



FACULDADE FINOM DE PATOS DE MINAS

CENTRO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO E CULTURA - CENBEC

DIRETORIA ACADÊMICA

BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO

Professor: Esp. Luiz Claudio Silva Pires

E-mail: luizfinomaluno@hotmail.com

- ▶ Matéria Semestral

- ▶ Aulas :
- ▶ Segunda - feira - 1º e 2º
- ▶ Terça - feira - 3º
- ▶ Quarta - feira - 1º
- ▶ Aulas práticas: Definidas
- ▶ Pré-requisitos: Capacete / CIPA
Botina / CA

BARRAGENS DE TERRA E
ENROCAMENTO

- ▶ Demonstrar varias atribuições dentro da área da engenharia civil, com teoria aplicada e com o objetivo de facilitar o conhecimento das informações dentro da área de aplicação desses estudos em sala de aula.

OBJETIVOS DO CURSO

MATERIAIS NECESSÁRIOS

Leitura

- Livros/ Biblioteca
- Artigos
- Web
- Outros

Tecnologia/Ferramentas

- Calculadora

- ▶ Demonstrações
- ▶ Discussões em aula/Discussões virtuais
- ▶ Exercícios individuais/em grupo
- ▶ Aulas

MÉTODOS PARA INSTRUÇÃO

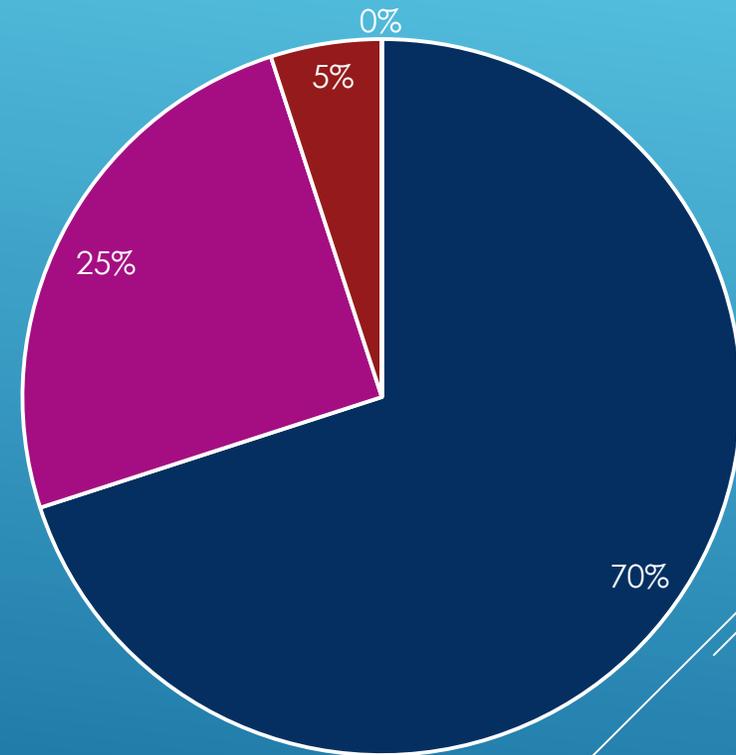
Bimestral	Tópico	Atribuição/Projeto	Objetivo
Semana 1	Tópico 1	Descrição resumida	Objetivo
Semana 2	Tópico 2	Descrição resumida	Objetivo
Semana 3	Tópico 3	Descrição resumida	Objetivo
Semana 4	Tópico 4	Descrição resumida	Objetivo
Semana 5	Tópico 5	Descrição resumida	Objetivo

AGENDA

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

- ▶ Atribuição Bimestral - 10 pontos :
- ▶ Exercícios avaliativos - 2,5 pontos
- ▶ Prova final - 7,0 pontos
- ▶ Biblioteca - 0,5 ponto
- ▶ Aprovação mínima total - 7,0 pontos
- ▶ Demais formas de avaliação, de acordo com as normas da Instituição.

Percentual avaliativo



■ Provas Bimestrais ■ Exercícios ■ Biblioteca ■

DÚVIDAS?



AS **BARRAGENS CONVENCIONAIS** SÃO ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS TRANSVERSALMENTE AOS VALES E UTILIZADAS BASICAMENTE PARA A ACUMULAÇÃO DE ÁGUA. EM FUNÇÃO DA FINALIDADE A SER DADA À ÁGUA ACUMULADA ,AS BARRAGENS PODEM SER CLASSIFICADAS EM:

- ▶ Barragens para abastecimento de água
- ▶ Barragens para geração de energia elétrica
- ▶ Barragens para irrigação
- ▶ Barragens para controle de cheias
- ▶ Barragens para perenização de rios
- ▶ barragens para dessedentação/ criação de animais(gado ,peixes, aves)
- ▶ barragens para paisagismo ou prática de esportes

- ▶ Barragens para aprimorar as condições ambientais (umidificação)
 - ▶ Barragens para contenção de sedimentos e/ou controle de erosão
 - ▶ Barragens para contenção de rejeitos industriais
 - ▶ Açudes e outras
- 

FINALIDADE DE UMA BARRAGEM

As barragens são feitas para armazenar a maior quantidade de água possível, seja pluvial ou até mesmo fluvial. As duas principais finalidades de uma barragem são para abastecimento de água em áreas residenciais, industriais, agrícolas, e para geração de energia elétrica (nas chamadas usinas hidroelétricas – ex.: Itaipu, Paulo Afonso, Tucuruí). Atualmente há também a concepção para aproveitar o potencial da região alagada para desenvolver a pesca (piscicultura) nas comunidades ribeirinhas e até mesmo como turismo e esporte.

Atrás da finalidade de acúmulo de água pode haver motivos mais relevantes para a concepção de uma barragem, tais como:

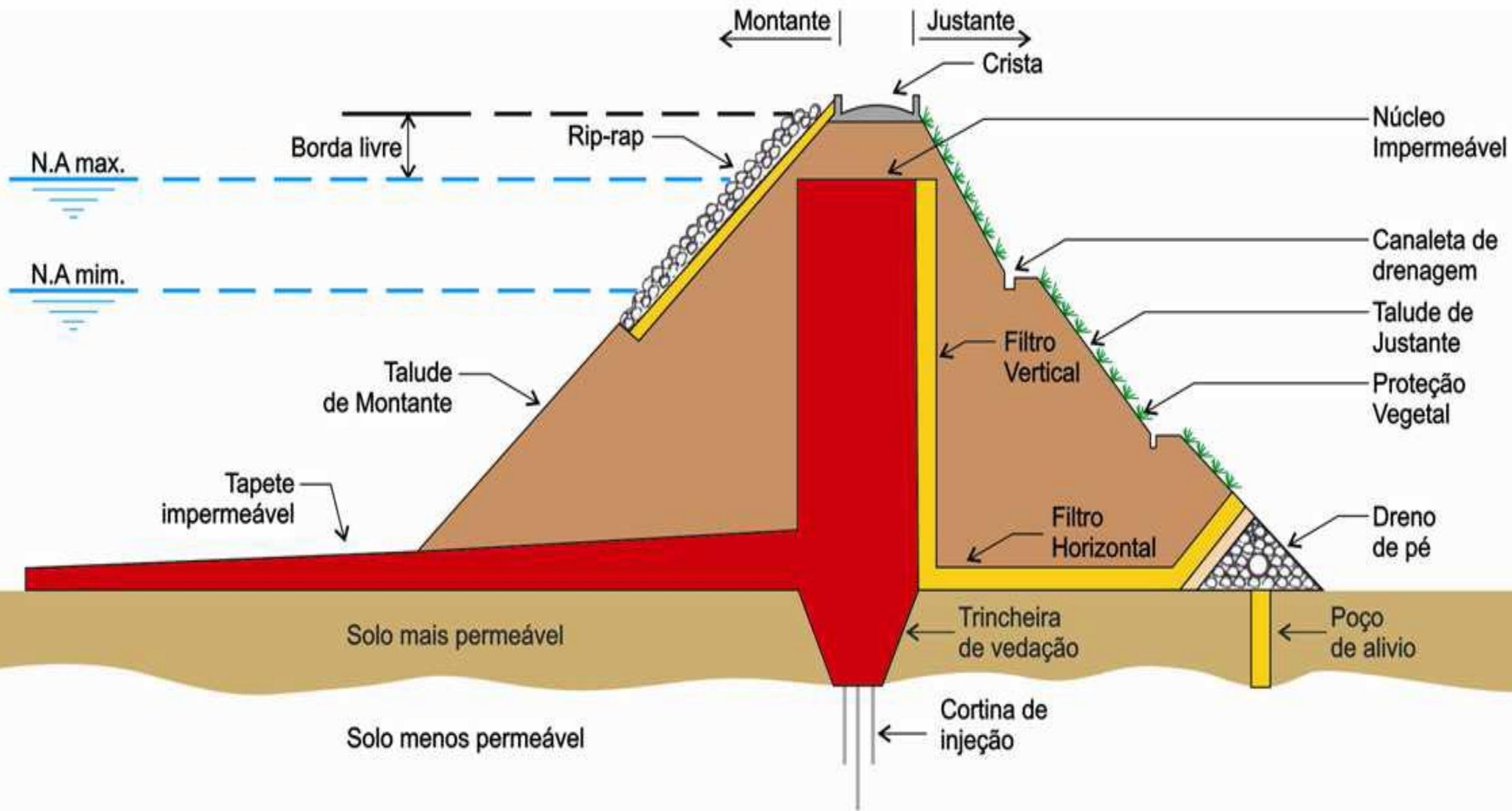
- **Controle de cheias** – devido à ocupação humana e à degradação da bacia às vezes há necessidade de reter temporariamente grandes volumes de água para evitar inundações;
- **Rejeitos de minerações** – estas barragens servem para conter as águas provenientes das minerações, a fim de evitar que as substâncias químicas invadam os mananciais;
- **Correção torrencial** – embora de pequeno porte destinam-se a mudar o regime do rio, diminuindo sua velocidade que é causadora de erosões;

- **Conservação de água** – destinam-se a armazenar as águas pluviais ficando com uma reserva apta para qualquer período de carência de água;
 - **Controle de poluição** – para captação de resíduos, geralmente anexadas na barragem principal, com a finalidade de desviar uma parcela e estabelecer uma qualidade melhor ao final do curso;
 - **Navegação** – proporcionando navegabilidade em uma região para facilitar o transporte;
- 

São os seguintes os principais elementos de uma barragem de terra, os quais são apresentados na Figura IV.1 e também descritos em detalhes:

- 1- Crista;
- 2- Borda livre;
- 3- Talude de montante;
- 4- Proteção do talude de montante (rip-rap);
- 5- Talude de jusante;
- 6- Proteção do talude de jusante (grama ou outro elemento);
- 7- Trincheira de vedação;
- 8- Filtro horizontal;
- 9-Filtro vertical;

- 10- Dreno de pé;
- 11- Cortina de injeção;
- 12- Poço de alívio;
- 13- Tapete impermeável;
- 14- Sistema de drenagem das águas pluviais.



São os seguintes os principais elementos de uma barragem de terra:

Crista - Na crista deve haver um sistema de drenagem que permita o escoamento das águas de chuva de maneira segura, objetivando-se evitar erosões e empoçamento de água.

Borda livre - A borda livre (ou folga, revanche, freeboard: é a distancia vertical entre a crista da barragem e o nível das águas do reservatorio e objetiva a segurança contra o transbordamento, que pode ser provocado pela ação de ondas formadas pela ação dos ventos, evitando danos e erosão no talude de jusante.

Talude de montante - São as duas faces laterais e inclinadas paralelas ao eixo do maciço. O talude montante é aquele que fica do lado da água. Enquanto que, o talude jusante fica do lado oposto da água

Proteção do talude de montante (rip-rap) - Proteção devido a ação das ondas que se formam no reservatório, e também das águas de chuva que podem vir da crista, o talude de montante deve ser protegido contra a erosão.

Talude de Jusante - Face do lado oposto da água que se interpõe com o talude da montante.

Proteção do talude de Jusante (grama ou outro elemento) - Proteção contra a erosão, causada pelas águas de chuva, que podem adquirir grandes velocidades, ao percorrer a distância entre o topo e o pé do talude.

Trincheira de Vedação - A escavação de trincheiras atravessando as camadas superficiais, e o seu preenchimento com materiais argilosos compactados é a forma mais utilizada para interromper o fluxo de água sob a fundação da barragem.

Filtro Horizontal - uma espécie de drenagem, em forma de tapete drenante, que caracteriza os elementos de proteção contra futuros problemas.

Filtro Vertical – É uma espécie de drenagem, em forma de chaminé, que caracteriza os elementos de proteção contra futuros problemas.

Dreno de pé - O dreno de pé capta todas as águas que percolam através do filtro em chaminé e do tapete drenante, chegando ao pé de jusante, conduzindo - as de volta ao rio, a jusante da barragem.

Necessidade de núcleo central: Quando o solo original não for de boa qualidade, deve ser construído um núcleo central no maciço com material granular adequado trazido de outro local, para evitar a infiltração de água pelo corpo da barragem

A seguir representam os principais elementos de uma usina hidrelétrica:

Reservatório ou lago: Surge quando a água do rio é represada pela construção de uma barragem.

Barragem: É uma estrutura construída no leito de um rio, permitindo acumular água. Pode ser de terra, enrocamento, alvenaria ou concreto.

Vertedouro: Permite o controle do nível da água do reservatório, principalmente em períodos de cheias. Pode ter ou não comportas.

Tomada d'água: É a estrutura que permite a condução da água do reservatório para adução das turbinas. Equipada com comportas de fechamento e grades de proteção.

Conduto Forçado: É a canalização que conduz água, sob pressão, para as turbinas. Podem ser externos ou subterrâneos.

Casa de Força: Local de onde se opera a usina e estão localizados os grupos turbo-geradores e auxiliares.

Canal de Fuga: Local de saída da água após movimentar as turbinas.

Subestação: Recebe a energia elétrica gerada na usina, transformando-a em alta tensão, para que possa ser transportada pelas linhas de transmissão a grandes distâncias.

Turbina: É uma roda com pás. A água faz a turbina girar ao atingi-la, transformando energia hidráulica em energia mecânica.

Gerador: Está acoplado mecanicamente à turbina. A energia mecânica disponível no eixo da turbina é transformada em energia elétrica pelo gerador





ESCOLHA DO LOCAL DO BARRAMENTO

Os critérios para a escolha do local do barramento estão associados diretamente à concepção e aos objetivos do empreendimento.

EXEMPLO:



Barragens para geração de energia elétrica (custo por kwh):

- maior vazão média regularizada (maior área da bacia hidrográfica e maior volume do reservatório)
- maior desnível topográfico (maior altura de queda)
- menor interferência no reservatório (menores custos de desapropriação, de remanejamento de infraestrutura ou de população)
- menor linha de transmissão.

Escolha do Eixo do Barramento

Os critérios para a escolha do eixo do barramento estão associados a aspectos operacionais e econômicos:

- menor volume de aterro
- melhores condições de fundação (maior resistência, menor permeabilidade, menor compressibilidade, menor escavação, etc)
- menores distâncias de transporte dos materiais de construção
- menor custo das estruturas auxiliares (obras de desvio, vertedouro, tomada d'água, casa de força, etc).

Tipos de Barragens - Convencionais

Dependendo do material de construção, as barragens podem ser classificadas em dois grandes grupos:

- barragens de concreto ou betão
- barragens convencionais de terra e/ou enrocamento

As barragens de concreto são aquelas construídas essencialmente com materiais granulares produzidos artificialmente aos quais se adicionam cimento e aditivos químicos.

As barragens de terra e/ou enrocamento são aquelas construídas com materiais naturais tais como argilas, siltes e areias ou com materiais produzidos artificialmente tais como britas e enrocamentos. No caso de barragens de contenção de rejeitos, os próprios rejeitos podem ser utilizados como materiais de construção e, assim, estas estruturas são denominadas barragens de rejeitos.

Barragens de Concreto

Os tipos mais comuns destas barragens são:

- barragem de concreto gravidade
- barragem de concreto em arco
- barragem de contrafortes

» Estas barragens podem ser construídas com concreto armado ou com concreto rolado.

» As barragens construídas em concreto armado utilizam formas, armação e lançamento de concreto semelhantes à construção de outras estruturas civis tais como pontes e outras.

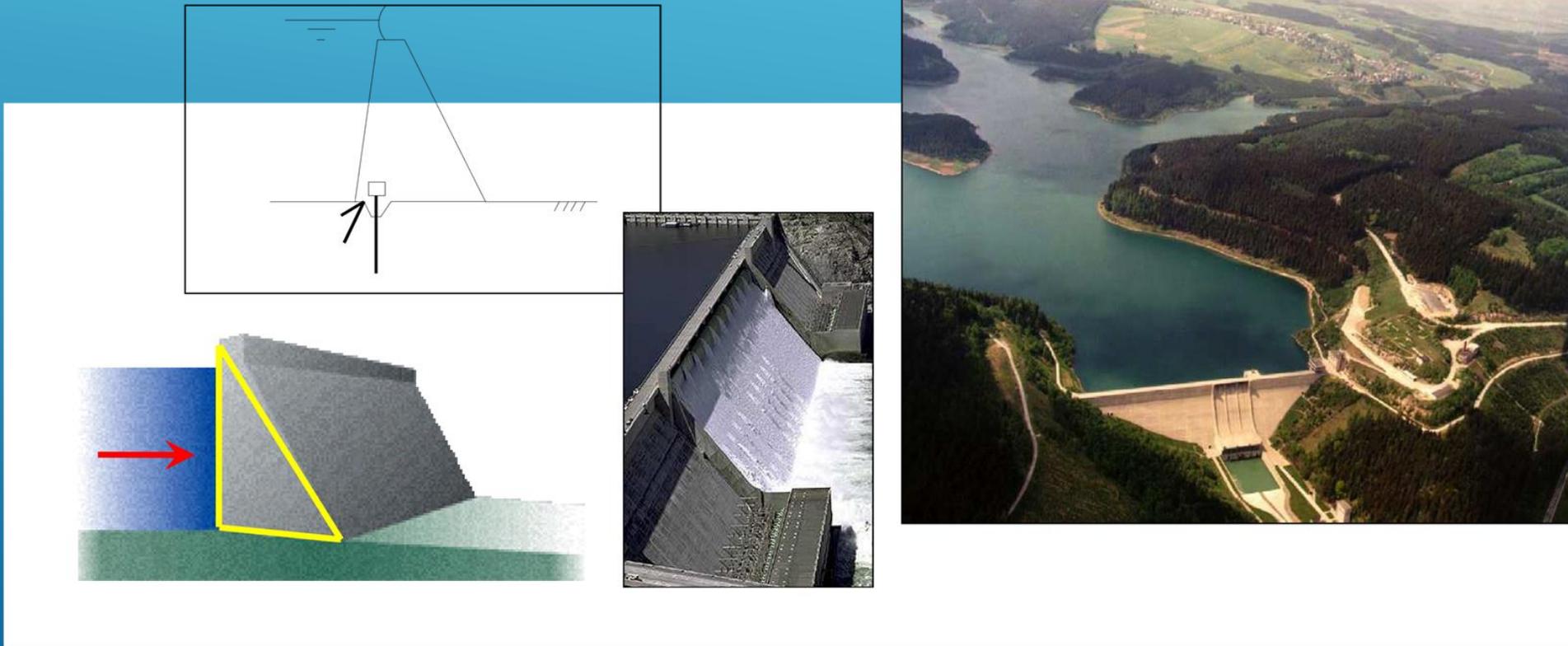
As barragens construídas em concreto rolado (ou compactadas a rolo) utilizam concreto com traço especial (seco), lançado e compactado com os mesmos equipamentos utilizados na construção de barragens de terra e enrocamento.

» Exigem fundações e ombreiras em maciços rochosos.



Barragens de Concreto Gravidade

- Forma triangular típica e estabilidade garantida pelo peso próprio da estrutura



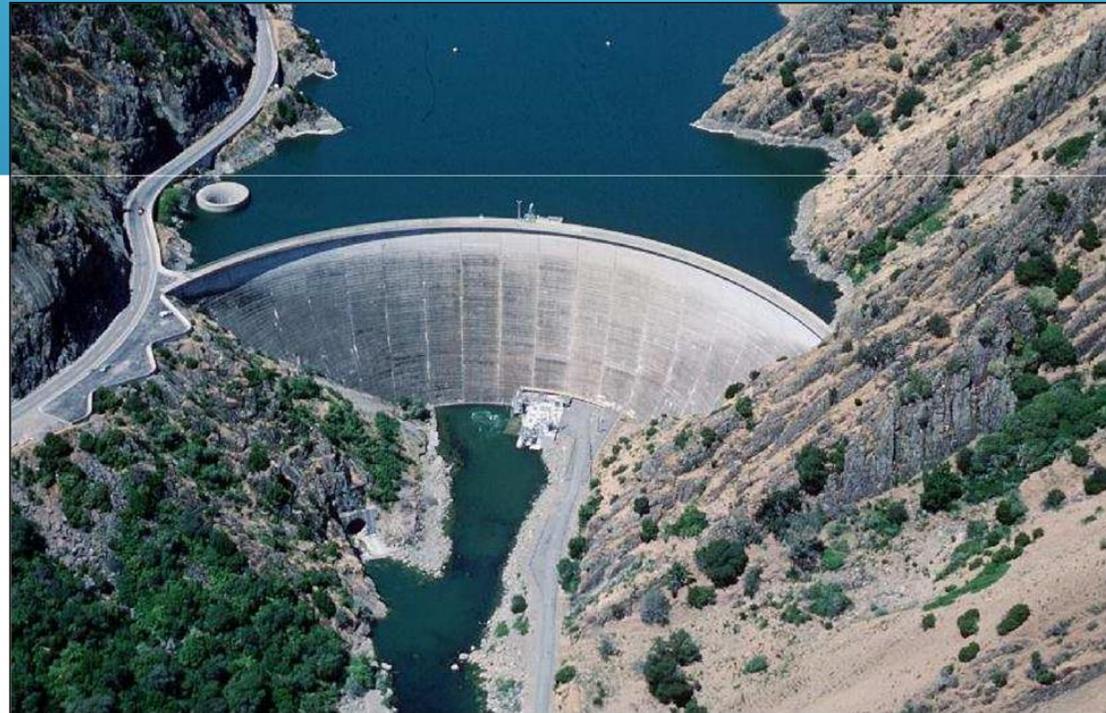
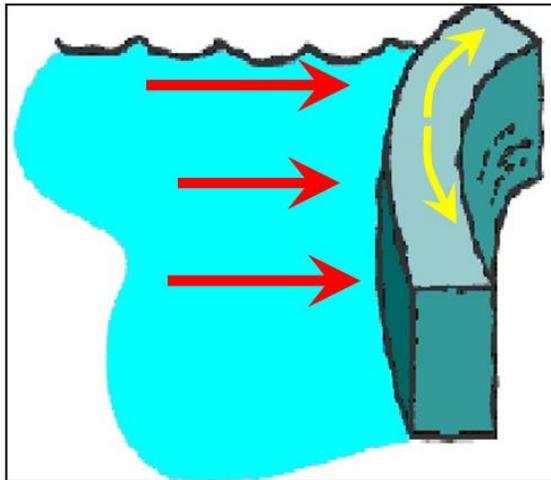
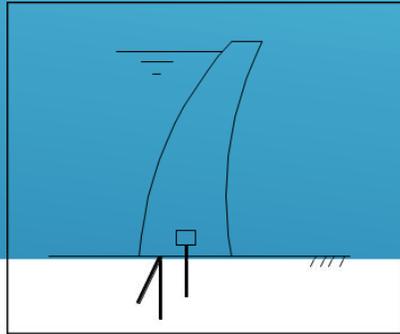
As barragens de gravidade são constituídas por uma parede de concreto que resiste pelo próprio peso à impulsão da água e transmite as solicitações à fundação

Possui estabilidade devido ao peso e largura da base adequada à resistência da fundação. Os principais esforços atuantes são: peso do concreto, pressão da água no paramento de **jusante(é o fluxo normal da água, de um ponto mais alto para um ponto mais baixo)**. , pressão da água no paramento de **montante(é a direção de um ponto mais baixo para o mais alto)** , peso da água no paramento de jusante e sub - pressão. Essas forças podem causar rupturas de tombamento ou de deslizamento, sendo o deslizamento o mais comum

Uma barragem resiste a todas as forças através do seu peso, daí o nome gravidade. Em consequência a barragem deve ser maciça com o material construtivo apresentando densidade elevada.

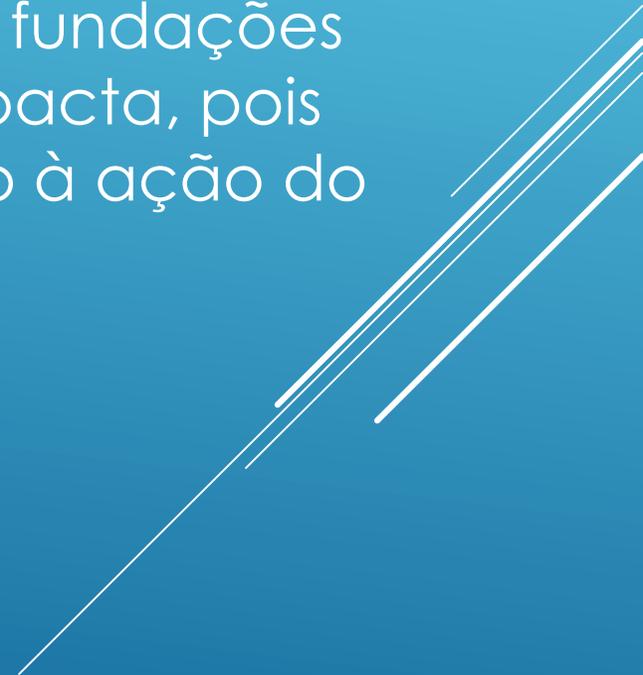
Barragens de Concreto em Arco

- Estrutura delgada e em arco, apoiada em ombreiras e fundações rochosas



A forma em curva faz com que as pressões sejam transferidas para as ombreiras. É um tipo de barragem que exige grande escavação para atingir a rocha sã e para garantir geometria adequada. A estabilidade depende da geologia, principalmente das discontinuidades.

Podem ser curvas só em planta ou planta e perfil (duplo arco). São inseridas em vales estreitos ou gargantas (canyons) e as fundações e ombreiras terão que ser de rocha sólida e muito compacta, pois parte do impulso é transmitido para as ombreiras devido à ação do arco da secção.

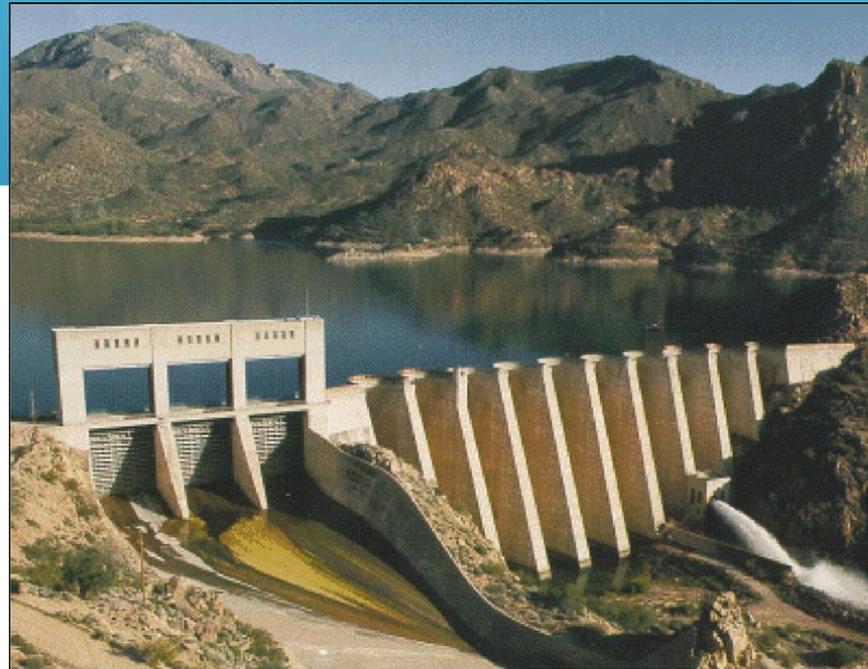
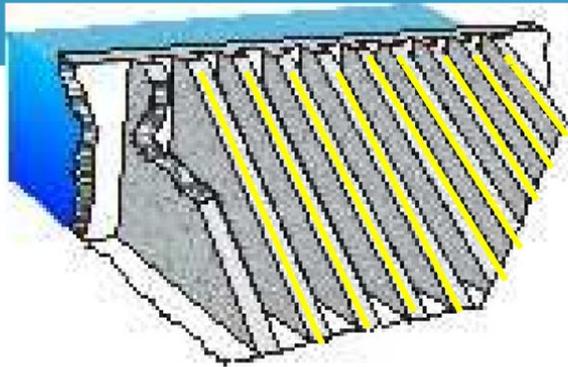


O consumo de concreto é muito menor do que nas do tipo gravidade de igual altura e conseqüentemente o custo é menor. Contudo exige pessoal altamente especializado, em razão de rigor no projeto e no controle da obra, o que lhe reduz a vantagem adquirida no volume de concreto. Este tipo de barragens não utiliza a soleira normal para descarregador em razão da sua pouca espessura. Em seu lugar é utilizado a tulipa, de construção cara, funcionamento hidráulico deficiente e limitada para vazões pequenas. Também são utilizadas, como descarregadores, orifícios, abertos na barragem, normalmente comandados por comportas.

As forças que atuam numa barragem em arco são: a) Impulso Horizontal; b) Altura das ondas; c) Forças sísmicas; d) Pressão ascensional (ventos).

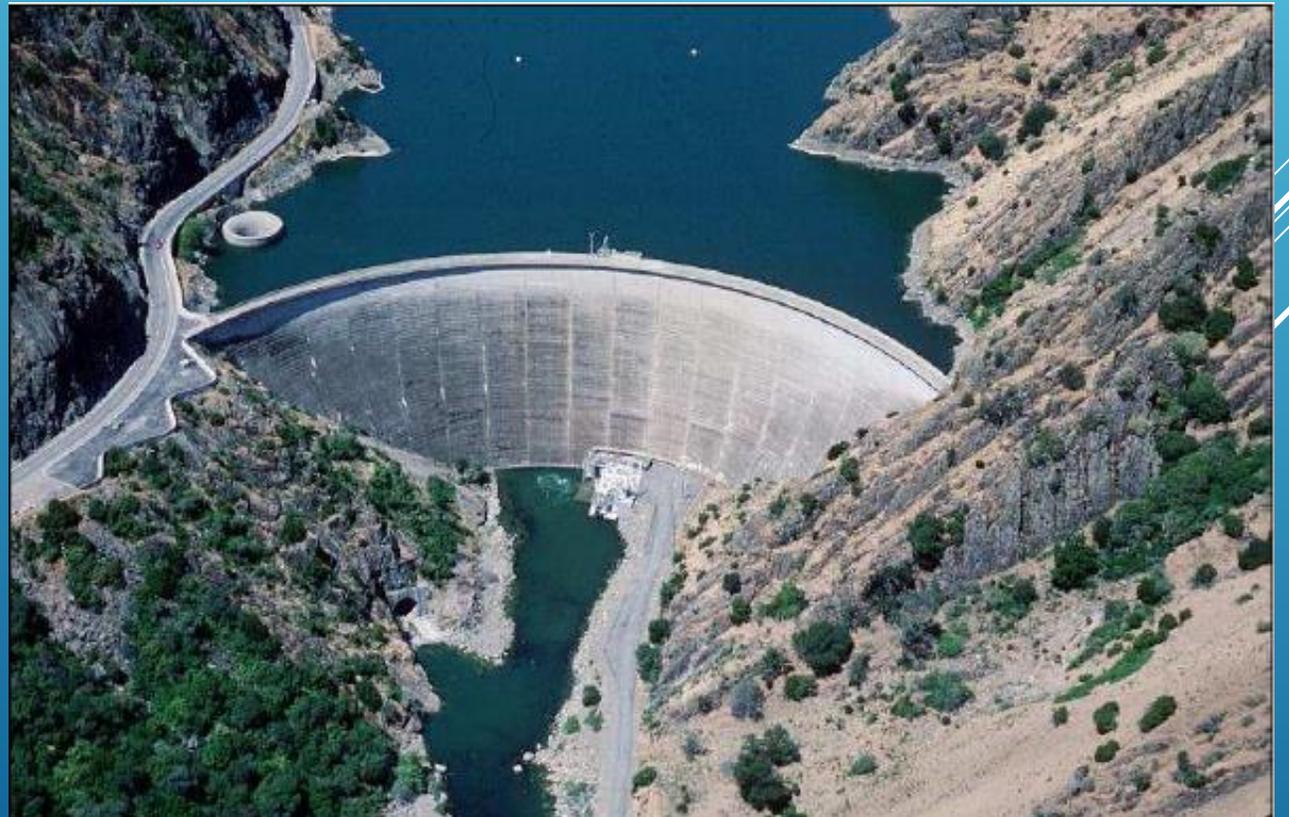
Barragens de Concreto em Contrafortes

Utilização de lajes de sustentação (contrafortes) ao longo do corpo da barragem



Também é uma barragem de concreto e possui estrutura semelhante à barragem de gravidade, porém com o uso de contrafortes para suavizar a estrutura. Gera um aumento de compressão na fundação. Exige maior tratamento das fundações, como tirantes e injeção de calda de cimento. Possibilita uma maior economia de concreto, mas necessita controle geológico maior.

[http://www.scribd.com/doc/12293332/
Energia-Hidroelectrica](http://www.scribd.com/doc/12293332/Energia-Hidroelectrica)



Three Gorges Dam - China



- Esta é a maior barragem de concreto gravidade do mundo, com mais de 1600m de extensão e altura total de 186m.
- 1,2 milhões de pessoas serão remanejadas, centenas de cidades e vilas serão inundadas, além de sítios arqueológicos.
- Aproximadamente 250.000 operários envolvidos no pico da obra.
- Mais de 100 milhões de m³ de escavação em solo e rocha;
- Consumo de concreto: 25,5 milhões de m³.
- Cada uma das 26 turbinas pesa cerca de 400 t.
- Prazo total de construção: 17 anos, divididos em 3 etapas:
Fase I: 1993-1997; Fase II: 1998-2003; Fase III: 2004-2009.

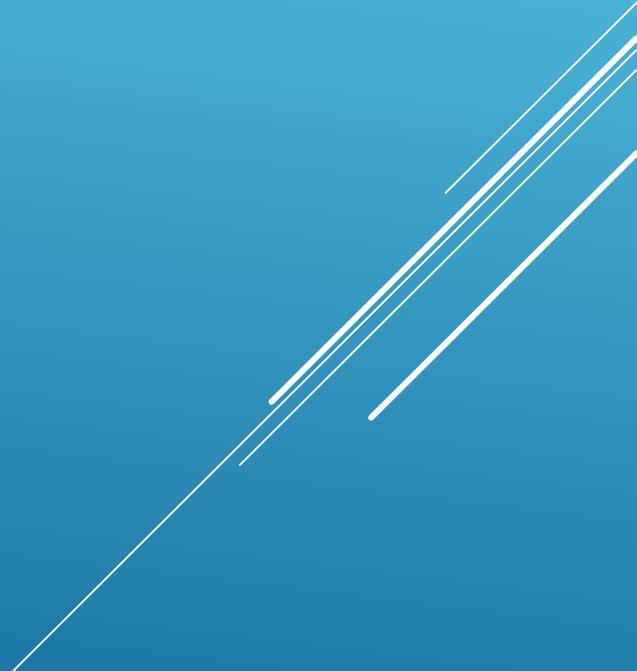
Barragens de Contenção de Rejeitos

- Estruturas de contenção destinadas ao armazenamento de rejeitos de mineração, sendo comumente executadas pelo processo de alteamentos sucessivos

DIFERENÇAS PRINCIPAIS ENTRE BARRAGENS CONVENCIONAIS X BARRAGENS DE REJEITOS

- natureza do material armazenado;
- utilização dos próprios rejeitos como material de construção (“barragens de rejeitos”);
- construção das barragens de rejeitos em etapas (alteamentos sucessivos)

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DAS BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

- potencial de risco;
 - escolha do local;
 - aspectos construtivos;
 - materiais de construção;
 - serviços de manutenção.
- 

- construção a partir de um dique inicial ('dique de partida') em aterro compactado (acumulação dos rejeitos ao longo de um período de 2 a 3 anos usualmente);
- execução da estrutura em múltiplas etapas, em função dos volumes de rejeitos produzidos;
- utilização de diferentes materiais de construção nos alteamentos sucessivos, incluindo-se os estéreis da mina e os próprios rejeitos;
- diluição dos investimentos ao longo da vida útil do empreendimento;
- adoção dos métodos de alteamento para montante, jusante ou pela linha de centro, definidos em função da direção de deslocamento do eixo da barragem em relação ao eixo do dique de partida.



**barragem para rejeitos. Fonte:
<http://www.lapes.ufrgs.br>**

Barragem de terra

São aquelas em que a estrutura é fundamentalmente constituída por *solo*. Divide-se em dois tipos: homogênea, quando há predominância de um único material (embora possam ocorrer elementos como filtros, rip rap, etc.), e zonadas, nas quais são feitos zoneamentos de materiais terrosos em função das características de permeabilidade.



Barragem de Enrocamento

Consiste em um maciço formado por fragmentos de rocha compactados em camadas cujo peso e imbricação cria a estabilidade do corpo submetido ao impulso hidrostático. Podem ter o núcleo impermeável, feito com predominância de material rochoso e núcleo argiloso que veda a passagem de água, ou ter face impermeável, cuja vedação da água é garantida pela impermeabilização da face montante da barragem com uma camada de asfalto, chapa de aço ou outro material



Barragem Mista

Constituída por diferentes materiais ao longo de uma seção transversal, normalmente com três tipos mais conhecidos: terra/enrocamento, enrocamento/concreto e terra/concreto



Barragens não convencionais

Barragem de Gabião

É uma obra de pequeno porte, normalmente inferior a 10m de altura, projetada para ser parcial ou totalmente vertedoura.



Barragem de Madeira

Exige madeira de boa qualidade e deve ser revestida com uma chapa de aço para garantir a vedação



Barragem de alvenaria de pedra

É uma variação da barragem de gravidade, na qual o concreto é substituído pela alvenaria de pedra rejuntada manualmente com cimento



Tipo e local de implantação de uma barragem

A escolha do tipo mais adequado de barragem, para um determinado local de um curso d'água, depende dos seguintes aspectos:

- 1) Segurança da Obra - ligada às características inerentes do próprio local: condições geológicas, configuração do vale e dimensões da obra.
- 2) Custo da obra - em função do preço e disponibilidade do material. A ausência, por exemplo, de rocha resistente do tipo granito, gnaisse, basalto ou diabásio, para ser usada como agregado para concreto, "rip-rap" ou enrocamento, ou de cascalho, para os mesmos fins, pode causar alterações profundas no custo da obra

Além desse critérios, deve ser considerada uma série de fatores físicos que governam a seleção do tipo de barragem. A não ser em condições excepcionais, mesmo o mais experimentado projetista é incapaz de dizer se um determinado tipo de barragem é adequado ou mais econômico para um dado local. Na seleção do melhor tipo de barragem para um determinado local, devem ser consideradas as características físicas do local, o objetivo da obra, fatores econômicos, de segurança, etc. Normalmente, o maior fator individual que determina a escolha final é o custo da construção. Os fatores físicos, expostos a seguir, são também importantes.

Fases de Estudos em Projetos de Barragens

FASE I – RECONHECIMENTO DA BACIA

ESTUDOS BASICOS PARA IMPLANTAÇÃO

Reconhecimento da Bacia;

Inventário;

Viabilidade;

Projeto Básico da Barragem;

Projeto Executivo da Barragem

ESTUDOS ESPECÍFICOS

Escolha do local da barragem;

locação do eixo da barragem;

análise da relação custos x benefícios;

escolha do tipo de barragem.

FASE II: INVENTÁRIO DA BACIA

Otimização do Potencial Hídrico da Bacia;

Pesquisa Bibliográfica;

Infraestrutura Existente

Aerofotogeologia da Bacia

 cidades;

 estradas;

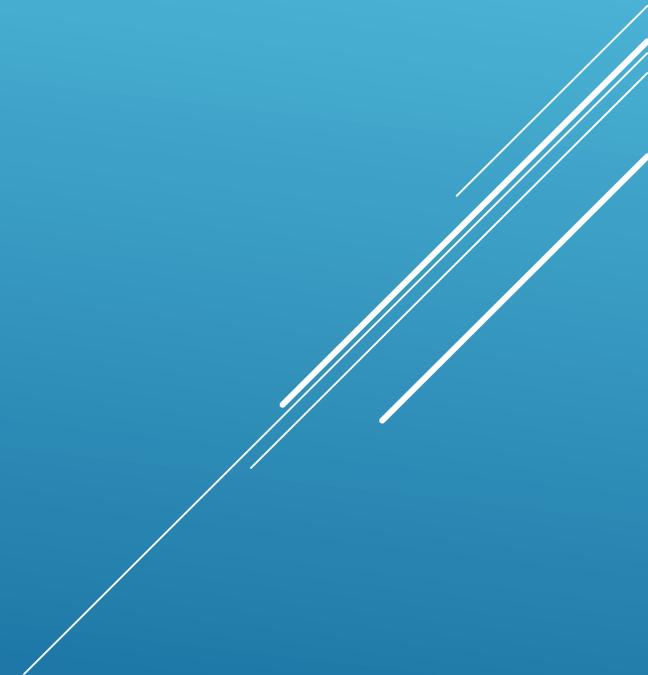
 geologia regional;

 indústrias;

 seleção dos locais de barramento;

 áreas de proteção ambiental, etc

 jazidas de materiais de construção



Geologia e Geotecnia Preliminar da Bacia

Sobrevôo dos Rios Principais

mapas geológicos;

estabilidade de taludes naturais;

condições de fundações;

materiais de construção disponíveis;

condicionantes geológico-geotécnicos locais



FASE III: VIABILIDADE

Alternativas de localização dos Eixos da Barragem;

Estudos dos Tipos de Barragens;

Estudos de Arranjos

Estudos Geológico – Geotécnicos dos Locais de Barramento

Análises de Viabilização Econômica e de Impactos

Ambientais.

FASE IV: PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM FASE V: PROJETO EXECUTIVO

Concepção e Definição Final da Obra

Detalhamento do Projeto Básico; memoriais descritivos;

Prescrições Adicionais para :

- memoriais de cálculo;

- desenhos de projeto; equipamentos;

- especificações técnicas;

- especificações construtivas;

- execução de obras civis;

- montagem de equipamentos;

- fiscalização;

metodologias de controle e teste;
quantitativos de materiais e serviços; de equipamentos, etc.
cronograma e orçamento; normas de medição e
pagamento.



Investigação Geotécnica de Fundação

Realização de serviços de prospecção geológica do subsolo, como sondagens a percussão (SPT e SPT-T) e sondagens rotativas, para fins de seu reconhecimento com execução de ensaios e testes, necessários a utilização devida do subsolo como suporte a fundações de obras, e seu emprego adequado em outras finalidades como barragens, aterros, infra-estrutura viária, maciços de terra estabilizados de forma global. Controle tecnológico do uso do solo nas obras de terra em geral, bem como o da execução de serviços de pavimentação, com disponibilidade de recursos plenos para realização de trabalhos laboratoriais e de campo

As condições das fundações dependem da espessura e características físicas, químicas e mineralógicas da rocha, que suportará o peso da barragem. Aquelas características incluem a permeabilidade, a presença ou não de determinadas estruturas, como acamamento, xistosidade, dobras, fraturas, etc. As condições estão diretamente ligadas com a altura da barragem, isto é, as considerações diferem para uma barragem baixa e uma alta. Normalmente, são encontradas as seguintes condições de fundações:



1) - Rocha Sã e Sólida - normalmente aceita qualquer tipo de barragem. Inclui, via de regra, a escavação da camada superficial quando alterada (mesmo sendo rocha) e tratamento eventual por injeção, para consolidação.

2) - Sedimentos (Aluviões) - incluem os cascalhos, areias, siltes e argilas. Os cascalhos estão sujeitos à intensa percolação, os siltes e as areias ocasionam recalques e percolação, e as argilas sofrem recalques, principalmente quando saturadas de água. Dependendo do tipo de barragem, da sua altura e com aplicação de tratamentos adequados, qualquer desses materiais poderá ser utilizado.

Áreas de empréstimo

Estima-se que mais de 200 milhões de hectares de solo são degradados no Brasil. Ações como mineração, construção de estradas, métodos agropecuários impróprios, construções de hidroelétricas e áreas industriais, entre outras ações, resultam em impacto imediato sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Aquino et al., 2008).

As obras de engenharia, como a construção de hidrelétricas, rodovias, mineração e outros projetos desenvolvimentistas, em que ocorre remoção total da camada vegetal para a exploração do subsolo, dão origem às chamadas áreas de empréstimo (Alves & Souza, 2008). Esta situação modifica as condições E da foclimáticas da área; entretanto, ao avaliar a extensão da degradação causada verifica-se que ela é mínima, comparada ao desmatamento ou ao super pastejo.

O uso de técnicas de bioengenharia de solos para o controle de erosão e recuperação de áreas degradadas é uma prática recente no Brasil e na América Latina, apesar destes países oferecerem condições para o crescimento das plantas na maior parte do ano. Este artigo apresenta o processo de reabilitação de área de empréstimo da UHE de Emborcação, pertencente à CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, em condições de afloramento intermitente do lençol freático utilizando geotêxteis filtrantes, RECP's (Rolled Erosion Control Products) biodegradáveis, e diques de rocha, com a mínima movimentação de solo para o processo de recuperação.

As áreas de empréstimo se constituem em um ecossistema degradado visto que tiveram eliminados, juntamente com a vegetação, seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota. Apresenta, portanto, baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento (Chada et al., 2004). Para a recuperação é preciso selecionar e identificar espécies aptas às novas condições edáficas e que, de forma rápida, acelerem a estruturação e a formação dos horizontes mais superficiais do solo (Campos & Alves, 2006). A adaptação e o desenvolvimento dessas espécies dependerão das condições físicas, químicas, biológicas e hídricas do solo além das condições do microclima local.

A degradação das áreas de empréstimo consiste na remoção da vegetação original e na retirada da camada superficial do solo, expondo o horizonte C e causando compactação, perda de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes, em que o substrato resultante não permite o desenvolvimento da regeneração natural da vegetação. A degradação dessas áreas resulta em efeitos deletérios sobre os mananciais hídricos e a fauna local (Ferreira et al., 2007). Alcântara et al. (2000), apontam os estudos sobre solos como ponto relevante para a regeneração dos ecossistemas tropicais e subtropicais, devendo ser considerados para o melhor entendimento e planejamento dos processos ecológicos.

As áreas de empréstimo nunca deverão ser localizadas perto da área do pé de jusante da barragem, do descarregador/vertedor ou desembocadura ou em qualquer área propensa a erosão.

Uma área de empréstimo situada a alguma distância do local da barragem aumentará os custos de construção, o desgaste dos activos fixos tangíveis e maquinaria e o tempo de construção, assim, identifique sempre fontes de materiais o mais próximo possível do local da barragem.

Sistema de vedação e drenagem interna

O Brasil é o maior consumidor de energia da América do Sul e o 10º consumidor do mundo.

Suprir esta demanda de energia não é fácil, por isso o país aproveita dos inúmeros rios com grandes desníveis como solução mais eficaz e econômica para produzir energia. As Usinas Hidrelétricas são responsáveis por mais de 80% da produção de energia no país. Em virtude deste cenário, pode-se destacar a importância da construção de barragens para propiciar a geração de energia, como também de outras produções de relevância sociais e econômicas.

DESCRIÇÃO

O sistema de drenagem interna possui um papel essencial na estabilidade das barragens de terra, pois tem função de aliviar a subpressão, disciplinar o fluxo que é percolado pela estrutura da barragem a um destino seguro, além de evitar o carreamento de materiais finos que podem ocasionar problemas de erosão interna. As barragens executadas em solo compactado possuem em seu interior um filtro drenante vertical, e na sua fundação um tapete drenante horizontal. Geralmente são feitos de areia e brita.

DRENAGEM INTERNA

O sistema de drenagem interna constitui o elemento vital na segurança de uma barragem de terra e deve ser dimensionado de modo a atingir os seguintes objetivos:

- a) reduzir a pressão neutra na área de jusante da barragem e portanto aumentar a estabilidade de jusante contra o deslizamento;
- b) controlar a percolação da água na face de jusante da barragem de tal modo que a água não carregue qualquer partícula do maciço, isto é, que não se desenvolva o fenómeno de "piping".

A eficiência do dreno ou filtro na redução das pressões neutras depende em princípio da sua localização e extensão.

Por outro lado, o "piping" ou entubamento é controlado construindo-se os drenos com um material de granulometria adequada a funcionar como filtro do solo constituinte do maciço.

Por outro lado, o "piping" ou entubamento é controlado construindo-se os drenos com um material de granulometria adequada a funcionar como filtro do solo constituinte do maciço.

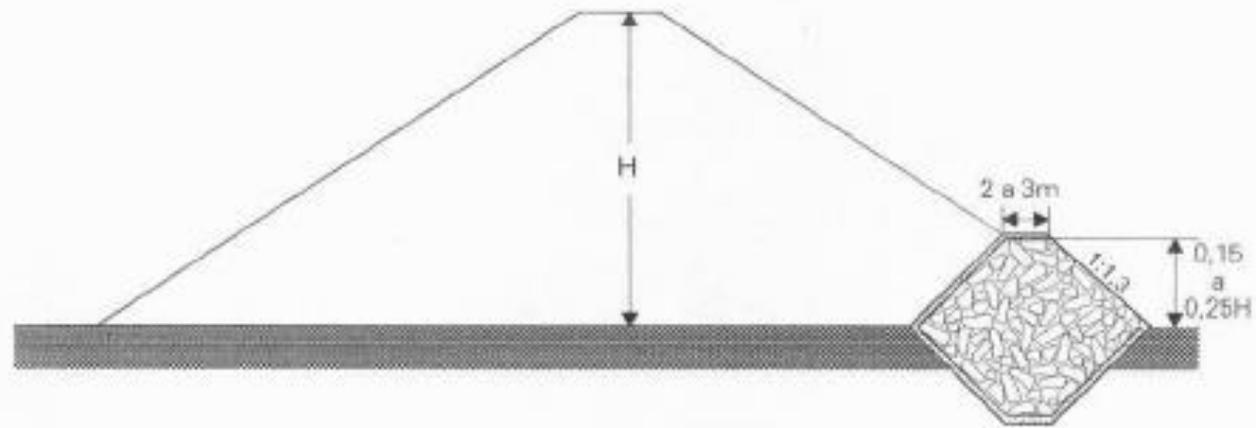
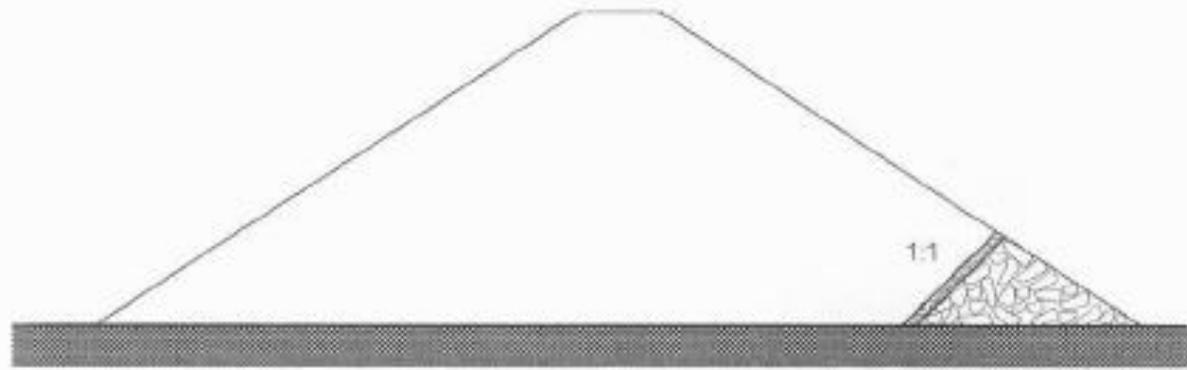
Existem numerosos tipos de sistemas de drenagem interna em barragens de terra, sendo que o tipo a ser adotado para uma obra determinada dependerá de diversos fatores relativos às permeabilidades do maciço e da fundação bem como das características dos materiais drenantes disponíveis.

Serão apresentados, a seguir, em termos muito sucintos, os principais tipos geralmente adotados.

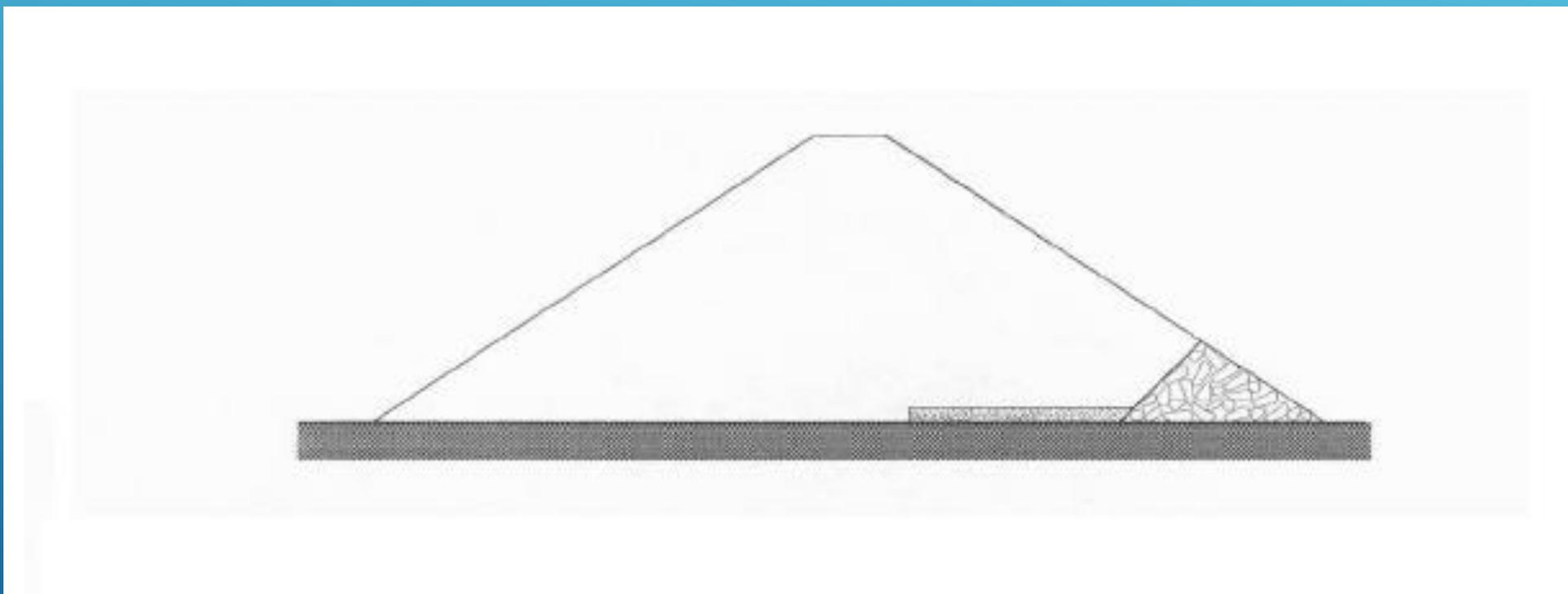
Drenos de Pé

As barragens homogêneas mais antigas apresentam esse tipo de drenagem para evitar a diminuição de resistência do material no pé do talude. Empregam-se apenas em barragens de pequena altura, constituídas de solos homogêneos de baixa permeabilidade.

Recomenda-se que o dreno de pé penetre um pouco no terreno de fundação porque o contacto da barragem com a fundação é um caminho preferencial.

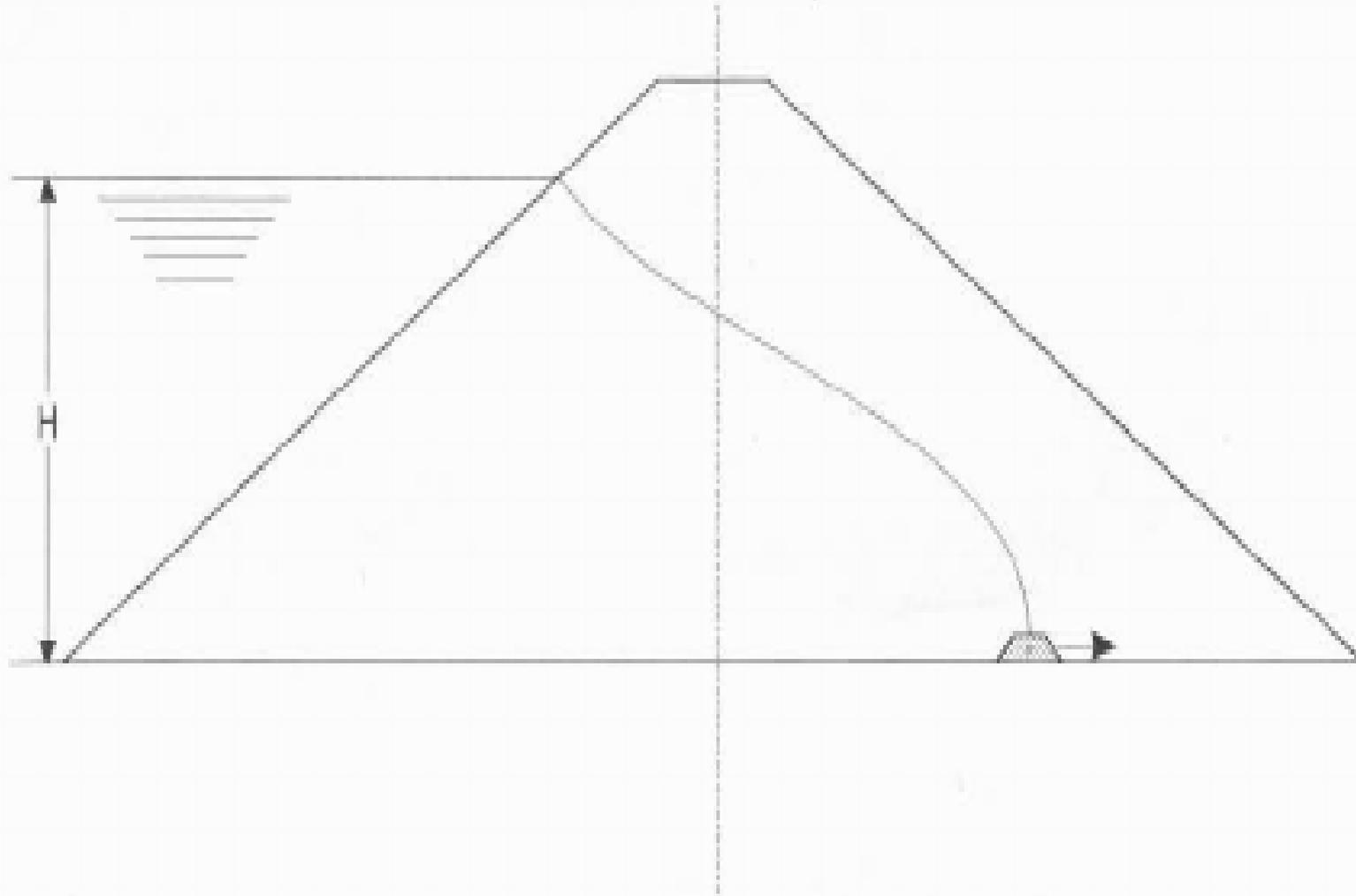


O dreno de pé pode ser utilizado associado no trecho final de um tapete drenante como mostrado na figura



Drenos Longitudinais e Tapetes Drenantes

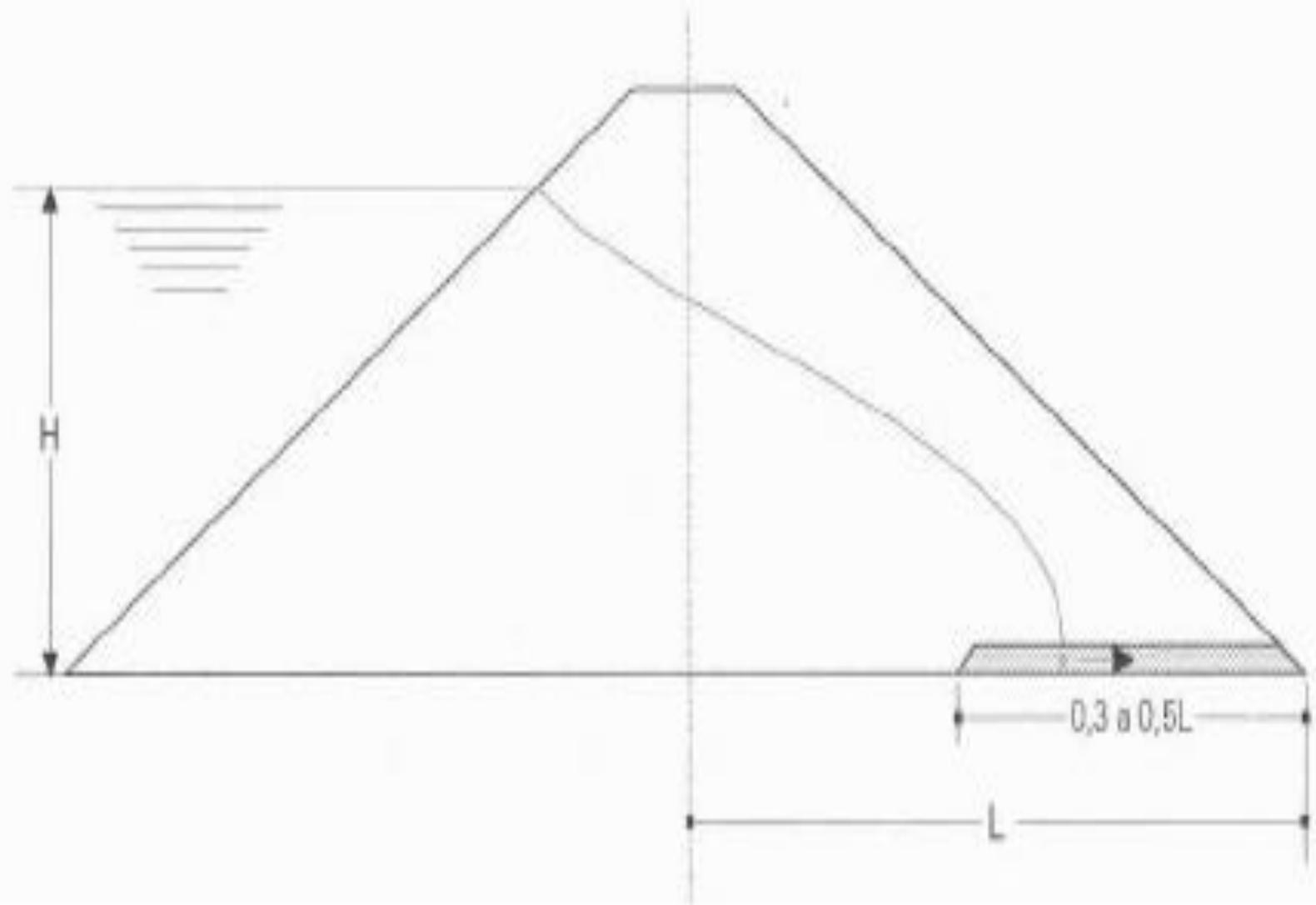
O mais econômico tipo de dreno para uma barragem é o constituído por um conduto perfurado envolvido por filtros de transição, posicionado longitudinalmente com relação ao eixo da barragem, a meia distancia entre o eixo e o pé de jusante. Esse sistema só deve ser adotado no caso da barragem ser apoiada sobre uma fundação relativamente uniforme e do maciço compactado ser constituído por solos de mesmas permeabilidade vertical e horizontal.



Quanto mais elevado o grau de estratificação do maciço, representado pela relação entre a permeabilidade horizontal k , e a permeabilidade vertical k_v , mais extenso deve ser o dreno, chegando-se no limite do tapete drenante que se estende até ao pé do talude de jusante da barragem.

O comprimento do tapete filtrante basear-se-á na posição que se pretende para a linha freática, no interior do maciço, devendo-se notar que a descarga percolada aumenta com o comprimento do tapete. Esse aumento, entretanto, é recompensado pela melhoria na estabilidade, pois mantém-se seco grande parte do paramento de jusante da barragem.

A tentativa inicial na escolha da posição do tapete drenante poderá ser a recomendada por Creager, adotando um comprimento de $0,3$ a $0,5 L$, sendo L a distância do eixo da barragem ao pé do talude de jusante



Uma das principais desvantagens do tapete drenante horizontal resulta do fato de que o maciço de uma barragem de terra tende a ser estratificada como já mencionado. Pode ainda, ocasionalmente, acontecer que camadas horizontais muito mais permeáveis do que a média do material empregado sejam colocadas no maciço, de modo que, a despeito do dreno horizontal, a água penetra horizontalmente na superfície de uma camada relativamente impermeável e surge no talude do jusante



Cortina Drenante

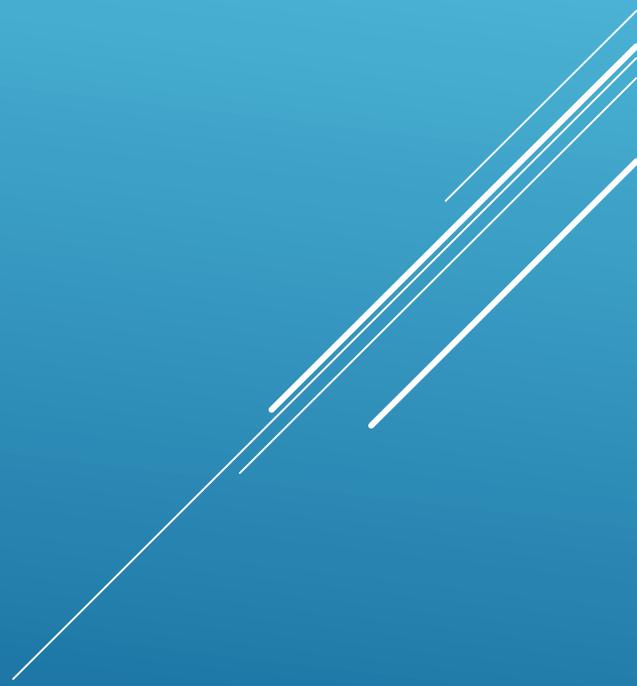
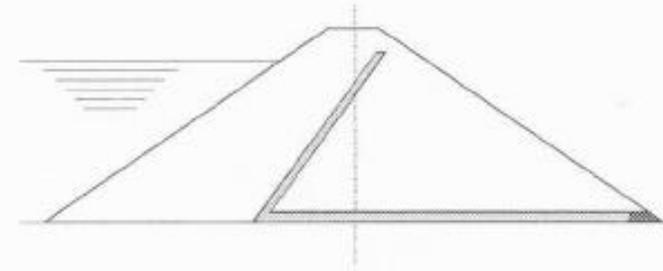
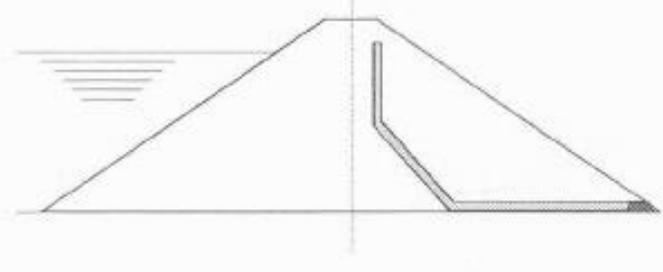
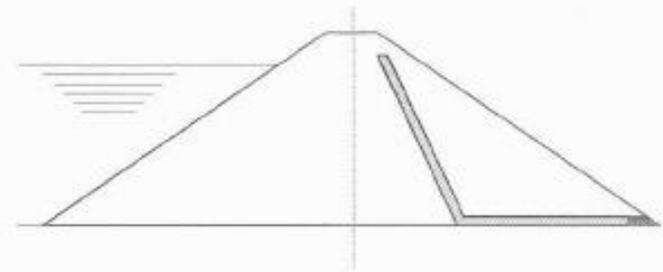
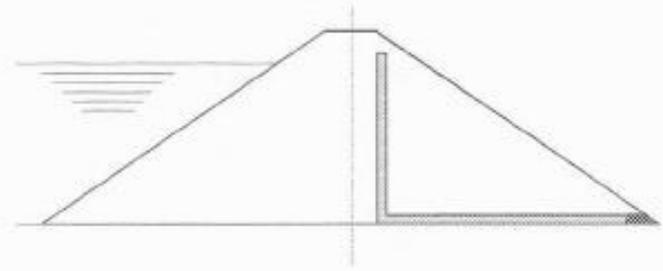
Este tipo de drenagem é constituído por um dreno vertical posicionado ligeiramente a jusante do eixo da barragem e prolongado para jusante por um tapete drenante horizontal. Foi adotado pela primeira vez por K. Terzaghi para a barragem de Vigário no Brasil (atualmente denominada Barragem Terzaghi, em homenagens ao projetista).

O dreno vertical tem a grande vantagem de interceptar qualquer fissuração do maciço e de coletar os fluxos que poderiam perco lar através de tais fissuras. São geralmente projetados com uma espessura variando de 0,9 a 2,0 m, sendo que, na maioria dos casos, essas espessuras são fixadas por motivos de ordem construtiva.

Em várias barragens mais recentes de maiores alturas, a cortina drenante tem forte inclinação para montante ou para jusante. Com a inclinação para montante, tem-se a vantagem de eliminar riscos de trincas longitudinais na crista no caso da barragem ser apoiada sobre uma fundação rígida.

Por outro lado um dreno inclinado para jusante apresenta a vantagem de melhorar as condições de estabilidade do talude de montante durante o rebaixamento rápido do reservatório. Seguem-se exemplos de várias soluções que podem ser adotadas em cortinas drenantes.

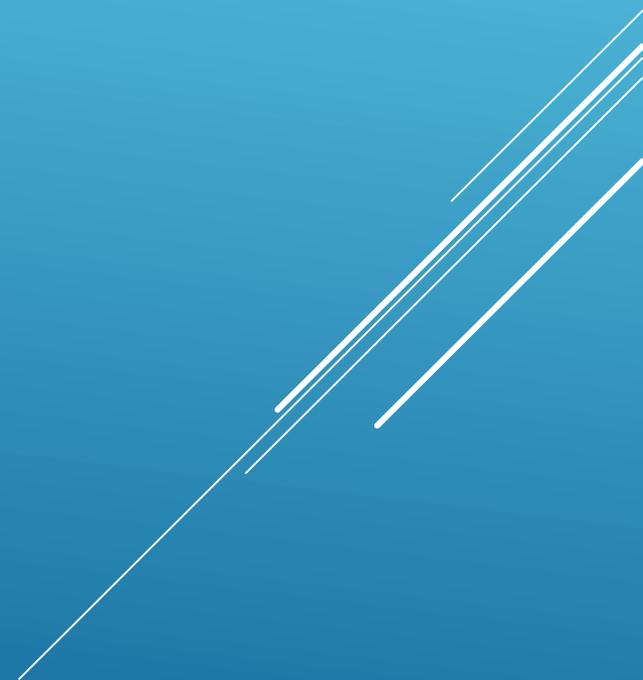
Tipos de sistemas de drenagem interna de barragens com cortinas drenantes



Sistema de vedação

A subpressão consiste em um dos maiores problemas no que diz respeito à segurança de obras hidráulicas. A execução de vedações com cortinas de injeção de cimento, associadas à drenagem é de suma importância para coibir as ações da água percolada através de suas fundações. Torna-se, portanto, indispensável conhecer elementos para a verificação do bom funcionamento destes sistemas. Grande parte dos critérios de subpressão utilizados hoje no dimensionamento de barragens é baseada em métodos determinísticos e empíricos, com origem em experiência acumulada sob certas condições específicas.

Quando tais critérios são utilizados para lugares específicos, com feições geológicas peculiares, podem não refletir os dados utilizados anteriormente. Tanto projetos sem segurança como antieconômicos podem resultar desta prática.



Análise de percolação

Percolação (do Lat. *percōlāre*, filtrar) em farmacologia e ciência dos materiais, se refere a extração de componentes solúveis passando solventes por materiais porosos. Na geologia se refere a passagem de água pelo solo e pedras permeáveis fluindo para reservatórios subterrâneos (aquíferos).¹



Analise de percolação

O modelo SEEP/W

O modelo SEEP/W é um programa que utiliza o método dos elementos finitos para modelar o movimento da água e a distribuição de pressões em materiais porosos como solos ou rochas fraturadas.

Trata-se de uma ferramenta para análises de percolação em ambas as zonas saturada e não-saturada do meio poroso, apresentando ainda a capacidade de determinar a linha freática em maciços de terra.

O SEEP/W apresenta respaldo no meio científico em nível mundial, foi desenvolvido pela GEO-SLOPE International Ltd., sendo um pacote comercial, entretanto, existem versões gratuitas com limitações.

Utilizando o SEEP/W, também permite visualizar os resultados da distribuição da carga hidráulica por meio de isolinhas, geradas internamente no programa.

O SEEP/W calcula as cargas hidráulicas para a zona não saturada e saturada da barragem e define a linha freática internamente pelo método dos elementos finitos, portanto os seus resultados são mais precisos. Podem ser utilizados elementos finitos quadriláteros e triangulares e cada um pode ter vários números de nós secundários opcionais para prover interpolação de ordem mais alta de valores de nós dentro do elemento.

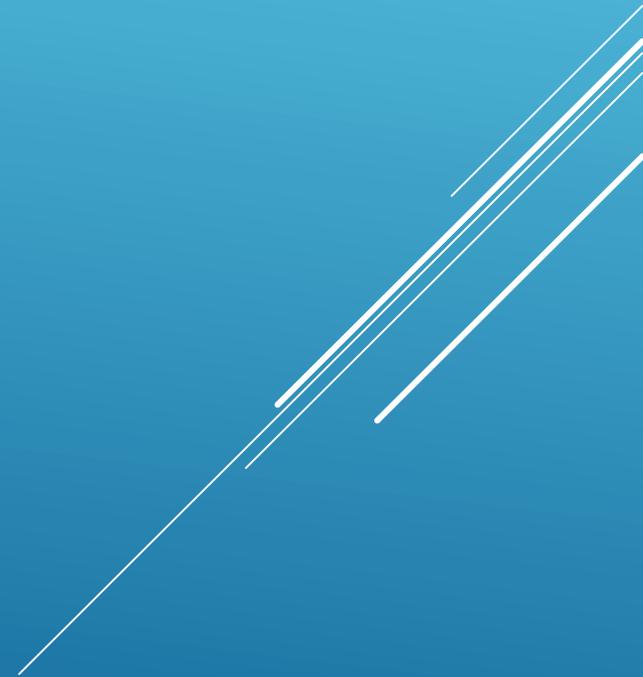
As condições de contorno utilizadas na modelagem de percolação são: carga total, fluxo de percolação nodal e fluxo de percolação por área. A condição de contorno da carga no reservatório é uma função do nível de reservatório.

FLUXO BIDIMENSIONAL

Quando o fluxo de água ocorre sempre na mesma direção, como no caso dos permeâmetros, diz-se que o fluxo é unidimensional. Sendo uniforme a areia, a direção do fluxo e o gradiente são constantes em qualquer ponto.

Nos fluxos unidirecionais (vertical ou horizontal), para calcular a vazão de percolação através de um solo aplica-se diretamente a lei de Darcy.

Quando as partículas de água se deslocam segundo qualquer direção, o fluxo é tridimensional. A migração de água para um poço é um exemplo de fluxo tridimensional de interesse para a engenharia. Quando as partículas de água seguem caminhos curvos, mas contidos em planos paralelos, o fluxo é bidimensional (caso da percolação pelas fundações de uma barragem).



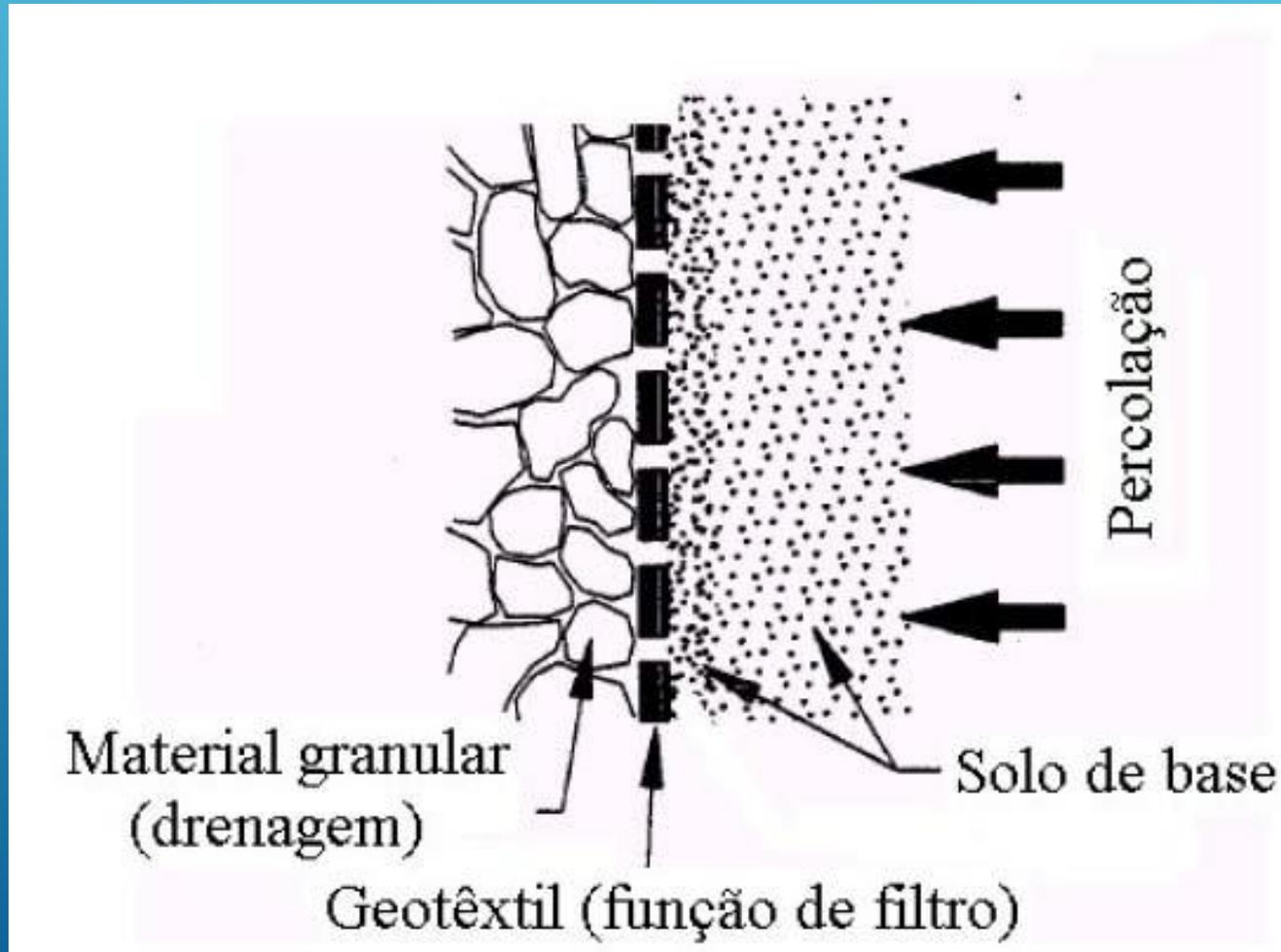
PERMEABILIDADE E PERCOLAÇÃO

Linha de fluxo (ou de corrente): linha que define a trajetória ao longo da qual se desloca uma partícula de água através do meio poroso.

Linha equipotencial: linha (perpendicular às linhas de fluxo) que une pontos com igual carga hidráulica (energia).



Exemplo de aplicação de filtro



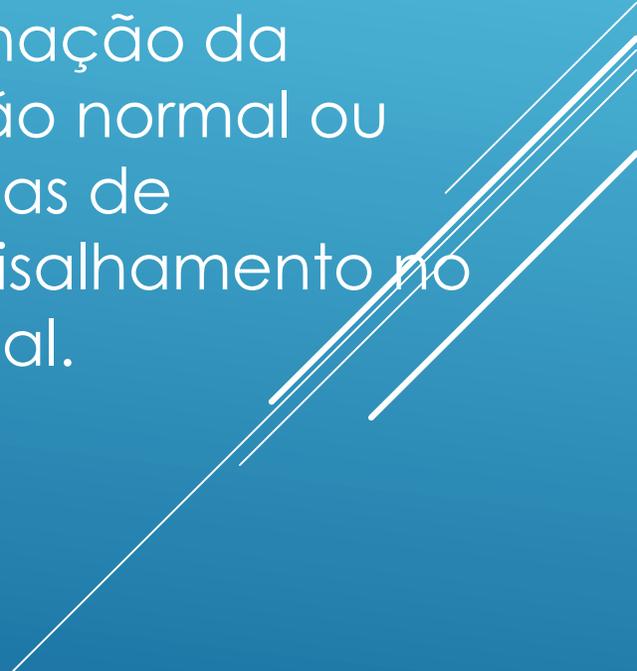
Analise de Estabilidade de Taludes

Segundo Cruz (2004) muitos são os obstáculos que um engenheiro encontra quando procura analisar a estabilidade de um talude natural ou compactado. Três das principais dificuldades referem-se a:

- selecionar os parâmetros de cálculo;
- prever as condições do fluxo de água e as pressões piezométricas resultantes;
- antecipar as formas mais prováveis de ruptura, as superfícies potenciais a elas associadas e os mecanismos de ruptura envolvidos.

Mecanismos de ruptura são aqueles que levam a um aumento dos esforços atuantes ou a uma diminuição da resistência do material que compõe o talude ou do maciço como um todo. O material que compõe um talude tem a tendência natural de escorregar sob a influência da força da gravidade, entre outras, que são suportadas pela resistência ao cisalhamento do próprio material.

Mohr (1900) apresentou a teoria para ruptura em materiais, em que afirmava que um material se rompe por causa da combinação da tensão normal e de cisalhamento e não da máxima tensão normal ou da de cisalhamento isoladas. Para a maioria dos problemas de mecânica dos solos, é suficiente aproximar a tensão de cisalhamento no plano de ruptura para uma função linear da tensão normal.



Algumas das causas da instabilidade em taludes, ou seja, do aumento das tensões atuantes ou da diminuição das tensões resistentes, enumerados por Terzaghi (1952) podem ser:

Causas externas: ações externas que alteram o estado de tensão atuante sobre o maciço resultando num acréscimo de tensões cisalhantes que igualando ou superando a resistência ao cisalhamento, levam a ruptura, podem ocorrer devido a:

- i. Mudança da geometria do talude (inclinação e/ou altura);
- ii. Aumento da carga atuante (por sobrecargas na superfície, por exemplo);
- iii. Atividades sísmicas;
- iv. Cortes no pé do talude, etc.

Causas internas: ações internas que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento, sem alterar visualmente a geometria do maciço. Podem ser devido a:

- i. Intemperismo/decomposição;
- ii. Erosão interna;
- iii. Aumento da poro-pressão;
- iv. Decréscimo da coesão;



Causas Intermediárias: ações que podem ocorrer no maciço ou fundação devido à elevação do lençol freático ou do nível d'água do reservatório no caso de barragens.

A análise de estabilidade envolve um conjunto de procedimentos visando a determinação de um índice de grandeza que permita quantificar quão próximo da ruptura um determinado talude se encontra, para um determinado conjunto de condicionantes (pressões neutras, sobrecarga, geometria, etc.).

Para realizar esta análise e estabilidade existem três categorias de métodos

- Métodos observacionais: baseados na experiência acumulada com a análise estatística de rupturas anteriores (retro análise, ábacos de projeto, opinião de especialistas, etc.)
- Métodos experimentais: empregam modelos físicos de diferentes escalas;
- Métodos analíticos: baseiam-se nos modelos matemáticos de tensão e deformação e na teoria de equilíbrio limite que será vista a seguir.

De acordo com Calle (2000), o método analítico tem a vantagem de quantificar o grau de segurança, não sendo possível tal quantificação com outros tipos de métodos.

Os métodos de equilíbrio limite Segundo Massad (2003) os métodos analíticos para análise da estabilidade de taludes, atualmente em uso, baseiam-se nas seguintes hipóteses:

- a) o solo comporta-se como material rígido-plástico, isto é, rompe-se bruscamente sem se deformar, e está na iminência de entrar em um processo de escorregamento. Daí a denominação geral de “métodos de equilíbrio limite”
- b) as equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência da ruptura, quando na realidade o processo é dinâmico;
- c) o coeficiente de segurança (FS) é constante ao longo da linha de ruptura, isto é, ignoram-se eventuais fenômenos de ruptura progressiva.
- d) Respeita a equação de Coulomb ao longo da linha de deslizamento.

Partindo-se do conhecimento das forças atuantes, são determinadas as tensões de cisalhamento induzidas, através das equações de equilíbrio; a análise termina com a comparação dessas tensões com a resistência ao cisalhamento do solo em questão.

Segundo Cruz (1996) as forças atuantes na cunha de solo são:

- peso próprio da cunha P (ação da gravidade)
- pressões neutras distribuídas ao longo da superfície de escorregamento, desenvolvidas durante o próprio processo construtivo (aterros compactados) e/ou resultantes de um regime de percolação de água qualquer. A resultante dessas forças é U .
- uma pressão normal efetiva σ' distribuída ao longo da superfície de escorregamento;
- tensões de cisalhamento distribuídas também ao longo da superfície de escorregamento

Modos de ruptura

Há uma infinidade de autores com diferentes classificações para os movimentos de massa de terra. Estas classificações levam em consideração algumas características como, por exemplo, o material, a profundidade da ruptura, as velocidades e direção do movimento, profundidade de raio de alcance, superfície de ruptura, estado de tensões e potencial destrutivo (FERNANDES, 2010).

De acordo com Tominaga et al. (2009), uma das classificações mais empregadas internacionalmente é a classificação de Varnes (1978), devido à sua simplicidade. Essa classificação leva em consideração o tipo de movimento e as características do material da massa conduzida. Na tabela abaixo apresenta-se um resumo da classificação proposta por Varnes (1978).

