



AULA: BARRAGENS

Prof. Dr. Fernando Lavoie

SGS 408 – Mecânica dos Solos 2

Introdução

- Projeto Multidisciplinar
- Planejamento
- Viabilidade Técnico-econômica
- Anteprojeto
- Projeto Básico
- Projeto Executivo

Introdução

- Planejamento

Plano geral para aproveitamento do rio

Estudo dos condicionantes de topografia, hidrografia e economia

Aproveitamento integral do rio: Nível d'água de montante de uma usina alcance o nível de jusante da próxima usina

Introdução

- Viabilidade Técnico-econômica

Verificar se o custo final da barragem, abrangendo custos de projeto, desapropriações e de construção fica dentro dos limites preestabelecidos relacionados ao benefício proporcionado pela barragem

Estudo de alternativas de tipos de barragens

Introdução

▪ Anteprojeto

Já deve estar definido o tipo de barragem e o local para a sua construção

São feitas análises de alternativas da posição do eixo, bem como do arranjo das estruturas e desvio do rio

São definidas as áreas a serem desapropriadas e as áreas de empréstimo

Introdução

▪ Projeto Básico

Realizam-se desenhos e quantidades de materiais para a licitação da construção

Realiza-se uma sugestão de desvio do rio, estabelecendo-se as vazões de projeto

Prevê também um cronograma de execução da obra

Introdução

▪ Projeto Executivo

Realizam-se desenhos e especificações pertinentes para a construção da obra com todos os detalhes necessários

A emissão de cada documento deve ocorrer com antecipação de alguns meses a cada etapa da obra

Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica

Introdução



Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica
- Abastecimento de Água

Introdução



Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica
- Abastecimento de Água
- Controle de Enchentes

Introdução



Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica
- Abastecimento de Água
- Controle de Enchentes
- Navegação

Introdução



Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica
- Abastecimento de Água / Saneamento
- Controle de Enchentes
- Navegação
- Irrigação

Introdução



Introdução

- Finalidades das Barragens
- Geração de Energia Elétrica
- Abastecimento de Água / Saneamento
- Controle de Enchentes
- Navegação
- Irrigação
- Contenção de Rejeitos

Introdução



Introdução



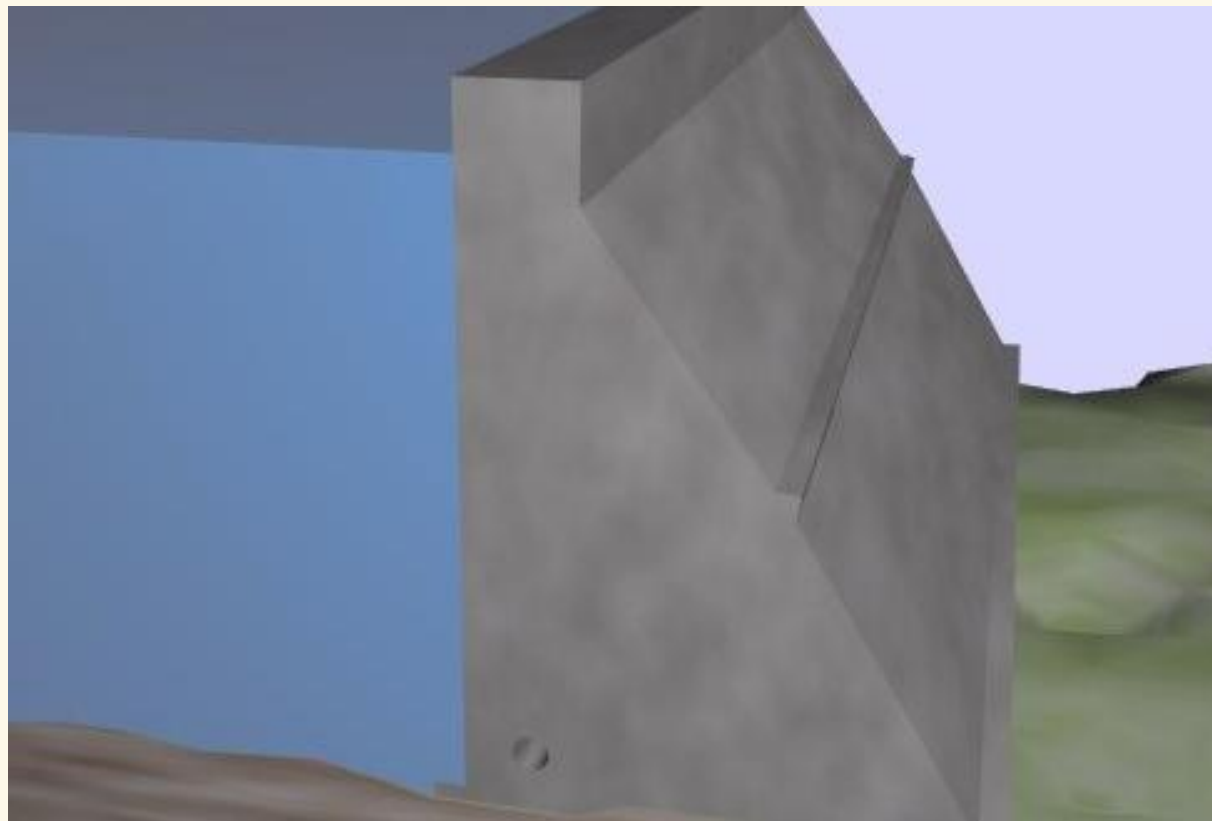
Introdução



Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)

Introdução



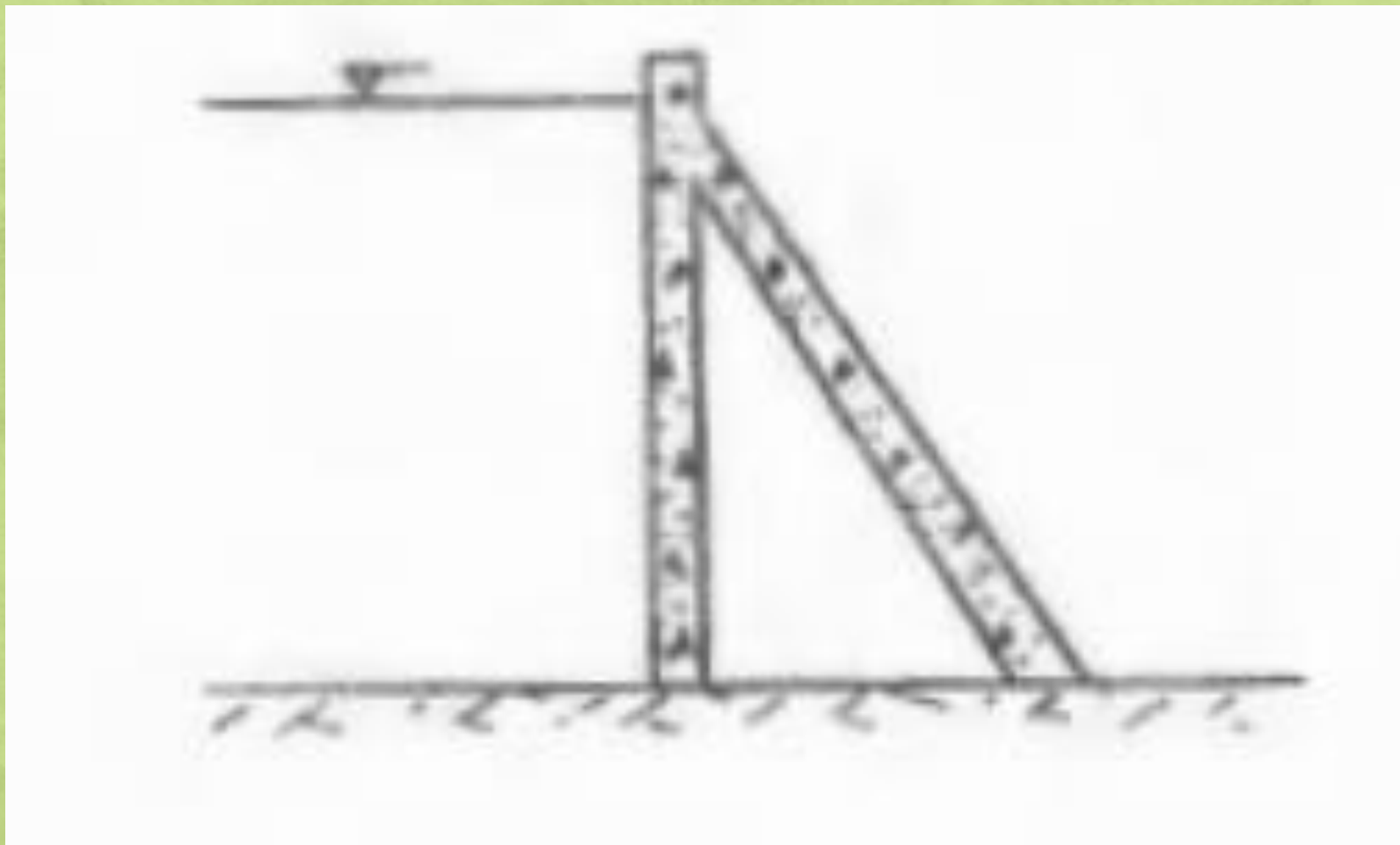
Introdução



Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)
- Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)

Introdução



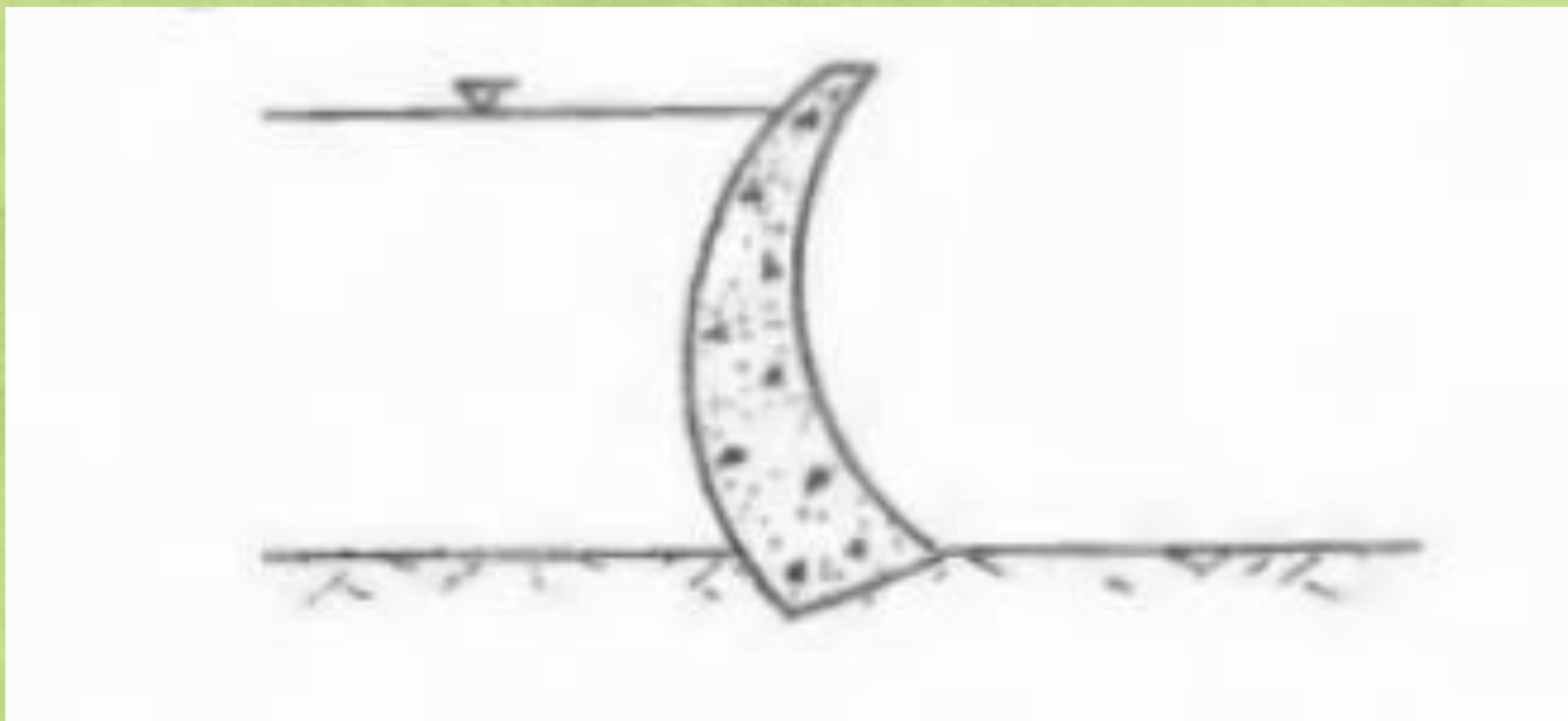
Introdução



Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)
- Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)
- Barragem em Arco (concreto armado)

Introdução



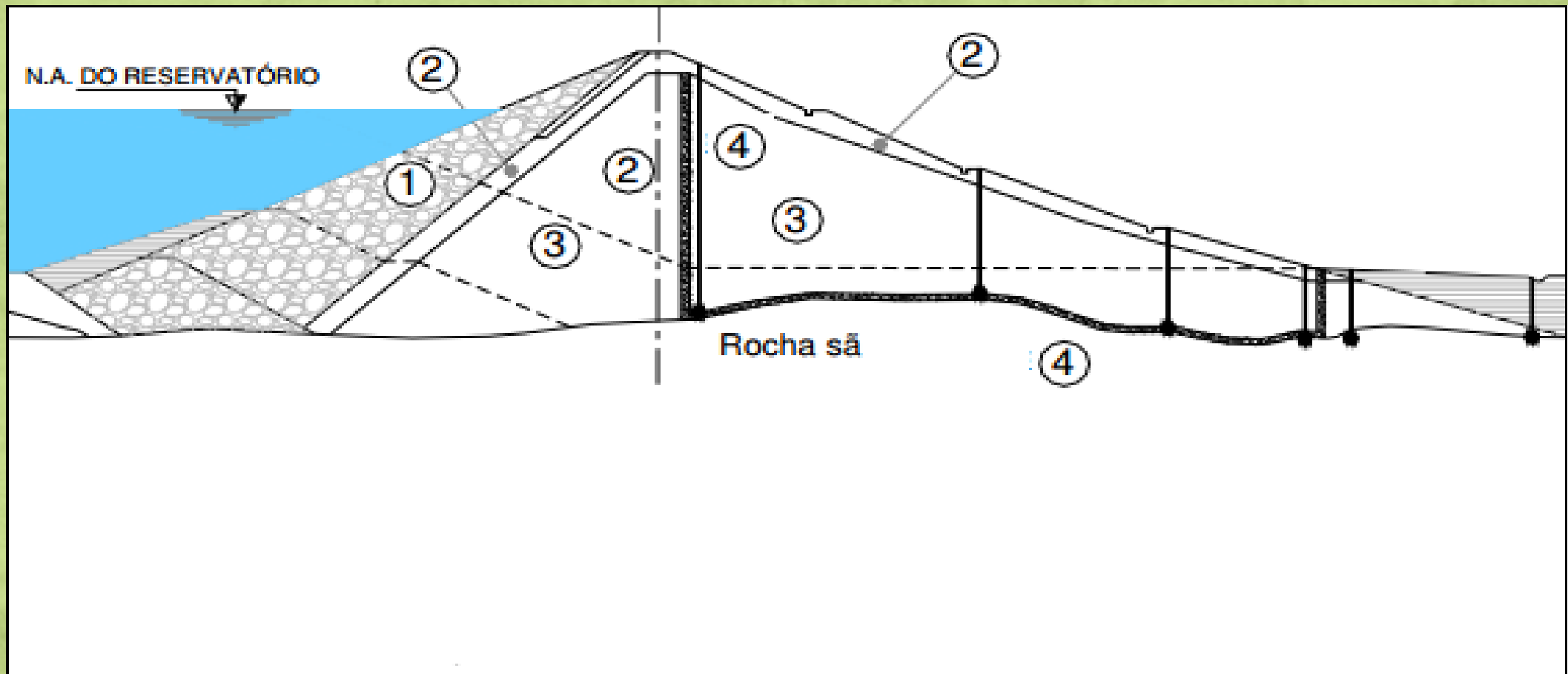
Introdução



Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)
- Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)
- Barragem em Arco (concreto armado)
- Barragem de Terra

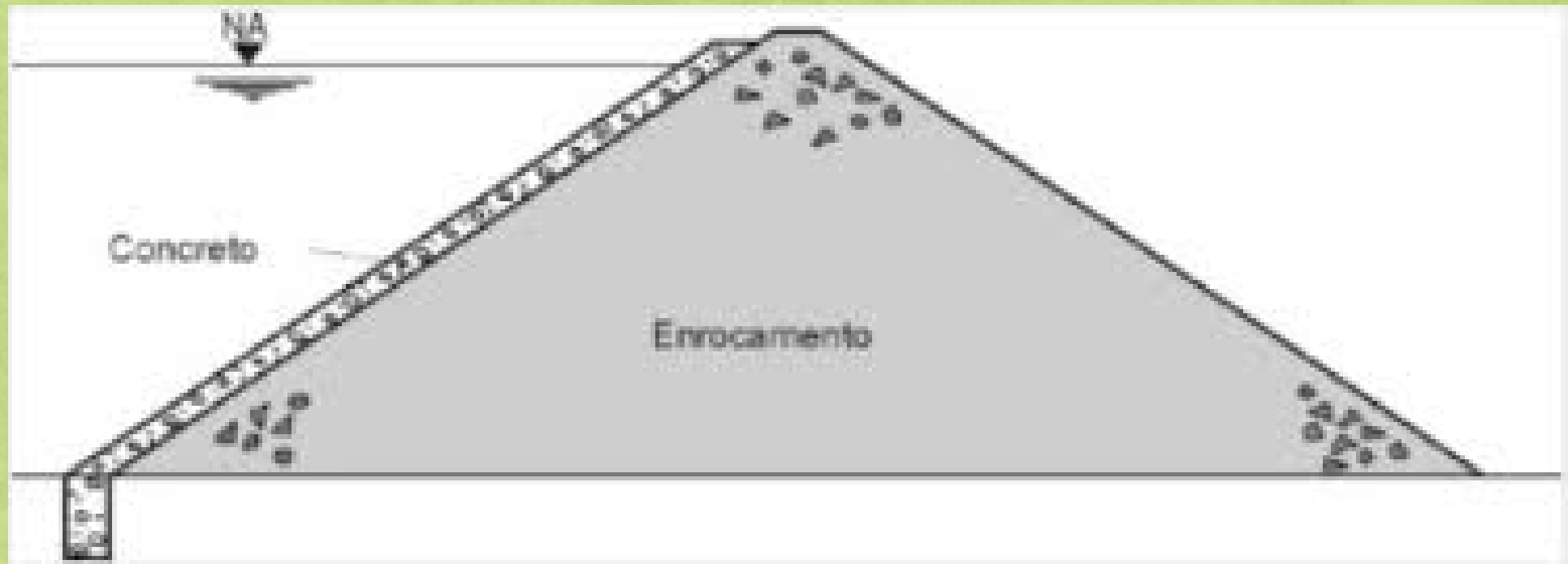
Introdução



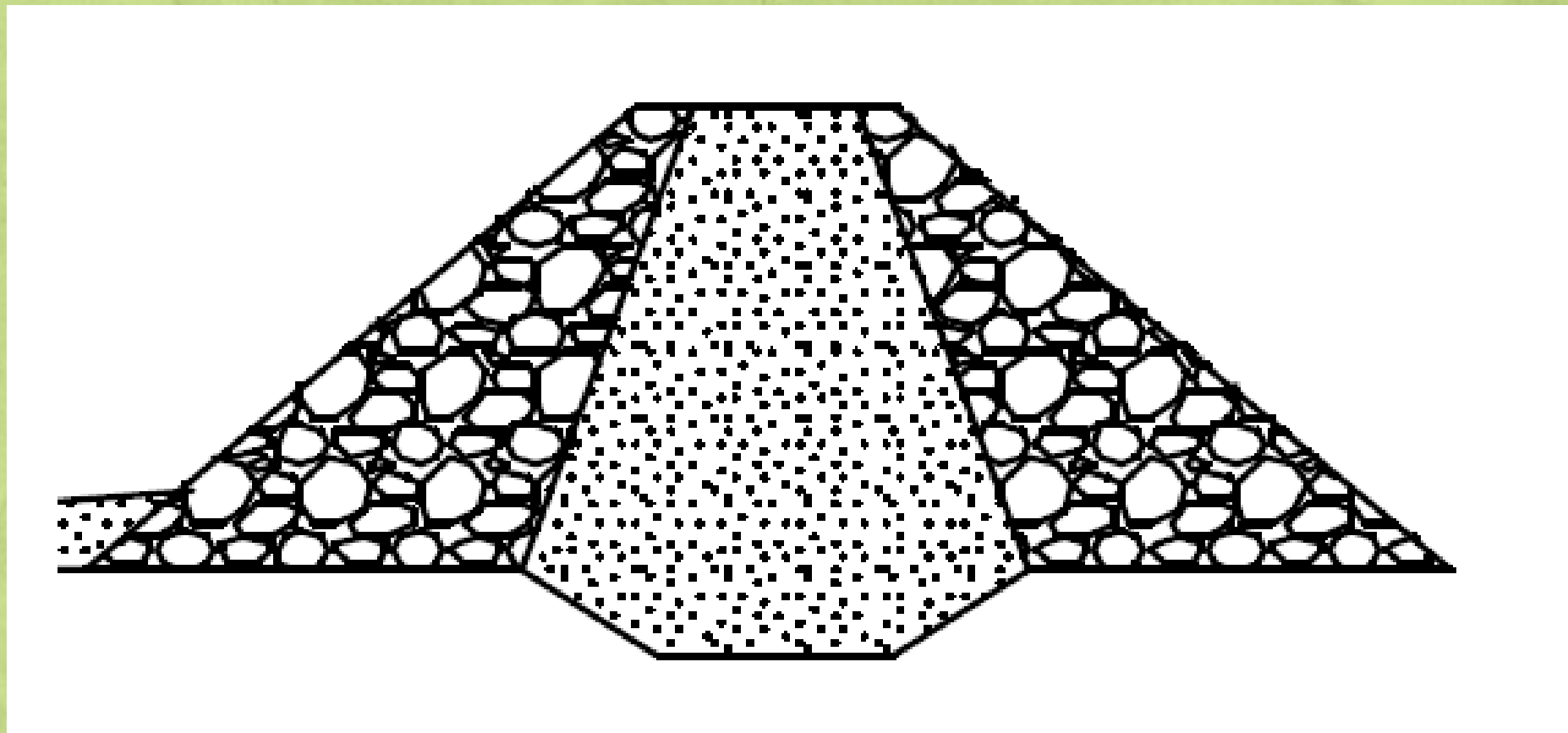
Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)
- Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)
- Barragem em Arco (concreto armado)
- Barragem de Terra
- Barragem de Enrocamento

Introdução

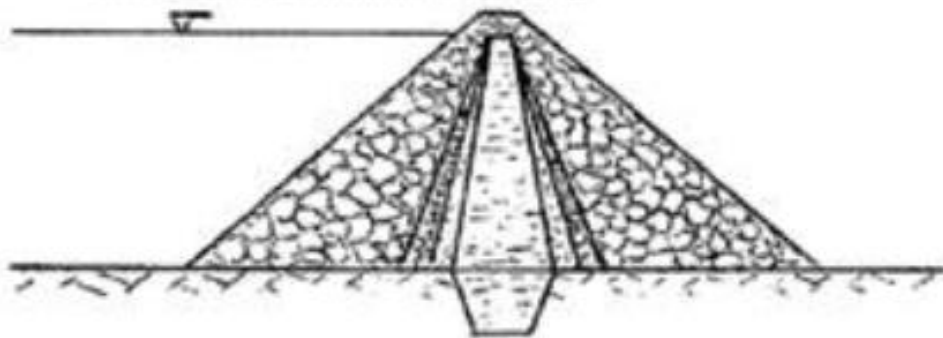


Introdução

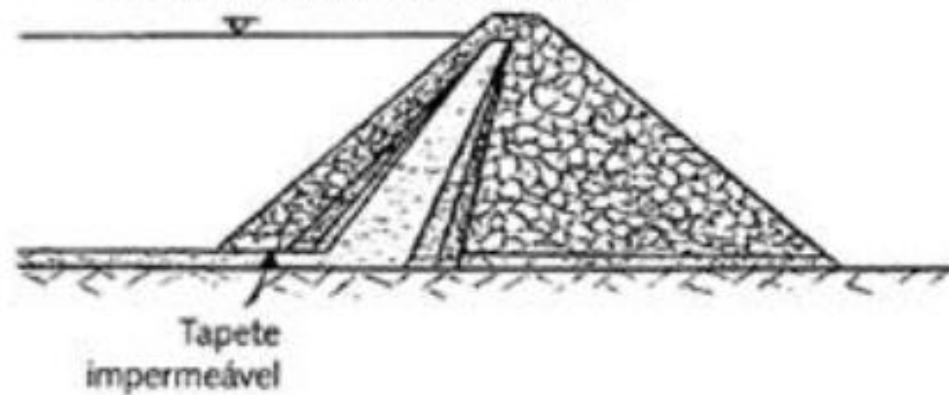


Introdução

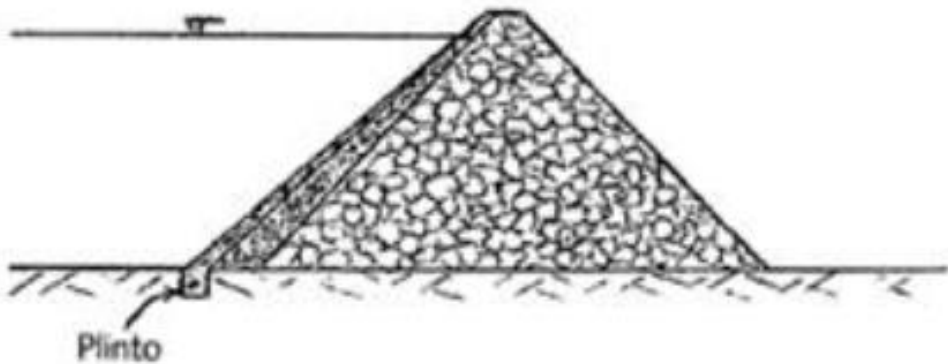
Enrocamento com núcleo central



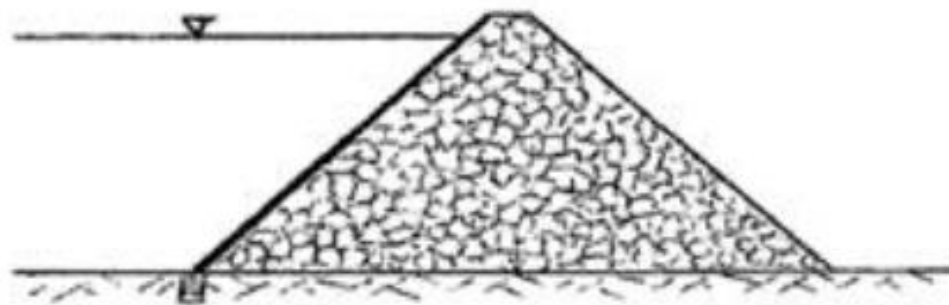
Enrocamento com núcleo inclinado



Enrocamento com face de concreto



Enrocamento com chapa de aço



Introdução



Introdução

- Tipos de Barragens
 - Barragem de Gravidade (concreto)
 - Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)
 - Barragem em Arco (concreto armado)
 - Barragem de Terra
 - Barragem de Enrocamento
 - Barragem de Gabião

Introdução



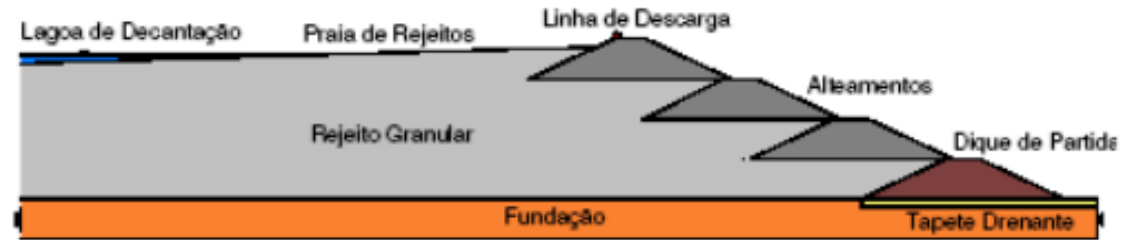
Introdução

- Tipos de Barragens
- Barragem de Gravidade (concreto)
- Barragem de Gravidade Aliviada (concreto)
- Barragem em Arco (concreto armado)
- Barragem de Terra
- Barragem de Enrocamento
- Barragem de Gabião
- Barragem de Rejeitos

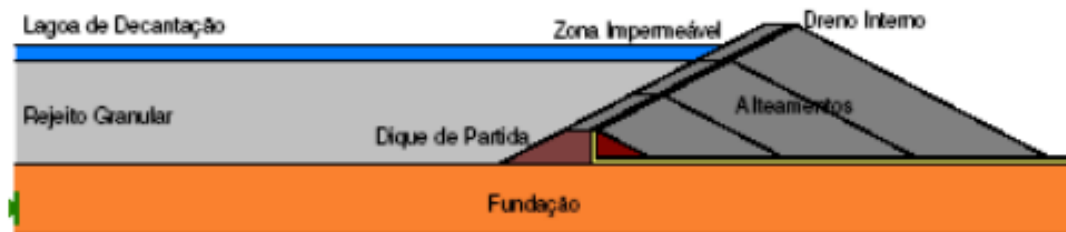
Introdução



Introdução



Aterro a montante



Aterro a jusante



Aterro por linha de centro

Introdução

- Fatores Físicos para a Escolha do Tipo de Barragem
 - Topografia
 - Tipo de Fundação
 - Materiais de Construção
 - Dimensões e Localização do Vertedouro
 - Experiência de Construção

Investigações Geológico-Geotécnicas

Basicamente realizadas para atender a duas finalidades:

- Investigação das Fundações do Local
- Pesquisa de Materiais de Construção

É importante investigar também a área do reservatório

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigações da Fundações:

Determinação dos três parâmetros principais:

- Resistência
- Compressibilidade
- Permeabilidade

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigações da Fundações:

Investigações de Superfície a partir do uso de mapas topográficos, mapas geológicos e fotografias aéreas:

- Litologia
- Profundidade de Recobrimento
- Profundidade de Intemperismo

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigações da Fundações:

- Sondagens a Percussão com Ensaio SPT

Investigações Geológico-Geotécnicas



Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigações da Fundações:

- Sondagens a Percussão com Ensaio SPT
- Poços e Trincheiras de Inspeção

Investigações Geológico-Geotécnicas



Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigações da Fundações:

- Sondagens a Percussão com Ensaio SPT
- Poços e Trincheiras de Inspeção
- Ensaios de Laboratório
- Sondagens Rotativas
- Sondagens Sísmicas

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigação dos Materiais de Construção:

Determinação dos três parâmetros principais para os materiais terrosos:

- Resistência
- Compressibilidade
- Permeabilidade

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigação dos Materiais de Construção:

- Sondagem a Trado
- Ensaios de Laboratório

Investigações Geológico-Geotécnicas

Investigação dos Materiais de Construção:

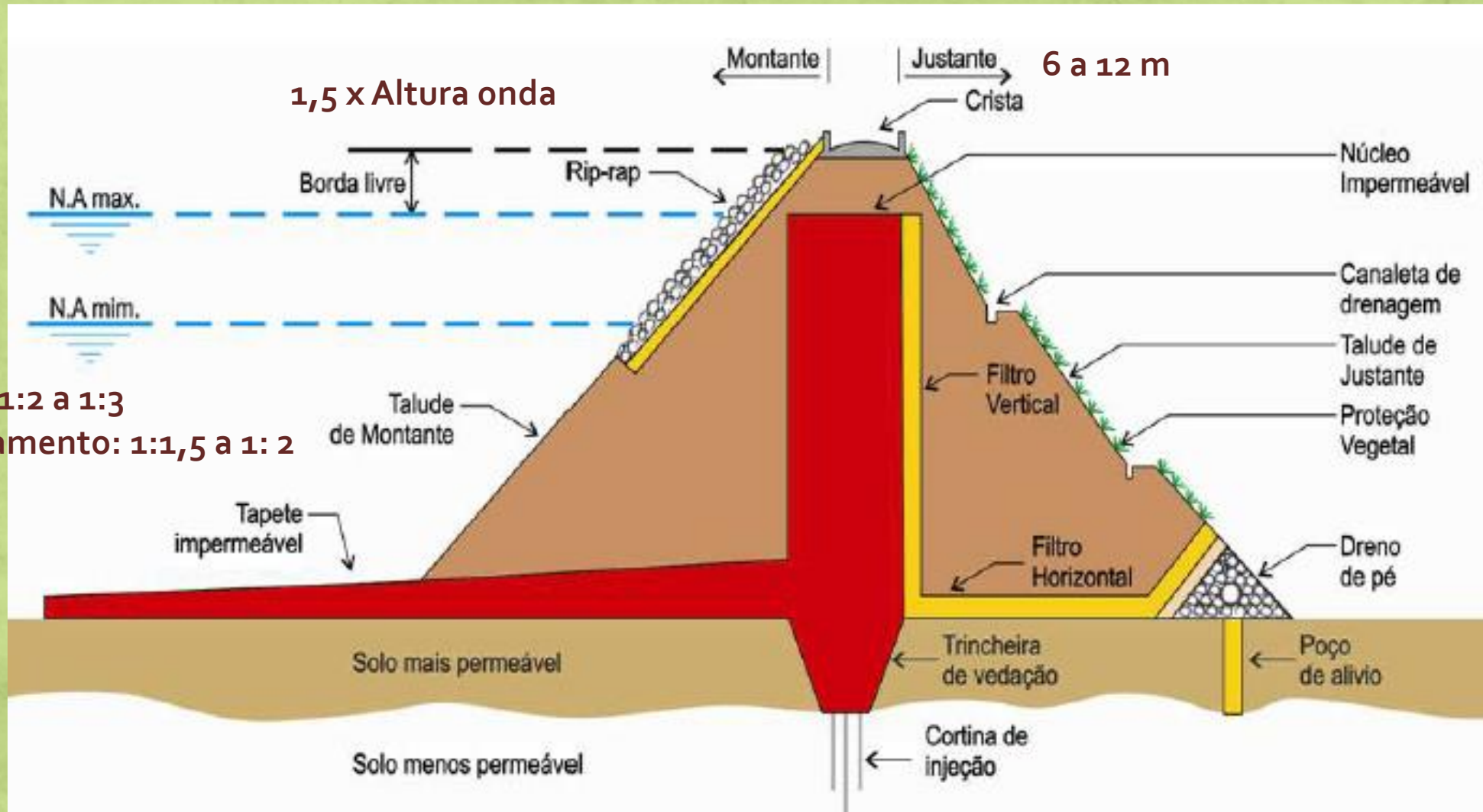
- Materiais Granulares para Filtros => Leito dos Rios
- Pedras Britadas => provenientes das escavações das fundações

Investigações Geológico-Geotécnicas

Aterros Experimentais:

- Tipo de equipamento de compactação
- Número de passadas
- Seleção de áreas de empréstimo
- Espessura da camada lançada
- Intervalos de umidade de compactação

Elementos Principais das Barragens



Tratamento da Fundação

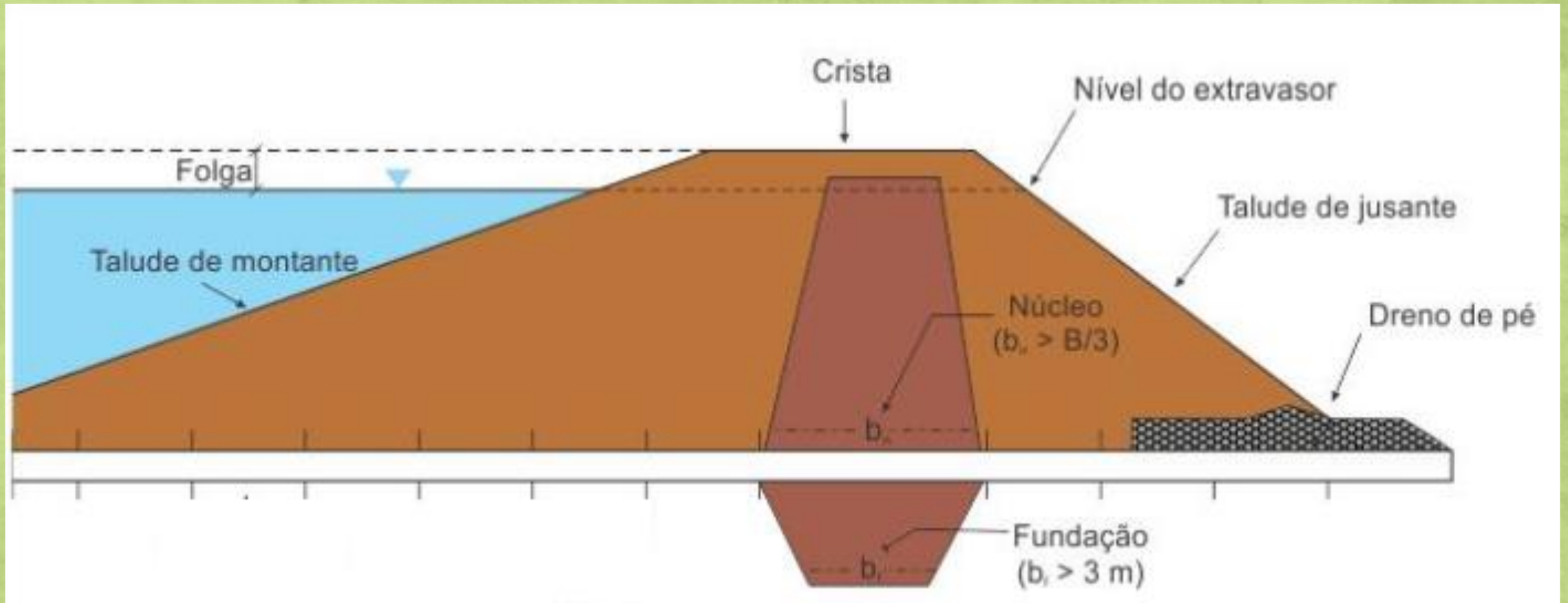
- Materiais de Fundação com Baixa Resistência e alta compressibilidade são removidos
- Materiais muito permeáveis, mas com boas características mecânicas são utilizados
- Nestes casos, deve-se utilizar sistemas de vedação ou impermeabilização

Tratamento da Fundação

Trincheira de Vedação:

- Escavação do material abaixo do núcleo da Barragem, substituído por aterro (cut-off)

Tratamento da Fundação

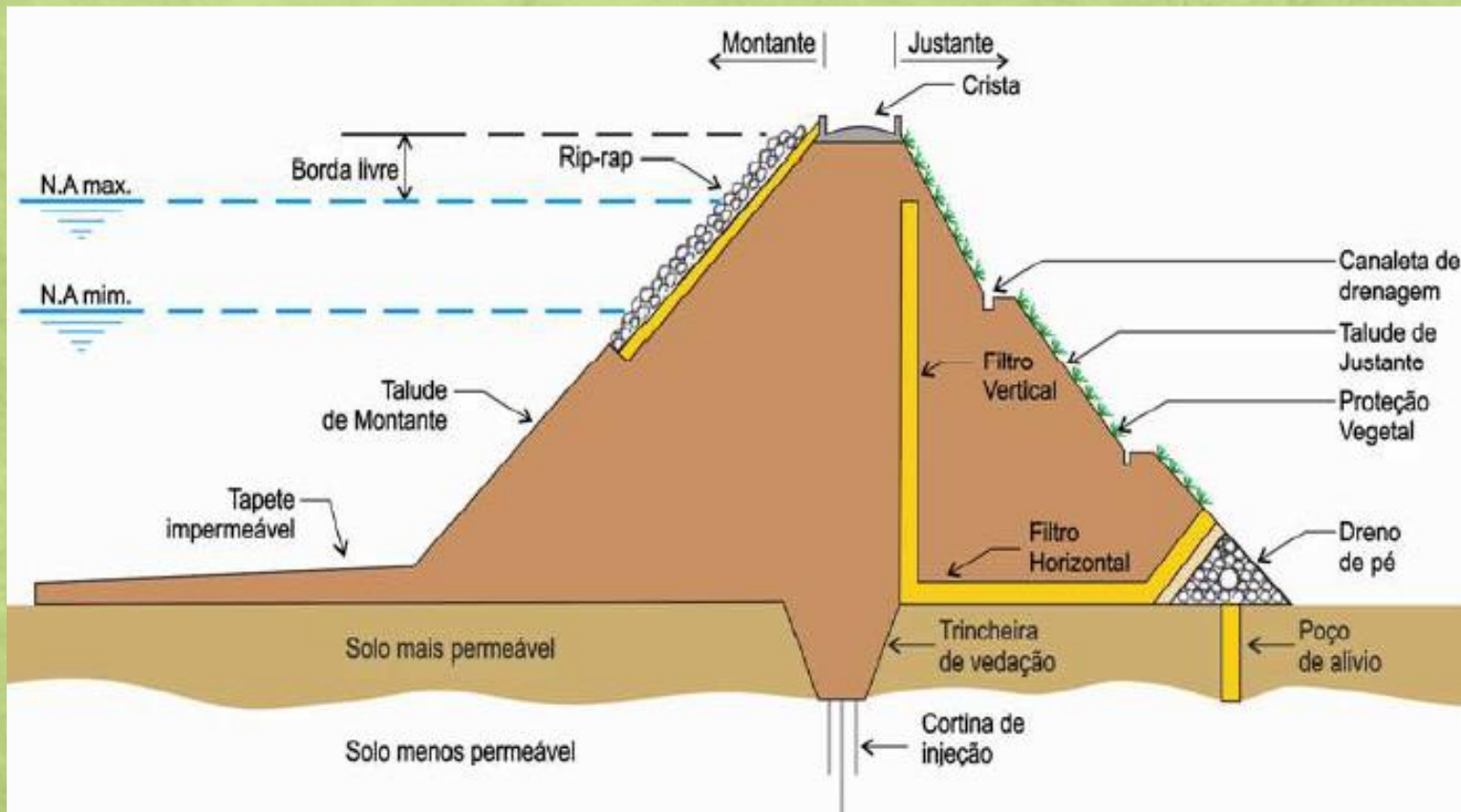


Tratamento da Fundação

Cortina de Injeção:

- Caso o material permeável da Fundação apresentar profundidade maior do que a trincheira de vedação, pode ser feito um tratamento com injeção de cimento

Tratamento da Fundação



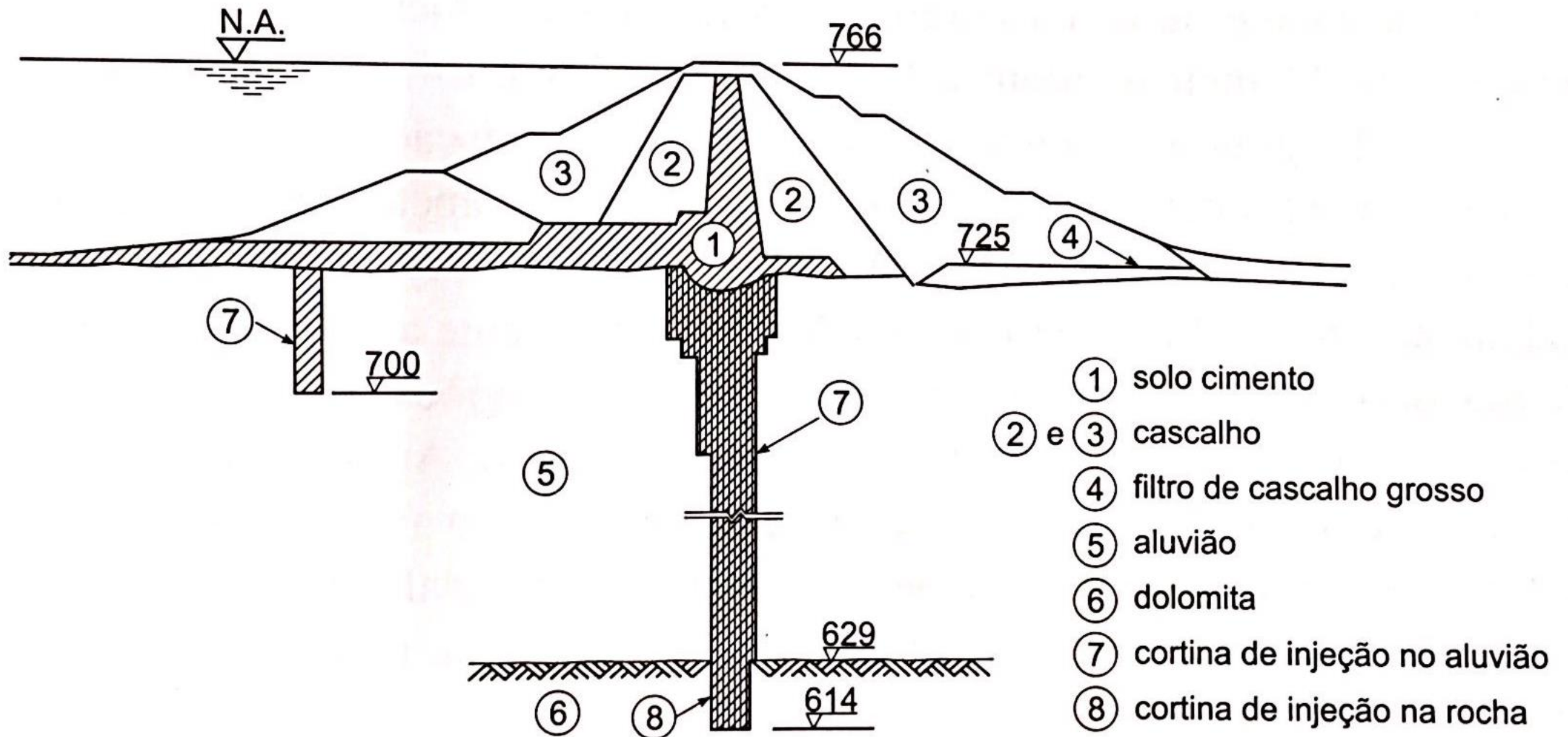
Linha de furos com 3 m de comprimento por rotação ou rotopercussão

Tratamento da Fundação

Parede Diafragma:

- A impermeabilização de camadas aluvionares também pode ser feita por meio da construção de paredes diafragma de concreto ou de solo-cimento

Tratamento da Fundação

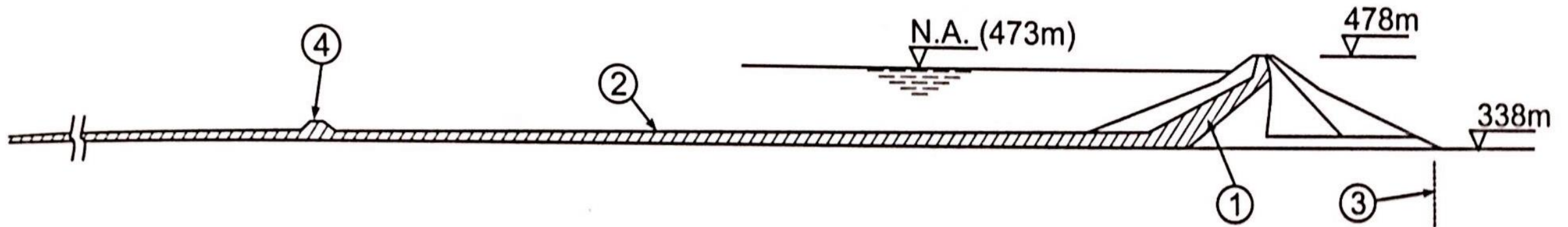


Tratamento da Fundação

Tapete Impermeável a Montante:

- Um tapete impermeável é construído a montante, conectado à seção impermeável da barragem, podendo reduzir o gradiente hidráulico através da fundação devido ao caminho longo de percolação da água sob a Barragem

Tratamento da Fundação



Espessuras entre 0,6 e 3,0 m

Drenagem Interna

- Se uma barragem é projetada para garantir uma vazão mínima a percolar pelo maciço, os métodos de impermeabilização são fundamentais, sendo a drenagem interna secundária
- Porém, em um rio com fluxo intenso, a drenagem possui o papel principal, pois a vazão no maciço é inexpressiva comparada ao fluxo do rio

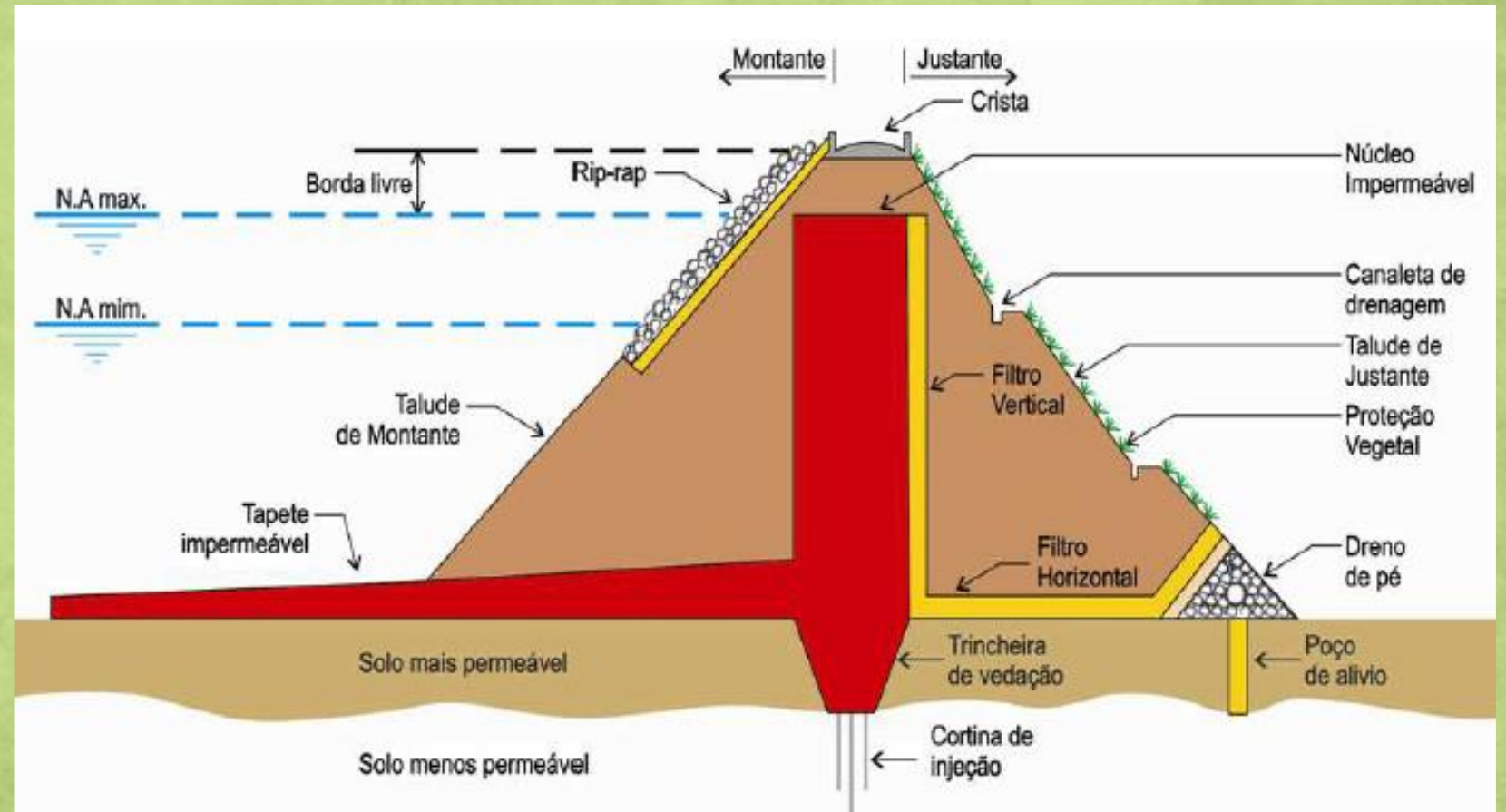
Drenagem Interna

Filtro em Chaminé:

- O dreno de pé a jusante é ineficiente para impedir a surgência d'água no talude de jusante
- O filtro em Chaminé intercepta o fluxo horizontal e mantém não saturada a zona de espaldar de jusante
- Desta forma, o FS de estabilidade aumenta

Drenagem Interna

- Construído em areia para evitar trincas de tração dentro do filtro



Drenagem Interna

Dimensionamento do Filtro:

- Os vazios da areia devem ser suficientemente pequenos para evitar o carreamento das partículas do aterro
- E os vazios devem ser suficientemente grandes para garantir uma permeabilidade adequada para o escoamento da água

Drenagem Interna

Dimensionamento do Filtro:

- Terzaghi e Peck (1948):

$$D_{15}(\text{filtro}) \leq 5 D_{85}(\text{solo})$$

Esta condição limita o tamanho dos finos do filtro

$$D_{15}(\text{filtro}) \geq 5 D_{15}(\text{solo})$$

Esta condição garante que o filtro seja mais permeável que o solo

Por fim, a curva granulométrica do filtro deve ser aproximadamente paralela à do solo

Drenagem Interna

Transições nas Barragens de Enrocamento:

- Nas Barragens de enrocamento com núcleo de terra, o filtro em chaminé é desnecessário
- Entre o aterro e o enrocamento, devem ser inseridas camadas de granulometria intermediária

Drenagem Interna

Transições nas Barragens de Enrocamento:

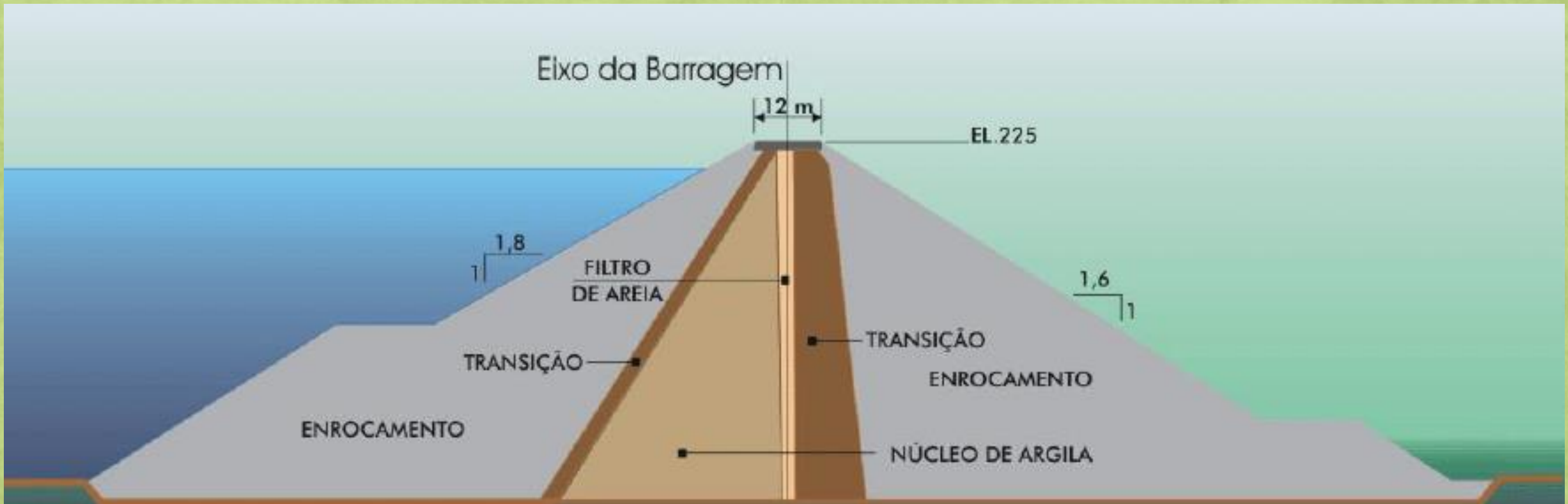
- Os critérios de filtro entre dois solos deve ser respeitado, do aterro para o enrocamento
- Na transição a montante, uma ou duas camadas de materiais de granulometria intermediária deve ser inseridas

Drenagem Interna

Transições nas Barragens de Enrocamento:

- Nas Barragens de enrocamento com face de concreto também deve ser inseridas camadas intermediárias

Drenagem Interna



Drenagem Interna

Tapete Drenante:

- Tem a função de conduzir para o pé de jusante da Barragem as águas coletadas pelo filtro em chaminé e as que percolam através da fundação

Drenagem Interna

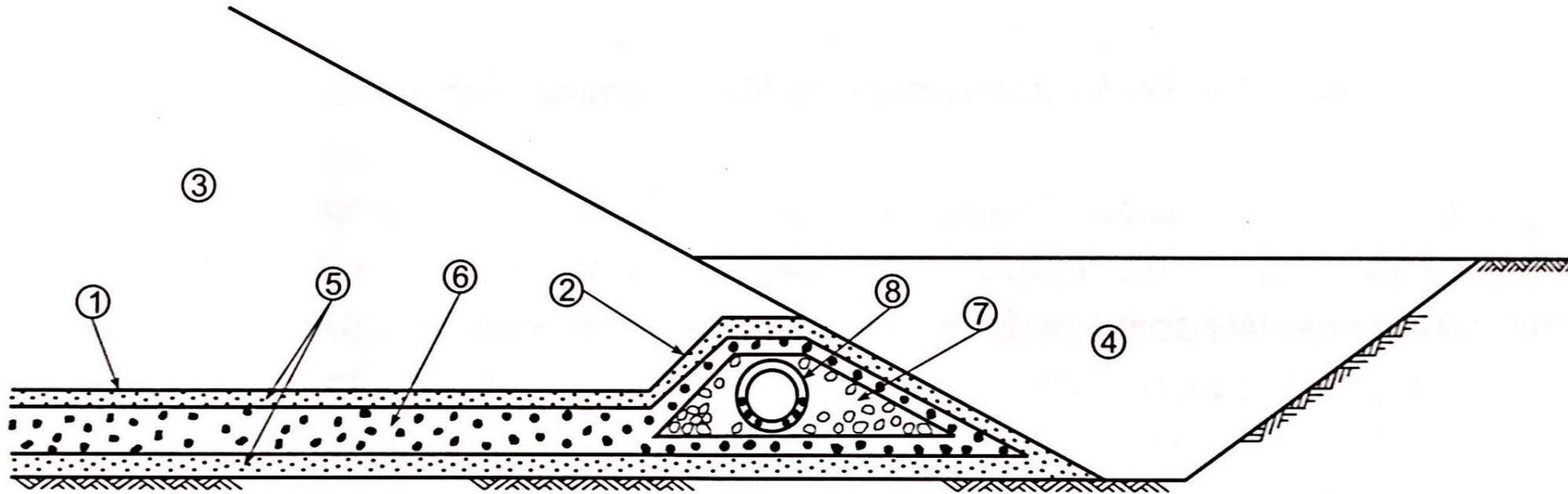


Drenagem Interna

Dreno de Pé:

- É um dreno longitudinal, com eixo paralelo à saia da Barragem
- As águas que percolam através do filtro em chaminé e pelo tapete drenante chegam até o dreno de pé
- Quando as vazões são muito altas, são introduzidos tubos perfurados de concreto

Drenagem Interna



① tapete drenante (tipo sanduíche)

② dreno de pé

③ maciço da barragem

④ reaterro

⑤ camadas de areia

⑥ camada de pedrisco

⑦ dreno de pedra britada

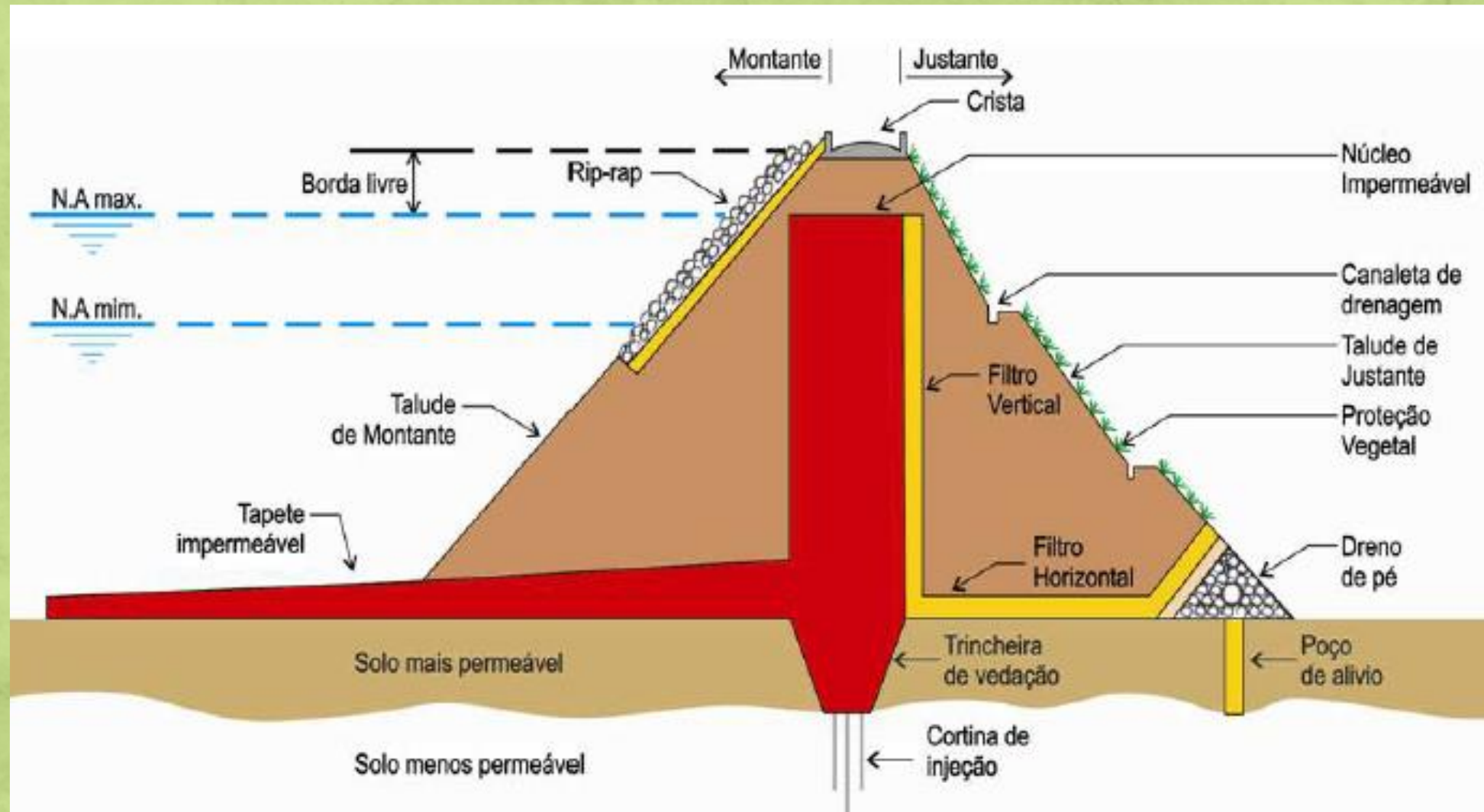
⑧ tubo perfurado de concreto

Drenagem Interna

Poços de Alívio:

- São dispositivos utilizados para reduzir as subpressões desenvolvidas pela percolação de água na fundação
- São perfurados sob o dreno de pé, variando entre 75 a 150 mm de diâmetro

Drenagem Interna



Métodos Construtivos

Operações Básicas para a Construção:

- Escavação
- Transporte
- Espalhamento
- Separação de Materiais
- Correção de Umidade
- Homogeneização
- Compactação

Métodos Construtivos

Escavação:

- Executada por meio de escavadeiras, pás carregadeiras, dragas, scrapers, loaders

Métodos Construtivos

Escavadeiras



Métodos Construtivos

Pá Carregadeira



Métodos Construtivos

Draga



Métodos Construtivos

Scraper



Métodos Construtivos

Loader



Métodos Construtivos

Transporte:

- Parcela considerável do custo da obra
- Caminhões Basculantes, Vagões, Scrapers, Correias Transportadoras, Calhas ou Tubulações

Métodos Construtivos

Caminhão Basculante



Métodos Construtivos

Espalhamento:

- O material deve ser lançado em direção paralela ao eixo da barragem
- Nas Barragens de enrocamento com núcleo de terra, os blocos maiores devem ficar mais afastados do núcleo

Métodos Construtivos

Motoniveladora:



Métodos Construtivos

Separação e Mistura dos Materiais:

- Devem ser removidos os blocos maiores que a espessura das camadas
- Separação deve ser feita por meio de uma usina de peneiramento

Métodos Construtivos

Correção de Umidade:

- Deve ser feita predominantemente na área de empréstimo
- O material deve ser transportado com 1 % acima do teor de umidade

Métodos Construtivos

Correção de Umidade:

- Quando a diferença do teor de umidade é muito grande, deve-se:
- Realizar a operação de aeração ou irrigação com bastante antecedência

Métodos Construtivos

Irrigação com
Caminhão-
Pipa:



Métodos Construtivos

Homogeneização:

- Realizada para garantir a mistura perfeita, entre o material solto, remanescente da camada inferior e o da camada lançada
- Utilizada também para a escarificação do topo das camadas que se apresentam lisas

Métodos Construtivos

Grade de Discos:



Métodos Construtivos

Equipamentos de Compactação:

- De compressão ou estáticos
- De impacto
- De vibração

Métodos Construtivos

Tipo	Solo	Modo de compactar	Parâmetros dos equipamentos			
			e (cm)	N	v (km/h)	p ou P
Rolo pé de carneiro	Argila ou silte	De baixo para cima	20 a 25	8 a 10	≤ 4	1 a 3 MN/m ²
Rolo pneumático	Silte, areia com finos	De cima para baixo	30 a 40	4 a 6	4 a 6	0,5 a 0,7 MN/m ²
Rolo liso vibratório	Material granular	Vibração	60 a 100	2 a 4	≥ 8	50 a 100 kN

Legenda: e – espessura da camada de solo solto; N – número de passadas do rolo compactador
v – velocidade do rolo compactador; p – pressão na pata ou no pneu
P – Peso do rolo vibratório

Métodos Construtivos



Métodos Construtivos

Tipo	Solo	Modo de compactar	Parâmetros dos equipamentos			
			e (cm)	N	v (km/h)	p ou P
Rolo pé de carneiro	Argila ou silte	De baixo para cima	20 a 25	8 a 10	≤ 4	1 a 3 MN/m ²
Rolo pneumático	Silte, areia com finos	De cima para baixo	30 a 40	4 a 6	4 a 6	0,5 a 0,7 MN/m ²
Rolo liso vibratório	Material granular	Vibração	60 a 100	2 a 4	≥ 8	50 a 100 kN

Legenda: e – espessura da camada de solo solto; N – número de passadas do rolo compactador
v – velocidade do rolo compactador; p – pressão na pata ou no pneu
P – Peso do rolo vibratório

Métodos Construtivos



Métodos Construtivos

Tipo	Solo	Modo de compactar	Parâmetros dos equipamentos			
			e (cm)	N	v (km/h)	p ou P
Rolo pé de carneiro	Argila ou silte	De baixo para cima	20 a 25	8 a 10	≤ 4	1 a 3 MN/m ²
Rolo pneumático	Silte, areia com finos	De cima para baixo	30 a 40	4 a 6	4 a 6	0,5 a 0,7 MN/m ²
Rolo liso vibratório	Material granular	Vibração	60 a 100	2 a 4	≥ 8	50 a 100 kN

Legenda: e – espessura da camada de solo solto; N – número de passadas do rolo compactador
v – velocidade do rolo compactador; p – pressão na pata ou no pneu
P – Peso do rolo vibratório

Métodos Construtivos



Métodos Construtivos

Tapete Drenante:



Métodos Construtivos

Filtro em Chaminé:

