemplo:

- ❖ areia silto-argilosa;
- ❖ argila areno-siltosa.

Também existem solos que, por sua natureza ou constituição, não se prestam aos serviços de terraplenagem, tais como:

- ❖ solos com matéria orgânica: Caracterizados por presença de raízes, folhas ou qualquer material com possibilidade de decomposição orgânica.
- ❖ turfas: materiais com presença acentuada de derivados de carbono.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

A forma como a escavação ocorre DEPENDE, entre outros fatores, do **TIPO DE SOLO** que está sendo escavado, influenciando diretamente na escolha dos tipos de equipamentos a serem empregados, objetivando minimizar as dificuldades de execução e o aumento da produtividade, no serviço.

Nesse sentido, torna-se importante a definição do TIPO DE SOLO a ser trabalhado em cada segmento de rodovia.

O DNIT elaborou uma metodologia definindo os TIPOS DE SOLOS em três categorias:

- ❖ solo de 1ª categoria;
- ❖ solo de 2ª categoria;
- ❖ solo de 3ª categoria.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Materiais de primeira categoria:

são aqueles cuja decomposição já ocorreu, podendo sua extração ser executada por equipamentos dotados de lâminas (*tratores*) ou dentes (*escavadeiras*);

terra em geral, piçarra ou argila, rocha em adiantado estado de decomposição, seixos rolados ou não (*fragmento de rocha arredondado que se encontra à beira-mar e em leito de rios caudalosos*), normalmente com diâmetro máximo inferior à 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade, compatíveis com a utilização de “dozer”, “scraper” rebocado ou autopropulsado.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Materiais de segunda categoria:

Em sua maioria são constituídos por rochas em processo de decomposição, normalmente não demandando utilização dos mesmos métodos para desmonte de materiais de terceira categoria (*à fogo*), mas geralmente exigindo equipamentos que dispõem de implementos escarificadores.

solos resistentes ao desmonte mecânico, porém, inferior à da rocha não alterada, sua extração se processa pela combinação de métodos com o emprego de escarificação exigido, eventualmente, o uso de explosivos ou um processo manual adequado, tendo os blocos de rocha, volume inferior a 2 m³ e os matacões ou pedras, diâmetro médio, entre 0,15 m e 1,00 m.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Materiais de terceira categoria:

Rochas não decompostas, seja em um maciço rochoso, seja em blocos isolados de grandes dimensões. Podemos também caracterizá-los como materiais cujo desmonte exige a utilização de explosivos, ou, na impossibilidade de sua utilização, argamassas expansivas.

materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1 m, ou de volume igual ou superior a 2 m³, cuja extração e redução, para o carregamento, exigem o emprego contínuo de explosivos



SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Para maiores detalhes sobre as argamassas expansivas, sugere-se artigo existente em:
<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/147/artigo285465-1.aspx>

ESCAVAÇÃO: operação destinada à extração do material

MATERIAIS DE 1ª CATEGORIA

Escavadeiras (*pneus/esteiras*) ; Carregadeiras (*pneus/esteiras*) ; Scrapers (*autopropelidos e rebocáveis*);

SCRAPERS: escavam, se auto-carregam, transportam e descarregam

MATERIAIS DE 2ª CATEGORIA

Escavadeiras (*pneus/esteiras*) ; Carregadeiras (*pneus/esteiras*) ; Perfuratrizes (*na perfuração para uso emprego de explosivos*);

MATERIAIS DE 3ª CATEGORIA

Perfuratrizes (*para uso de explosivos*).



SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

TRANSPORTE DESCARGA: operação destinada à extração dos materiais

MATERIAIS DE 1ª CATEGORIA

Caminhão basculante ; caminhão bi-trem;

MATERIAIS DE 2ª CATEGORIA

Caminhão basculante ; caminhão bi-trem; caminhão fora-de-estrada;

MATERIAIS DE 3ª CATEGORIA

caminhão fora-de-estrada.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Operações Básicas de Terraplenagem: operação destinada à extração dos materiais.

Espalhamento:

operação executada utilizando materiais destinados a aterros (*de 1ª categoria*), após a descarga, com objetivo produzir uma camada aproximadamente regular com o material. *Emprego de motoniveladoras.*

Homogeneização e umectação:

operação executada após o espalhamento, destinada à eliminação de torrões e correção de umidade. *Emprego de motoniveladora, grade de discos tracionada por trator de pneus e carro pipa.*

Compactação:

operação para redução de vazios e aumento da massa específica. *Emprego de rolo-compressor.*

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Condições de operação dos equipamentos de terraplenagem

Os equipamentos, em geral, operam sob condições semelhantes em relação aos desgastes decorrentes das operações às quais forem submetidos.

Alguns, entretanto, sofrem maior desgastes em razão da severidade do regime de trabalho, operando em terrenos com declividade elevada, com materiais abrasivos e cortantes, realizando sucessivas e constantes manobras, deslocamentos curtos, dentre outros fatores.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Condições de operação dos equipamentos de terraplenagem

Os equipamentos, em geral, operam sob condições semelhantes em relação aos desgastes decorrentes das operações às quais forem submetidos.

Alguns, entretanto, sofrem maior desgastes em razão da severidade do regime de trabalho, operando em terrenos com declividade elevada, com materiais abrasivos e cortantes, realizando sucessivas e constantes manobras, deslocamentos curtos, dentre outros fatores.

EQUIPAMENTOS !!! – quais???

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Condições de operação dos equipamentos de terraplenagem

Os equipamentos, em geral, operam sob condições semelhantes em relação aos desgastes decorrentes das operações às quais forem submetidos.

Alguns, entretanto, sofrem maior desgastes em razão da severidade do regime de trabalho, operando em terrenos com declividade elevada, com materiais abrasivos e cortantes, realizando sucessivas e constantes manobras, deslocamentos curtos, dentre outros fatores.

EQUIPAMENTOS !!! – quais???

- Tratores sobre esteiras e rodas;
- Escrapers;
- Escavadeiras hidráulicas;
- Retroescavadeiras;
- Motoniveladoras;
- Rolos compressores e similares.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

Solo como material de Terraplenagem

Condições de operação dos equipamentos de terraplenagem

| CONDIÇÕES LEVES | CONDIÇÕES PESADAS |
|---|--|
| Trajetos longos | Trajetos curtos |
| Manobras ocasionais | Manobras constantes |
| Pequenas declividades em rampas | Fortes declividades em rampas |
| Predominantemente com potência moderada | Predominantemente com potência máxima |
| Trabalho c/ material pouco abrasivo | Trabalho c/ material muito abrasivo |
| Atuação em terrenos com boa capacidade de suporte | Atuação em terrenos de baixa capacidade de suporte |

Evidentemente tal classificação sugere uma elevação no custo horário dos equipamentos, em consequência do desgaste mais acentuado ocasionado pelo regime de trabalho ao qual o equipamento estará submetido.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

DEFINIÇÃO DE JAZIDAS

Um dos objetivos dos estudos geotécnicos consiste na avaliação da ocorrência de jazidas de empréstimos para uso no projeto de terraplenagem. Seleciona-se as jazidas à serem utilizadas, levando-se em conta, tanto os critérios técnicos, quanto os econômicos. Sendo desejável a utilização de jazidas com ótimos resultados de CBR e expansão, considerando os custos para que tais jazidas, sejam aproveitáveis.

CBR ???

SOLOS e TERRAPALANEGEM

DEFINIÇÃO DE JAZIDAS

Um dos objetivos dos estudos geotécnicos consiste na avaliação da ocorrência de jazidas de empréstimos para seu uso no projeto de terraplenagem, selecionando as jazidas à serem utilizadas, levando-se em conta, tanto os critérios técnicos, quanto os econômicos. Sendo é desejável a utilização de jazidas com ótimos resultados de CBR e expansão, considerando os custos para que tais jazidas, sejam aproveitáveis.

CBR ??? ensaio *ISC - Índice de Suporte Califórnia, mais conhecido como CBR - California Bearing Ratio, foi desenvolvido em 1929. Voltado, especificamente, para o dimensionamento de pavimentos rodoviários, mantendo-se até hoje, como o parâmetro de projeto mais utilizado. Esse ensaio foi desenvolvido a fim de avaliar o potencial de ruptura do subleito (afundamentos plásticos), uma vez que esse era o defeito mais comumente observado nas rodovias da Califórnia àquela época.*

SOLOS e TERRAPALANEGEM

DEFINIÇÃO DE JAZIDAS

Um dos objetivos dos estudos geotécnicos consiste na avaliação da ocorrência de jazidas de empréstimos para seu uso no projeto de terraplenagem, selecionando as jazidas à serem utilizadas, levando-se em conta, tanto os critérios técnicos, quanto os econômicos. Sendo é desejável a utilização de jazidas com ótimos resultados de CBR e expansão, considerando os custos para que tais jazidas, sejam aproveitáveis.

CBR ??? ensaio *ISC* - Índice de Suporte Califórnia, mais conhecido como **CBR** - California Bearing Ratio, foi desenvolvido em 1929. Voltado, especificamente, para o dimensionamento de pavimentos rodoviários, mantendo-se até hoje, como o parâmetro de projeto mais utilizado. Esse ensaio foi desenvolvido a fim de avaliar o potencial de ruptura do subleito (afundamentos plásticos), uma vez que esse era o defeito mais comumente observado nas rodovias da Califórnia naquela época.

CBR expressa a relação entre a resistência à penetração de um cilindro padronizado numa amostra do solo compactado e a resistência do mesmo cilindro em uma pedra britada padronizada. O ensaio permite, também, obter um índice de expansão do solo durante o período de saturação por imersão do corpo-de-prova (por 96 horas).



Imersão dos corpos-de-prova



prensa de CBR e o pistão de aplicação de carga

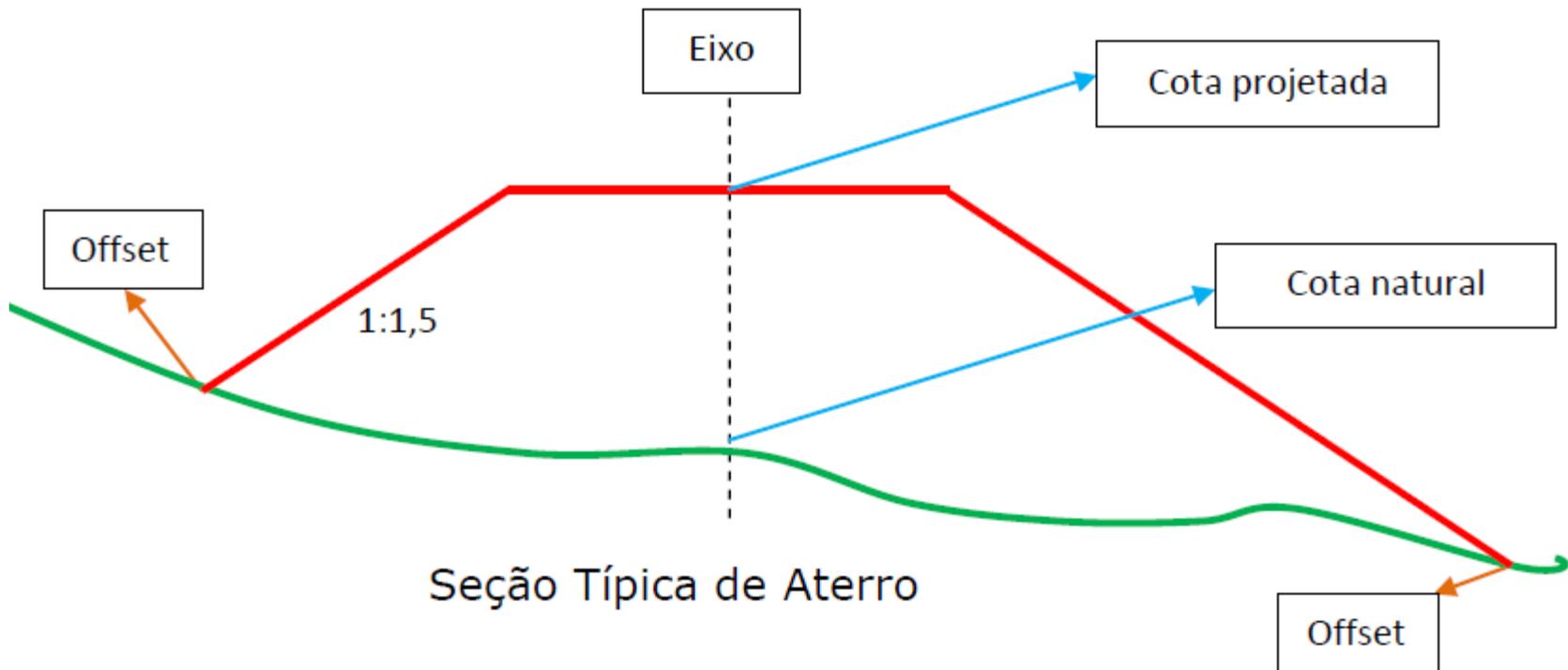
A sobrecarga-padrão colocada sobre a superfície do solo compactado dentro do cilindro é de 10 libras (4,536 kg) e tem como finalidade simular o peso das camadas sobre o subleito. O pistão de aplicação de carga possui área de contato de aproximadamente $19,36 \text{ cm}^2$ (4,96 cm de diâmetro) e penetra no solo (corpo-de-prova) com velocidade de aplicação da carga de 0,05" por minuto (ou 1,27 mm/min).

SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO DE ATERROS

Aterro é definido como: “segmento de rodovia cuja implantação requer depósito de materiais provenientes de cortes e/ou de caixas de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto (offsets) que definem o corpo estradal”.

Em outras palavras, o aterro ocorre quando a cota projetada da rodovia supera a cota do terreno natural em um determinado segmento específico. Assim, para que se atinja a cota de projeto é necessário adicionar camadas de solo compactado, **provenientes de cortes** do próprio eixo estradal, **ou então, de jazidas de empréstimo** de solo localizadas nas proximidades da rodovia.

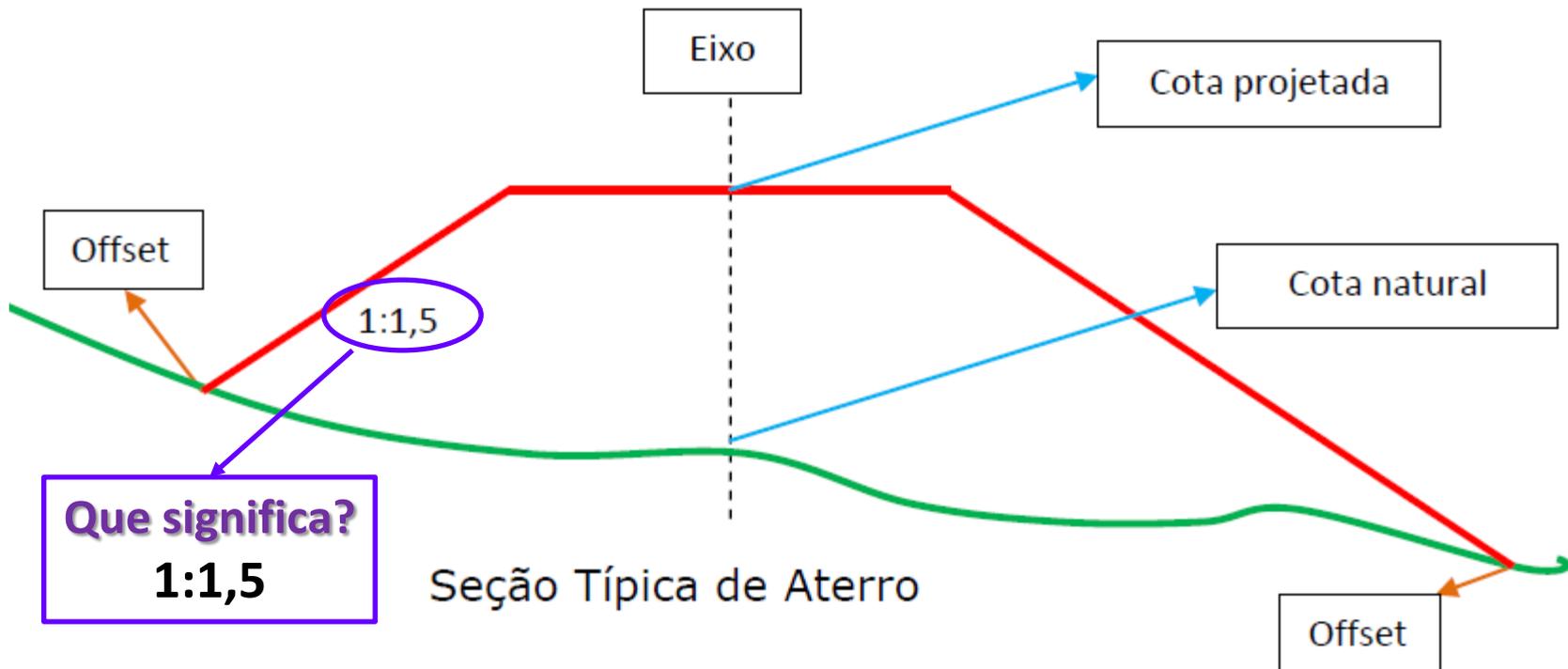


SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO DE ATERROS

Aterro é definido como: “segmento de rodovia cuja implantação requer depósito de materiais provenientes de cortes e/ou de caixas de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto (offsets) que definem o corpo estradal”.

Em outras palavras, o aterro ocorre quando a cota projetada da rodovia supera a cota do terreno natural em um determinado segmento específico. Assim, para que se atinja a cota de projeto é necessário adicionar camadas de solo compactado, **provenientes de cortes** do próprio eixo estradal, **ou então, de jazidas de empréstimo** de solo localizadas nas proximidades da rodovia.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE ATERROS

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

Solos coesivos – solos muito finos, com predominância de **silte** e **argila**. A coesão tem origem na capacidade desses solos em absorver a umidade. Na compactação dos solos coesivos, a função da água é envolver as partículas mais finas de solo, dotando-as de coesão. Qualquer acréscimo de água superior ao necessário faz com que as partículas se separem; o esforço de compactação, neste caso, é utilizado para expulsar a água, buscando a reaproximação das partículas.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE ATERROS

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

Solos coesivos – solos muito finos, com predominância de **silte** e **argila**. A coesão tem origem na capacidade desses solos em absorver a umidade. Na compactação dos solos coesivos, a função da água é envolver as partículas mais finas de solo, dotando-as de coesão. Qualquer acréscimo de água superior ao necessário faz com que as partículas se separem; o esforço de compactação, neste caso, é utilizado para expulsar a água, buscando a reaproximação das partículas.

SILTE: *constituído de pequenas partículas de minerais diversos de tamanho de grãos entre 0,05mm e 0,005mm;*

ARGILA: *de plasticidade tal que, quando úmido, molda-se facilmente em diferentes formas; quando seco, é coeso podendo formar torrões não desagregável à pressão dos dedos. Seu grão é inferior a 0,005mm*

SOLOS e TERRAPALANEGEM

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE ATERROS

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

Solos coesivos – solos muito finos, com predominância de **silte** e **argila**. A coesão tem origem na capacidade desses solos em absorver a umidade. Na compactação dos solos coesivos, a função da água é envolver as partículas mais finas de solo, dotando-as de coesão. Qualquer acréscimo de água superior ao necessário faz com que as partículas se separem; o esforço de compactação, neste caso, é utilizado para expulsar a água, buscando a reaproximação das partículas.

SILTE: *constituído de pequenas partículas de minerais diversos de tamanho de grãos entre 0,05mm e 0,005mm;*

ARGILA: *de plasticidade tal que, quando úmido, molda-se facilmente em diferentes formas; quando seco, é coeso podendo formar torrões não desagregável à pressão dos dedos. Seu grão é inferior a 0,005mm*

Solos não coesivos – solos com predominância de grãos de rocha. Porém, de tamanho variável, sendo que a parte fina destes solos pode ser arenosa ou siltosa (ex: **areias**). Nos solos granulares (*arenosos*), ocorre predominância de partículas sólidas que entram em contato entre si. Durante a compactação, a água funciona como um lubrificante, facilitando a movimentação e o entrosamento entre as partículas.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE ATERROS

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

Solos coesivos – solos muito finos, com predominância de **silte** e **argila**. A coesão tem origem na capacidade desses solos em absorver a umidade. Na compactação dos solos coesivos, a função da água é envolver as partículas mais finas de solo, dotando-as de coesão. Qualquer acréscimo de água superior ao necessário faz com que as partículas se separem; o esforço de compactação, neste caso, é utilizado para expulsar a água, buscando a reaproximação das partículas.

SILTE: *constituído de pequenas partículas de minerais diversos de tamanho de grãos entre 0,05mm e 0,005mm;*

ARGILA: *de plasticidade tal que, quando úmido, molda-se facilmente em diferentes formas; quando seco, é coeso podendo formar torrões não desagregável à pressão dos dedos. Seu grão é inferior a 0,005mm*

Solos não coesivos – solos com predominância de grãos de rocha. Porém, de tamanho variável, sendo que a parte fina destes solos pode ser arenosa ou siltosa (ex: **areias**). Nos solos granulares (*arenosos*), ocorre predominância de partículas sólidas que entram em contato entre si. Durante a compactação, a água funciona como um lubrificante, facilitando a movimentação e o entrosamento entre as partículas.

A compactação é um processo mecânico de aplicação de forças para reduzir o volume do solo, atingindo densidade máxima. A redução do volume ocorre pela:

- ❖ melhor disposição dos grãos do solo, permitindo às partículas menores ocuparem os espaços deixados pelas maiores;
- ❖ redução do volume de vazios, pelo novo rearranjo do solo;
- ❖ utilização da água como lubrificante.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

MECÂNICA DA COMPACTAÇÃO *existem quatro processos fundamentais de compactação:*

Por compressão – o esforço ocorre da aplicação de uma força vertical constante, gerando o deslocamento vertical do solo. Esse deslocamento permite uma melhor arrumação nas partículas, objetivando sempre a REDUÇÃO dos volumes vazios.

Por amassamento – consiste na aplicação simultânea de forças verticais e horizontais provenientes do equipamento utilizado. Esta ação simultânea de forças é obtida pelos rolos compactadores onde os esforços horizontais da tração são somados aos verticais do peso do rolo. Esse processo de compactação é adequado para aos solos coesivos. *(ex: rolo pé de carneiro, rolo de pneus etc).*

Por impacto – consiste na aplicação de forças verticais, provocando impacto sobre a superfície, com repetição até de 500 vezes por minuto *(ex: compactador manual)*.

Por vibração – quando a aplicação das forças verticais se dá com uma frequência de repetição acima de 500 golpes por minuto. Esse processo de compactação é o adequado para solos arenosos. *(ex. rolo liso vibratório)*.

Misto – quando combinadas dois processos num mesmo movimento *(ex. rolo pé-de-carneiro vibratório)*.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

MECÂNICA DA COMPACTAÇÃO *existem quatro processos fundamentais de compactação:*

- Amassamento

→ rolo pé-de-carneiro



- Compressão

→ rolo liso



- Impacto

→ sapo mecânico



- Vibração

→ rolo liso e rolo pé-de-carneiro



SOLOS e TERRAPALANEGEM

MECÂNICA DA COMPACTAÇÃO *existem quatro processos fundamentais de compactação:*

COMPACTAÇÃO por IMPACTO

sapo mecânico

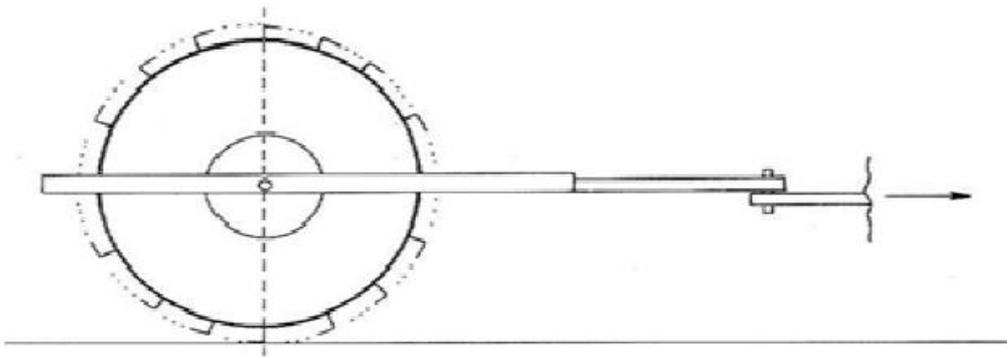


SOLOS e TERRAPALANEGEM

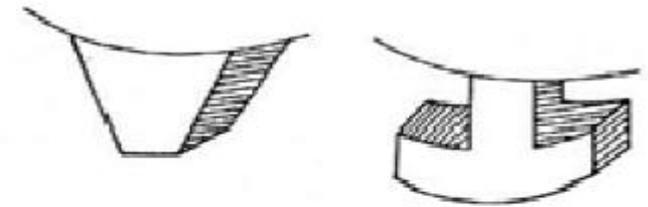
MECÂNICA DA COMPACTAÇÃO existem quatro processos fundamentais de compactação:
COMPACTAÇÃO por VIBRAÇÃO

Pe-de-carneiro (estático ou vibratório):

- ❖ Mais eficiente para solos coesivos (*argilosos e siltosos*);
- ❖ A compactação é realizada de baixo para cima;
- ❖ A medida que o solo é compactado o afundamento da pata vai diminuindo, até o ponto em que o rolo praticamente passeia sobre a superfície;
- ❖ Não deve ser usado em solos granulares, pois terá efeito quase nulo.

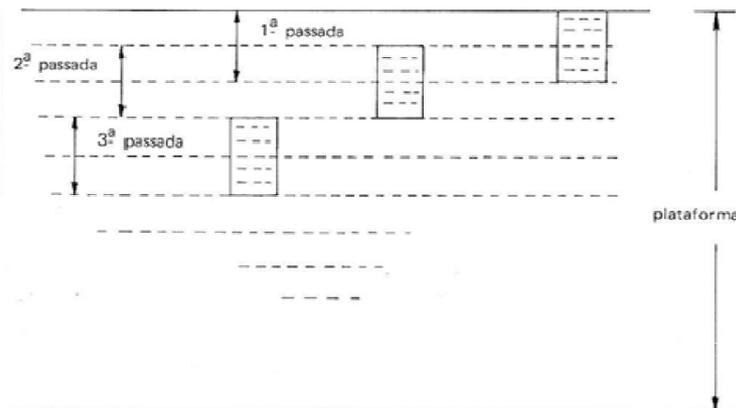


Rolo Pé-de-carneiro

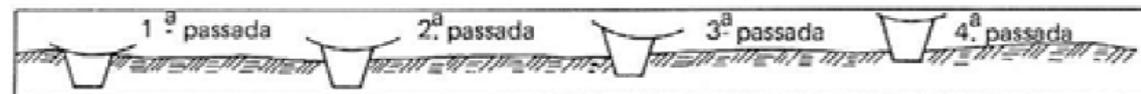


PATAS

Tronco de pirâmide ou pés de carneiro.



O esquema de penetração das patas no solo



SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO por VIBRAÇÃO



SOLOS e TERRAPALANEGEM

MECÂNICA DA COMPACTAÇÃO existem quatro processos fundamentais de compactação:

Rolo liso (estático ou vibratório):

- ❖ Rolos metálicos dotados de um sistema vibratório que possibilita aplicar no solo um determinado número de golpes por minuto (*frequência*);
- ❖ Trata-se de um equipamento de alta eficiência na compactação de todo tipo de solo;
- ❖ Estando o solo solto, toda a energia vibratória é absorvida pelo deslocamento das partículas sólidas. Porém, com o aumento da densidade do solo, parte da energia vibratória é devolvida.

COMPACTAÇÃO por VIBRAÇÃO



SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO equipamentos indicados

| Solos coesivos | | Misturas | Solos granulares | | Características |
|--|-------|------------------------|---|------------------|---|
| 100% Argila | Silte | Argila+silte+areia | 100% Areia | Pedras | |
| ← pé de carneiro → | | | | | Peso estático e amassamento |
| ← pé de carneiro vibratório → | | | | | Peso estático e vibração |
| | | | → rolo liso vibratório | | Vibração |
| | | ← rolo de pneus leve → | | | Peso estático e amassamento |
| ← rolo pneus, pesado, rodas de grande Ø → | | | | | Amassamento |
| | | | → rolo de grade ou malha | | |
| | | | ← rolo liso metálico estático (3 rodas) → | | Peso estático |
| | | | | → rolo de placas | |
| ← rolos combinados: padfoot vibratório pesado, autopropelido → | | | | | Peso estático, amassamento, vibração, impacto |

SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO escolha do rolo compactador

Escolha do rolo compactador

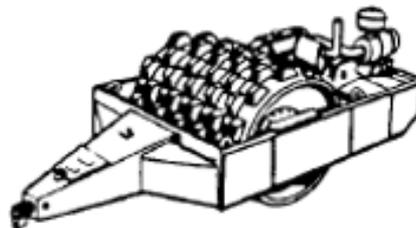
| Tipo de rolo | Peso máximo toneladas | Espessura máxima após compactação | Uniformidade da camada | Tipo de solo |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Pé de carneiro estático | 20 | 40 cm | Boa | Argilas e siltes |
| Pé de carneiro vibratório | 30 | 40 cm | Boa | Misturas de areia com silte e argila |
| Pneumático leve | 15 | 15 cm | Boa | Misturas de areia com silte e areia |
| Pneumático pesado | 35 | 35 cm | Muito boa | Praticamente todos |
| Vibratório c/ rodas metálicas lisas | 30 | 50 cm | Muito boa | Areias, cascalhos, material granular |
| Liso metálico estático, 3 rodas | 20 | 10 cm | Regular | Materiais granulares - brita - |
| Rolo de grade - malha | 20 | 20 cm | Boa | Materiais granulares ou em blocos |
| Combinados | 20 | 20 cm | Boa | Praticamente todos |

SOLOS e TERRAPALANEGEM

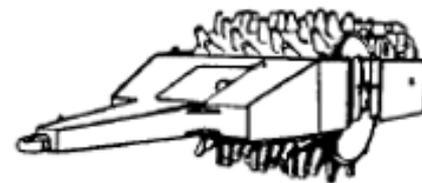
COMPACTAÇÃO escolha do rolo compactador



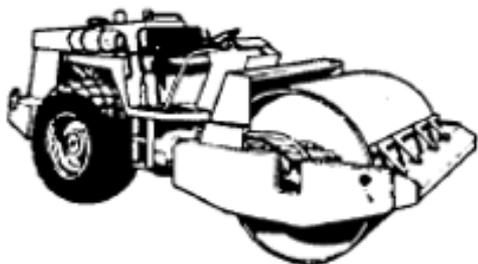
Compactador vibratório tracionado.



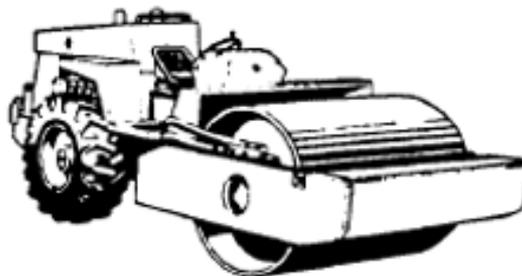
Compactador vibratório tracionado pé-de-carneiro (com patas médias).



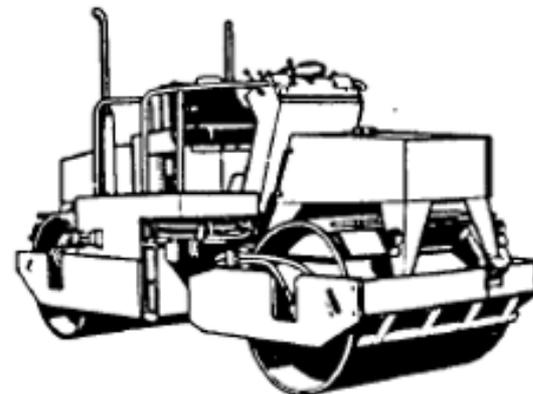
Compactador vibratório tracionado pé-de-carneiro (com patas longas).



Compactador vibratório auto-propelido com tração nos pneus.



Compactador vibratório pesado auto-propelido com tração no cilindro e nos pneus.



Compactador vibratório tandem.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO solos e tipos de compactador

| | PÉ DE CARNEIRO DE ROLO VIBRATÓRIO IMPACTO | PÉ DE CAENEIRO ESTÁTICO ROLO COM GRADE NIVELADORA PRESSÃO COM AMASSAMENTO | COMPACTADOR DE PLACA VIBRATÓRIA ROLO VIBRATÓRIO PÉ DE CARNEIRO DE ROLO VIBRATÓRIO. VIBRAÇÃO | NIVELADORA COMPACTADOR DE ROLO EMBORRACHADO CARREGADOR ROLO COM GRADE AMASSAMENTO COM PRESSÃO |
|------------------------|--|--|--|--|
| CASCALHO 12+ | POBRE | NÃO | BOM | MUITO BOM |
| AREIA 10+/- | POBRE | NÃO | EXCELENTE | BOM |
| SILTE 6+/- | BOM | BOM | POBRE | EXCELENTE |
| ARGILA 6+/- | EXCELENTE | MUITO BOM | NÃO | BOM |

SOLOS e TERRAPALANEGEM

COMPACTAÇÃO emprego de compactador

| Tipo de Equipamento | Peso Máximo (t) | Espessura Máxima Compactada (cm) | Uniformidade Da Camada | Tipo de Solo |
|--|------------------------|---|-------------------------------|---|
| Pé-de-carneiro estático | 20 | 40 | Boa | Argila e silte |
| Pé-de-carneiro vibratório | 30 | 40 | Boa | Mistura areia-silte-argila |
| Pneumático leve | 15 | 15 | Boa | Mistura areia-silte-argila |
| Pneumático pesado | 35 | 35 | Muito boa | Praticamente todos |
| Liso vibratório (com rodas metálicas) | 30 | 50 | Muito boa | Areia, cascalho, material granular |
| Liso estático (com 3 rodas metálicas) | 20 | 10 | Regular | Material granular, brita |
| Grade (malha) | 20 | 20 | Boa | Material granular ou em blocos |
| Combinados | 20 | 20 | boa | Praticamente todos |

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS SOBRE SOLOS DE BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

Em situações peculiares, impostas pela geologia regional, o solo pode apresentar uma baixa resistência de suporte, incapaz de resistir às pressões exercidas pelos aterros, sem apresentar rupturas ou deformações.

Solos normalmente formados pela presença direta da água (*banhados*), gerando materiais com forte contribuição orgânica e de péssimo comportamento geotécnico.

1ª Solução: remoção da camada de solo mole

Trata-se de um procedimento executivo bem recomendável, na remoção com altura inferior a 3,0 m. Consiste, em linhas gerais, na remoção da camada problemática por equipamentos escavadores especiais, substituindo o volume resultante desta remoção por material de boa qualidade, normalmente inerte à ação da água. Após a ultrapassagem do nível d'água, executa-se normalmente o aterro projetado.

2ª solução: Execução de bermas de equilíbrio

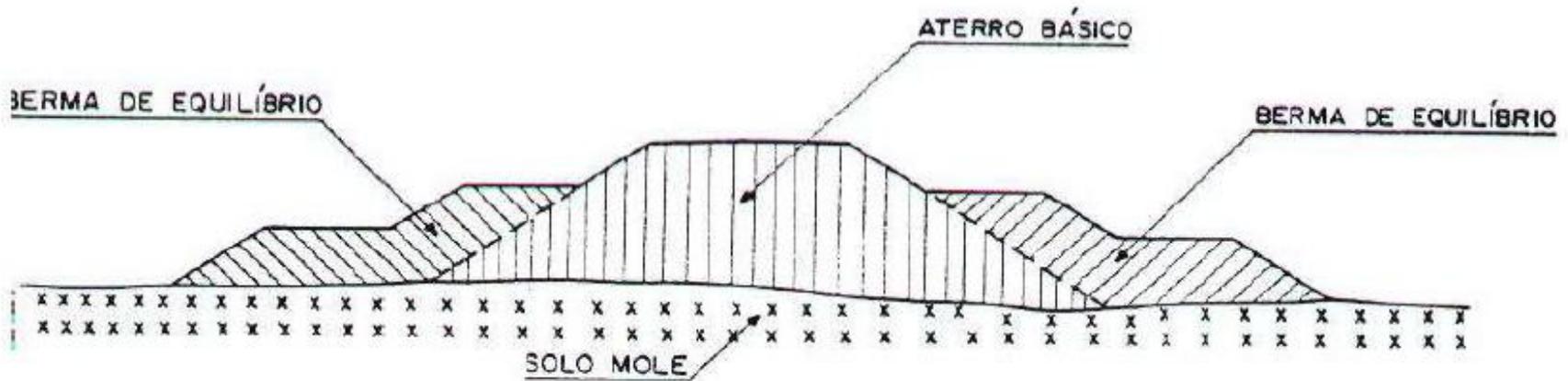
Consiste na execução de aterro envolto por banquetas laterais, gradualmente decrescentes em altura, de sorte que a distribuição das tensões se faz em área bem mais ampla do que aquela que resultaria da utilização de um aterro convencional.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS SOBRE SOLOS DE BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

2ª solução: Execução de bermas de equilíbrio

Consiste na execução de aterro envolto por banquetas laterais, gradualmente decrescentes em altura, de sorte que a distribuição das tensões se faz em área bem mais ampla do que aquela que resultaria da utilização de um aterro convencional.



3ª solução: Execução de aterros por etapas

Consiste em sobrepor ao terreno de baixa resistência ao cisalhamento, frações do aterro projetado. A cada nova deposição de material, o adensamento da camada mole é monitorado, até que a sua estabilidade permita a adição da próxima camada de solo no aterro.

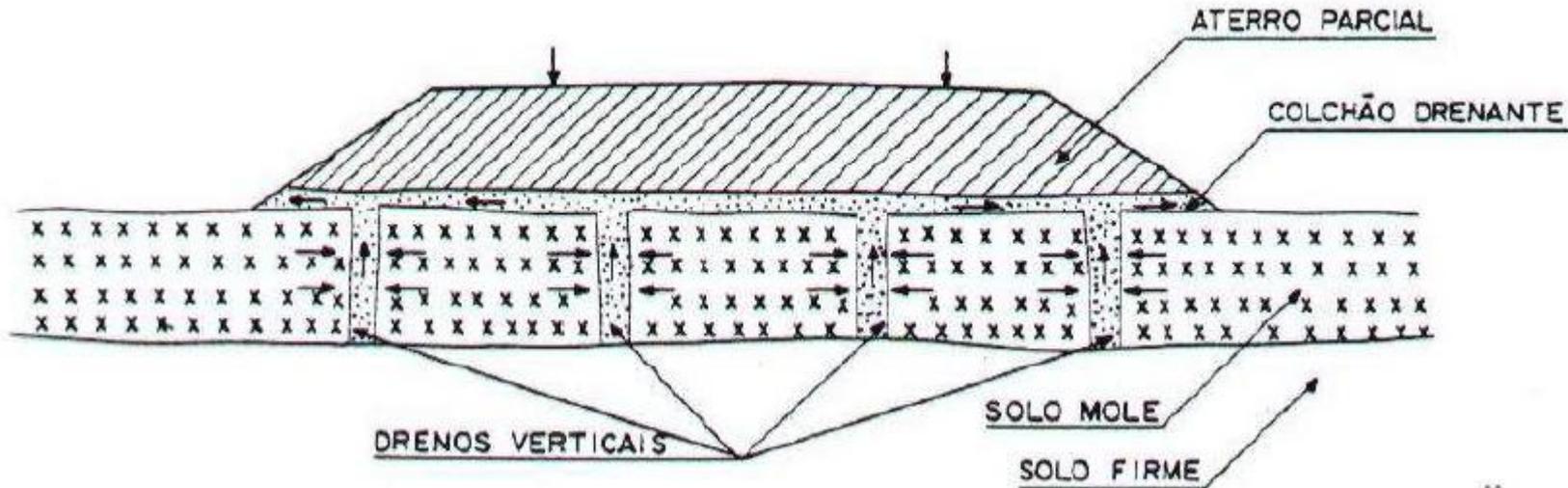
Esse processo é repetido, até que haja a estabilidade total do aterro, permitindo, alcançar as cotas de aterro projetado.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS SOBRE SOLOS DE BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

4ª Solução: Execução de drenos verticais

Solução fundamentada no fato de que a remoção da água acelera o processo de adensamento da camada de solo de baixa resistência. Uma prática é a execução de drenos verticais preenchidos com areia, adequadamente dispostos em planta e seção transversal, aos quais se sobrepõe um colchão drenante, composto pelo mesmo material. Posteriormente, segue-se a execução sobre esse colchão de parte do aterro, a qual exercerá pressão sobre o sistema, forçando a água de saturação a atingir os drenos verticais, ascender por estes e ser eliminada pela camada drenante.

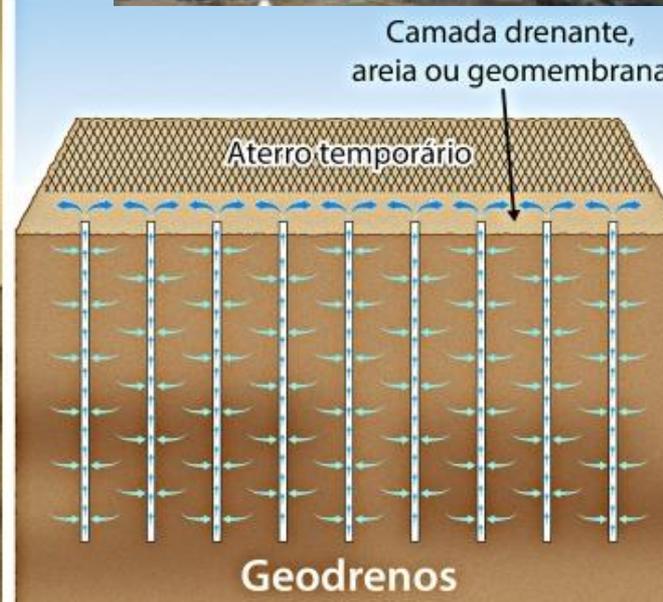
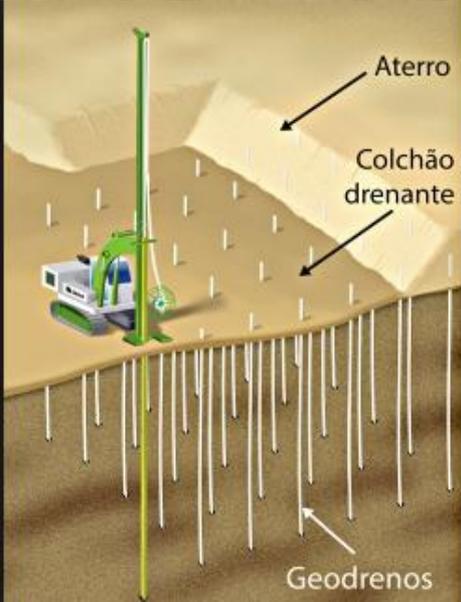


SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS SOBRE SOLOS DE BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

4ª Solução: Execução de drenos verticais

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



Instalação dos Geodrenos

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS SOBRE SOLOS DE BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

5ª Solução: Reforço de Terreno de Fundação com Geossintético

Aplica-se sobre a superfície do terreno de fundação, um geossintético do tipo geotêxtil, geocélula ou geogrelha. Esse tipo de reforço atua na estabilidade do aterro e na redução dos deslocamentos laterais, mas sem nenhuma influência significativa no recalque do aterro. São características do geossintético: *longa durabilidade, alta resistência à tração, e flexibilidade, tornando a solução bastante prática e competitiva.*



Geossintético aplicado como sobre a superfície do terreno

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS - SERVIÇOS PRELIMINARES

Consistem em todas as operações de preparação das áreas destinadas à implantação do corpo estradal e das áreas de ocorrências de materiais; pela remoção **de material vegetal** e outros, tais como: *árvores, arbustos, tocos, raízes, entulhos, matações*, além de outros, considerados como de obstrução, tais como linhas de transmissão de energia, de telefone, bem como cercas, construções e outras benfeitorias.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS - SERVIÇOS PRELIMINARES

Desmatamento: *diversos condicionantes na execução do desmatamento, são eles:*

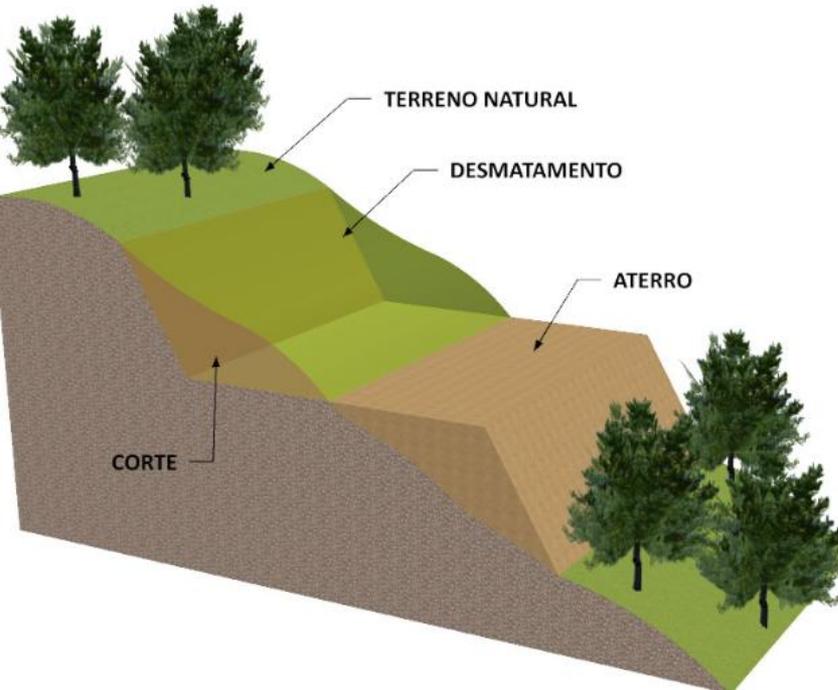
- ❖ O desmatamento deve ser realizado dentro dos limites de *offset da plataforma da rodovia, acrescidos de uma faixa* adicional mínima de operação, na largura em que seja indispensável a sua utilização;
- ❖ Nas áreas destinadas a cortes, a camada de 60 cm abaixo do greide de projeto deve ficar totalmente isenta de tocos os raízes;
- ❖ Nas áreas destinadas a aterros, de altura inferior a 2,00 m, a camada superficial do terreno natural, contendo raízes e restos vegetais deve ser totalmente removida;
- ❖ Nas áreas destinadas a aterros, de altura superior a 2,00 m, o desmatamento deve ser executado de modo que o corte das árvores fique, no máximo, nivelado ao terreno natural, não havendo necessidade de destocamento;
- ❖ Para vegetação de porte reduzido, com diâmetro médio inferior a 15 cm (*medido a uma altura de 1,00 m do solo*), o desmatamento poderá ser realizado, exclusivamente, com tratores de esteiras. A medição desses serviços deverá ser realizada de acordo com a área desmatada;
- ❖ Para vegetação de maior porte, de diâmetro maior que 15 cm (*medido a uma altura de 1 m*) o processo demanda o uso adicional de motosserras. Devendo ser realizado o destocamento, ou a remoção dos tocos remanescentes. Esse tipo de serviço é medido por unidade de árvore efetivamente destocada, em dois grupos distintos:
 - (1) *árvores com diâmetro entre 15 cm e 30 cm, e*
 - (2) *árvores com diâmetro superior a 30 cm;*

SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS - SERVIÇOS PRELIMINARES

Desmatamento: *diversos condicionantes na execução do desmatamento, são eles:*

- ❖ Podem ser assinaladas ainda pela fiscalização, árvores de grande porte a serem preservadas. Nesse caso, as árvores são transportadas para local determinado, visando o seu posterior reaproveitamento;
- ❖ Na operação de limpeza, quando o terreno for inclinado, o trator deve trabalhar sempre de cima para baixo;
- ❖ A apropriação dos custos do serviço deve englobar, além dos custos de desmatamento e destocamento, todas as operações referentes à *remoção/transporte/deposição e preparo na destinação, no local de bota-fora, dos materiais provenientes do desmatamento, destocamento e limpeza*, incluindo as operações referentes à preservação ambiental.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

ATERROS - SERVIÇOS PRELIMINARES

Outros elementos a serem removidos:

- ❖ Com relação às linhas de transmissão, o serviço normalmente é executado pelas próprias empresas concessionárias, e nenhuma ação deve ser tomada sem a autorização dessas empresas;
- ❖ A remoção de construções ou outras benfeitorias dependerá do estágio do processo de desapropriação;
- ❖ No caso de remoção de cercas, deve-se sempre construir primeiro a nova cerca, antes de remover a antiga, visando evitar estragos em plantações ou pastagens, ou ainda, saída de animais para a faixa de domínio, trazendo perigo ao trânsito de equipamentos;
- ❖ Todos os serviços preliminares executados devem guardar consonância com as normas ambientais, com o projeto de engenharia, com o Plano Básico Ambiental, além das recomendações e exigências dos órgãos ambientais.



SOLOS e TERRAPALANEGEM

CORTES - SERVIÇOS PRELIMINARES

A norma DNIT 106/2009-ES define como corte o segmento de rodovia, em que a implantação requer escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto (offsets) que definem o corpo estradal, corresponde à faixa terraplenada. E Como condicionante ao início dos trabalhos de corte, é estabelecido o seguinte:

- ❖ O segmento em corte deve se apresentar convenientemente desmatado e destocado e todo o respectivo entulho, removido.
- ❖ Os segmentos em aterro ou bota-fora que irão receber os solos escavados, deverão estar devidamente desmatados e destocados, para que se tornem aptos a receberem o solo escavado dos cortes.
- ❖ As obras de arte correntes previstas nos segmentos em aterro que receberão o material do corte, devem estar devidamente construídas.
- ❖ As marcações topográficas para o corte devem, após as operações de desmatamento, ser devidamente confirmadas e ratificadas.
- ❖ As correspondentes fontes ou tomadas d'água devem estar preparadas e equipadas, e, em condições de abastecerem regularmente as operações de compactação.
- ❖ Os caminhos de serviço deverão estar devidamente concluídos.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE CORTE

A escavação dos cortes deve obedecer os elementos técnicos determinados pelo projeto de engenharia, para o transporte e deposição adequada dos materiais escavados para aterros, bota-foras ou “*praças de depósito provisório*”. Para cortes de altura elevada, é necessária a implantação de banquetas, de largura mínima de 3 m, além da construção de valetas, revestidas e dotadas de proteção vegetal.

Cuidados necessários quando atingir o nível da plataforma dos cortes:

- ❖ Se for verificada a ocorrência de rocha sã ou em decomposição, deve-se promover o rebaixamento do greide, da ordem de 0,40 m, e o preenchimento desse rebaixo com material inerte;
- ❖ Se for verificada a ocorrência de solos de expansão maior que 2% e baixa capacidade de suporte, deve-se promover sua remoção, com rebaixamento de 0,60m. Em se tratando de solos orgânicos, o projeto ou sua revisão fixarão a espessura a ser removida;
- ❖ Devem ser verificadas as condições do solo *in natura nas* camadas superficiais (*últimos 60 cm*). Tais condições devem atender às especificações para essas camadas finais, no tocante às condições mínimas de compactação;
- ❖ Os taludes de corte devem apresentar, após as operações de terraplenagem, a inclinação indicada no projeto de engenharia.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE CORTE

Não deve ocorrer a presença de blocos de rocha nos taludes que possam colocar em risco a segurança do trânsito. Desde que atendido o projeto, a técnica e seja economicamente viável, os volumes de solos que resultariam em bota-foras podem ser integrados aos aterros, ideais para o alargamento da plataforma.

Cortes em material de 3ª categoria:

Quando da execução de cortes, em material de 3ª categoria são necessários alguns cuidados, objetivando a segurança do pessoal e dos equipamentos:

- ❖ Estabelecer um horário rígido de detonação, e cumpri-lo a risca;
- ❖ Não trabalhar com explosivos à noite;
- ❖ Abrigar bem o equipamento e possibilitar a proteção do pessoal;
- ❖ Avisar a comunidade local e ao tráfego sobre o período de detonação;
- ❖ Evitar a aproximação de pessoal estranho nas vizinhanças do corte na hora da explosão.

Controle da Execução: o controle geométrico da execução dos serviços deve ser feito por levantamento topográfico, admitindo-se as seguintes tolerâncias:

- ❖ Variação de altura máxima, para eixo e bordas, sendo:
 - Cortes em solo: +/- 5 cm
 - Cortes em rocha: +/- 10 cm
- ❖ Variação máxima de largura de + 20 cm para cada semiplataforma, não se admitindo variação negativa.

SOLOS e TERRAPALANEGEM

MEDIÇÃO DOS SERVIÇOS DE CORTE

A medição dos serviços deve levar em consideração o volume de material extraído e a respectiva dificuldade de extração, medido e avaliado no corte (volume in natura), além da distância de transporte percorrida, entre o local de corte e o local de deposição.

No encerramento dos serviços, as seções transversais devem ser levantadas topograficamente, disponibilizando subsídios para realizar o cálculo dos volumes, pelo método das médias das áreas TRANSVERSAIS.

Os materiais deverão, também, ser classificados conforme as classificações do solo, ou seja, em 1ª, 2ª e 3ª categoria.

No tocante ao transporte do material escavado, a distância correspondente deve ser determinada em termos de extensão axial entre:

o centro de gravidade de cada corte e o centro de gravidade do segmento de aterro em construção, para onde deverá ser conduzido o material excedente.

Por outro lado, no caso de deposição provisória ou bota-fora, é necessário considerar a distância adicional, decorrente do afastamento lateral.

SOLOS e TERRAPALANEGEM





F I M