

Inspeções em Barragens de Terra e Rejeito



Barragens de Terra e Rejeito A Importância da Inspeção e Manutenção

Coordenador da Mesa: Eng. Clémenceau Chiabi Saliba Jr.

Palestrante: Eng. Esp. Thomaz de Jesus

As barragens são obras geralmente associadas a elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso, com consequências catastróficas para as estruturas das próprias barragens, o meio ambiente, com destruição da fauna e flora, e, principalmente, pela perda de vidas humanas.

O Brasil, por contar com vastos recursos hídricos, possui um número expressivo de barragens.

Entretanto, este fato não tinha sido motivo de preocupação de nossa parte.

Devemos estar sempre atentos quanto às condições de segurança estrutural e operacional das barragens, identificando os problemas e recomendando reparos, restrições operacionais e/ou modificações quanto às análises e aos estudos para determinar as soluções adequadas.

BARRAGENS DE TERRA

CARACTERÍSTICAS

São as barragens **mais comumente utilizadas.**

- Utilizam **materiais naturais com um mínimo de processamento;**
- Podem ser utilizadas em condições de **fundações menos resistentes;**
- Maciço constituído por **solos compactados em camadas sucessivas;**
- Podem ser **homogêneas ou zonadas.**

BARRAGENS DE ENROCAMENTO

CARACTERÍSTICAS

Diferenças principais entre Barragens Convencionais X Barragens de Enrocamento:

- **Maciço constituído por enrocamentos** (blocos de rocha) lançados ou compactados em camadas **com núcleo de material terroso.**
- **Menor interferência no cronograma** de execução;
- **Menores volumes** de aterro;
- Permitem a adoção de **ensecadeira incorporada.**

BARRAGENS DE ENROCAMENTO

CARACTERÍSTICAS

São caracterizadas pelos seguintes **elementos principais:**

- Zona **de vedação (núcleo);**
- Sistema de **drenagem interna;**
- **Transições;**
- Zona **resistente (espaldares).**

Principal desvantagem:

- Exigem **fundações em rocha sã ou alterada.**

BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO

CARACTERÍSTICAS

Diferenças principais entre Barragens Enrocamento X de Face de Concreto:

- Maciço **constituído por enrocamentos** (blocos de rocha) compactados em camadas;
- Construção de **laje de concreto como elemento de vedação de montante**;
- **Não há aterros em solos** compactados;
- Permitem **taludes mais íngremes**;
- **Não há adoção de ensecadeira incorporada.**

BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO

São caracterizadas pelos seguintes **elementos principais**:

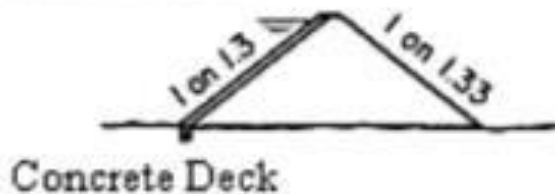
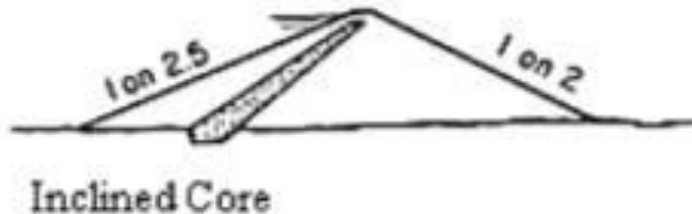
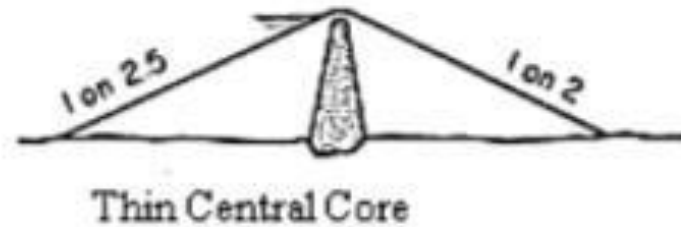
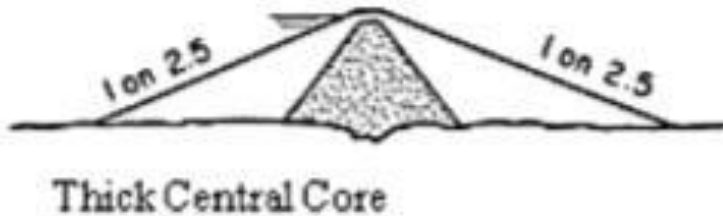
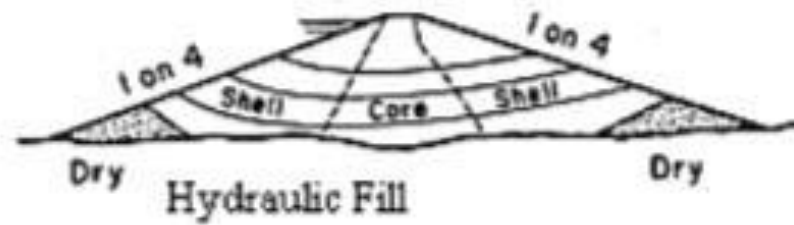
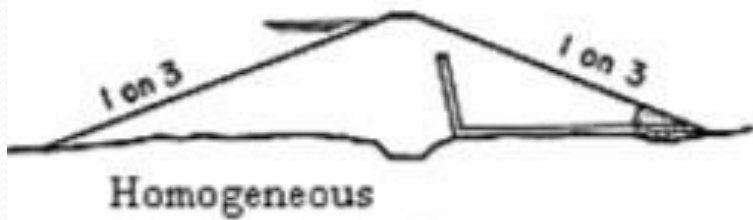
- Zona de vedação (**laje de vedação ancorada em viga de concreto, “Plinto”**);
- Zona de **transição (enrocamento fino)**;
- Zona **resistente (espaldares)**.

Principal **desvantagem**:

- Exigem **fundações em rocha sã ou alterada**.

BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO

Seções Típicas



BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

CARACTERÍSTICAS

Estruturas de contenção **destinadas ao armazenamento de rejeitos de mineração**, comumente **executadas por alteamentos sucessivos**. A adoção dos métodos de **alteamento para montante, jusante, ou pela linha do centro**, é **função da direção de deslocamento do eixo da barragem em relação ao eixo do dique de partida**.

BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

Características específicas das barragens de Contenção de Rejeitos:

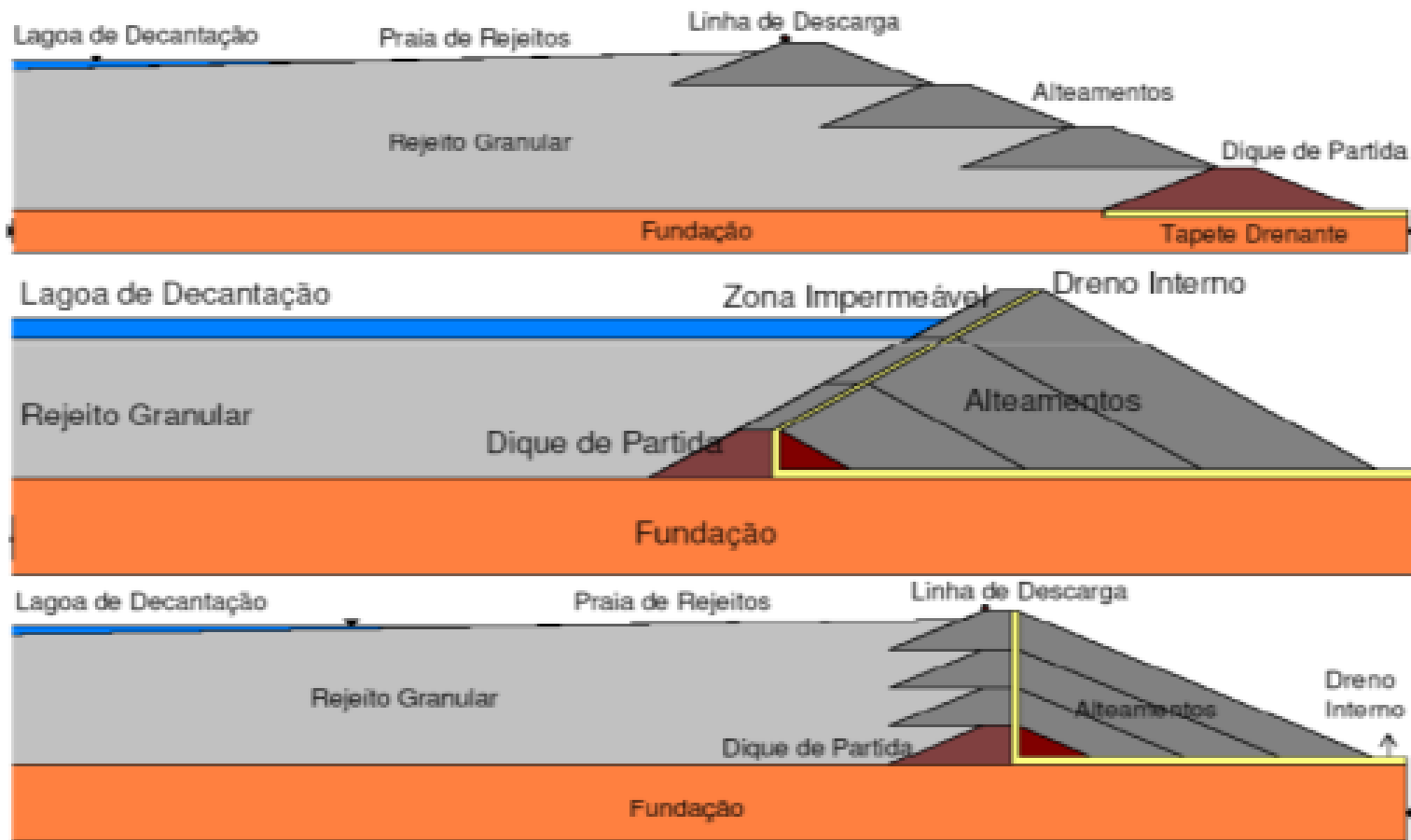
- Potencial de **risco**;
- Escolha do **local e materiais** de construção;
- **Aspectos construtivos**: diluição do investimento ao longo da vida útil: a partir do dique inicial em aterro compactado, execução em múltiplas etapas, em função dos volumes de rejeitos produzidos;
- Serviços de **manutenção**.

BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

Diferenças principais entre Barragens Convencionais X Barragens de Rejeitos:

- Natureza do **material armazenado**;
- **Utilização dos próprios rejeitos e estéreis como material de construção**;
- **Construção** das barragens de rejeitos em **etapas** (alteamentos sucessivos).

BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS



CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM SOLO

Borda Livre

A borda livre deve considerar a expectativa do **recalque da crista**.

Percolação e Controle da Drenagem

O **carreamento** das partículas de solo pelas forças de percolação **deve ser evitado** por filtros adequados. A percolação deve ser **monitorada** e verificada quanto a presença de **partículas em suspensão**.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM SOLO

Os **filtros e drenos internos são importantes onde for passível ocorrer fissuramento na barragem**, devido a recalques diferenciais, arqueamento e/ou faturamento hidráulico. Fissuras **podem causar fluxos de percolação concentrados e conduzir à ruptura da barragem por erosão interna (pipping)**, a menos que sejam interceptados e controlados por meio de filtros drenos.

Os **gradientes hidráulicos** na barragem, nas fundações, nas ombreiras e ao longo de condutos **devem ser baixos o suficiente para prevenir erosão regressiva**.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM SOLO

Fissuração

A barragem deve manter o reservatório **em segurança em relação a qualquer fissuração que possa ser induzida por recalque ou fraturamento hidráulico.**

Deve-se identificar fissuras e suas causas. Análises ou investigações adicionais podem ser necessárias, caso seja considerado possível o fissuramento do núcleo, por exemplo, se detectado um recalque diferencial.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM SOLO

Erosão Superficial

Os **taludes de montante da barragem e suas ombreiras** devem ser providos de **proteção adequada para resguardá-los contra erosão, inclusive devido a ondas.**

Os **taludes de jusante** devem ser **protegidos contra a ação erosiva de escoamentos superficiais, eventuais surgimentos de percolações, do tráfego de pessoas e de animais.** Os canais de **entrada e saída para vertedouros e condutos** devem ser adequadamente **protegidos contra erosão.**

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM SOLO

Liquefação

Materiais de aterro e fundação **suscetíveis à liquefação** devem ser **identificados**.

Ensaio de laboratório em amostras não deformadas, ensaios de penetração e métodos geofísicos podem ser usados para a caracterização do solo. **Conduzem à liquefação:**

- **Deformação excessiva por carregamento estático;**
- **Carregamento por impacto;**
- **Carregamento cíclico, tal como um carregamento por sismo.**

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Estabilidade da Fundação

Refere-se ao **maciço que forma a base para a estrutura, bem como suas ombreiras.**

A resistência e a rigidez da rocha deverão ser suficientes para **prover a estabilidade adequada sob carregamentos** de projeto para a barragem, estruturas associadas, ombreiras e fundação, e as **deformações limitadas a valores aceitáveis.**

Uma quantidade suficiente de **informações geológicas-geotécnicas deverá estar disponível**, ou deverá ser obtida, para se definir o modelo da fundação, adequado à **caracterização de quaisquer discontinuidades e para determinar todas as modalidades de rupturas possíveis.**

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Estabilidade da Fundação

Avaliação deve cobrir a qualidade da rocha e sua capacidade de suporte. Avaliadas a partir de dados de ensaios in situ, testemunhos de sondagens, inspeção visual e dados da instrumentação instalada. **Diretamente abaixo da barragem, a principal consideração deve ser a natureza do contato rocha-barragem, sua forma e as características da fundação.**

Onde as **fundações** estiverem **expostas, ou em contato com o maciço de terra**, a ênfase deverá ser dada à **impermeabilidade e às vedações em função do tempo.**

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Estabilidade da Fundação

Deverá ser determinado se **detalhes geológicos poderiam conduzir a deterioração do maciço rochoso.**

Todos os **tratamentos corretivos subsuperficiais** executados durante o período de construção da barragem **devem ser identificados e avaliados** para se determinar se eles **permanecem eficientes e em condições estáveis.**

A estabilidade das fundações em rocha pode ser avaliada em termos dos coeficientes de segurança descritos anteriormente.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Parâmetros de Resistência ao cisalhamento

Fundações em rocha devem possuir **resistência adequada ao cisalhamento**, para assegurar a estabilidade da barragem **ao longo de todas as superfícies potenciais de ruptura**.

A **compatibilidade entre a deformação da barragem e sua fundação** precisa ser considerada quando da determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento da fundação.

Se as fundações **são irregularmente fraturadas**, métodos e programas devem ser estabelecidos para se **determinar os dados de resistência para as partes mais críticas das fundações em rocha**.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Percolação e drenagem

Dependendo do tipo de rocha, uma **proteção** adequada deve ser prevista **contra erosão interna, lixiviação ou efeitos de dissolução** nas fundações e ombreiras.

Os sistemas de **drenagem e injeção** nas fundações e ombreiras deverão **manter as subpressões em níveis aceitáveis**, pelo projetista ou avaliadores.

Onde os maciços de terra são construídos **sobre fundação em rocha**, o **tratamento** da fundação deve ser compatível com os materiais do maciço, de modo a **prevenir o carreamento de partículas**.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Percolação e drenagem

A **avaliação das fundações** da barragem inclui as seguintes etapas:

- Determinar se a **vazão de percolação é aceitável** com relação às condições geológicas;
- Identificar qualquer **evidência de infiltração** ao longo de **lentes intemperizadas (alteradas), juntas abertas ou zonas de contato;**
- Verificar se o sistema de **drenagem está funcionando;**

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE TERRA E FUNDAÇÕES EM ROCHA

Percolação e drenagem

A avaliação das fundações da barragem inclui as seguintes etapas:

- Verificar se a **cortina de injeção** está tendo um desempenho **satisfatório**;
- A **deteção da percolação**, no seu **estágio inicial** de desenvolvimento, é importante para se **avaliar sua origem e causa**. A avaliação inicial deve considerar qual é a extensão da percolação que pode conduzir problemas maiores de erosão ou instabilidade.

CONSIDERAÇÕES – ESTRUTURAS ASSOCIADAS

Movimentação da Fundação

Fundações e ombreiras, bem como maciços de terra, através dos quais, ou sobre os quais estruturas associadas tenham sido construídas, **devem ser livres de movimentações** que possam prejudicar a capacidade operacional da estrutura ou conduzir a dano estrutural, **tal como fissuramento excessivo, deformação, deflexão, dano às juntas, separação de juntas ou de outro modo ameaçar a integridade estrutural e o desempenho hidráulico.**

A fundação de uma estrutura associada deverá possuir resistência suficiente para **resistir a deslizamentos**, e capacidade de suporte adequada para **prevenir recalques excessivos.**

CONSIDERAÇÕES – ESTRUTURAS ASSOCIADAS

Estabilidade de Taludes

Taludes flanqueando canais de aproximação e descarga de estrutura associada **devem ser estáveis, evitando que instabilidade** provocada pela variedade de solos de assoreamento e movimentação de rocha **imponha restrições a estes canais.**

CONSIDERAÇÕES – ESTRUTURAS ASSOCIADAS

Percolação

A zona impermeável, imediatamente subjacente ou incluída na parte de montante de uma estrutura associada, incluindo componentes, tais como **trincheira de vedação (cut off), seção do núcleo ou tapete impermeável**, devem **ser livres de concentrações localizadas de percolação**, que poderiam resultar em erosão interna (pipping).

Os gradientes hidráulicos devem ser mantidos dentro dos limites recomendados para os materiais de fundação e zonas de filtro, incluindo aterros, bem como os solos e rochas in situ.

CONSIDERAÇÕES – BARRAGENS DE ENROCAMENTO

Face de Concreto e Núcleo Asfáltico

Barragens de enrocamento com face de concreto ou com núcleo asfáltico e suas fundações, devem seguir os mesmos requisitos das barragens de terra, quando aplicáveis.

Além disso, **recalques e deformações deverão ser controlados para prevenir fissuração que comprometa a segurança da obra. A percolação ou infiltração através do revestimento de concreto ou pelo núcleo asfáltico deve ser limitada a valores aceitáveis.**

SEGURANÇA

Monitoramento

Todas as barragens devem ser **classificadas** quanto às **consequências de uma ruptura** ou dano potencial, em que devem ser considerados, entre outros, os seguintes fatores:

- **Aspectos sociais;**
- **Aspectos ambientais;**
- **Aspectos estruturais;**
- **Aspectos econômicos.**

SEGURANÇA

Monitoramento

Todas as barragens devem ser **inspeccionadas** periodicamente para detectar eventuais deteriorações e recomendar ações remediáveis:

- Inspeção de rotina;
- Inspeções formais;
- Inspeções de especialistas;
- Inspeções de emergência.

Todas as barragens devem ser **instrumentadas** de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente com a realização de leituras.

Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites.

SEGURANÇA

Deteriorações mais comuns em barragens de terra e enrocamento

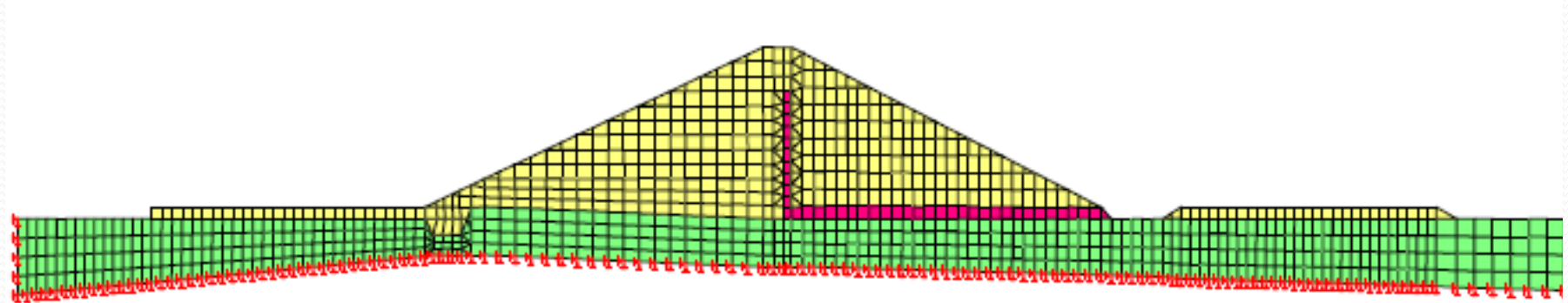
Abatido	Desgaste por Abrasão	Insuficiente
Alagado	Deslizado	Infiltração
Assoreado	Deslocado	Inundado
Bloco de Rocha Solto	Desnivelado	Percolado
Buraco	Desplacado	Recalque
Carreado	Empoçado	Sujeira
Colmatado	Envelhecido	Surgência
Crescimento de Vegetação	Erodido	Trinca
Depressão	Fissurado	Umidade
Desagregado	Formação de Canais	Vazamento
Desalinhado		

- **Objetivos da instrumentação.**
- Barragens de **terra/enrocamento**: **modos de falha**, monitoramento da **percolação** (instrumentos, funcionamento, análise), monitoramento de **deformações** (instrumentos, funcionamento, análise), monitoramento de **tensões totais**.
- Barragens de concreto: **modos de falha**, monitoramento de **percolação**, **deformações** e **movimentos diferenciais**.
- **Plano de instrumentação**, **frequência de leituras**, **equipes** e **procedimentos**, **manual da instrumentação**, **valores de controle**.

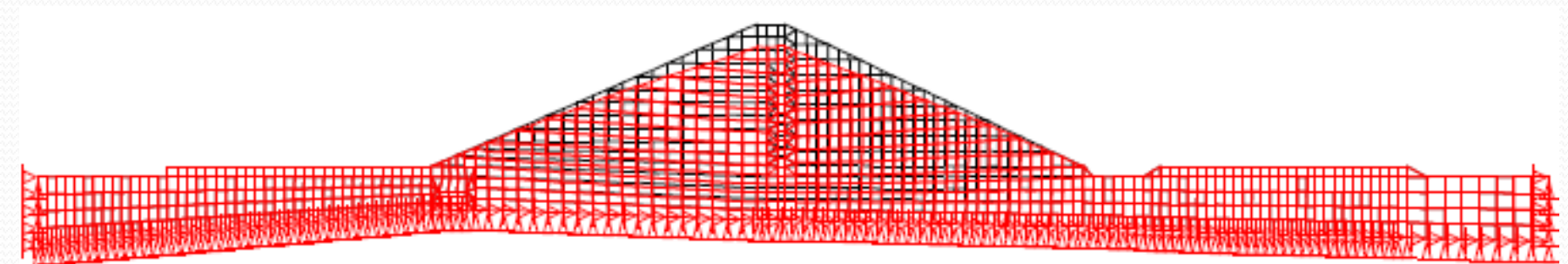
PROJETO DE UMA BARRAGEM DE TERRA

- Geometria do vale
- Materiais de construção disponíveis
- Geologia da fundação e ombreiras

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE TERRA

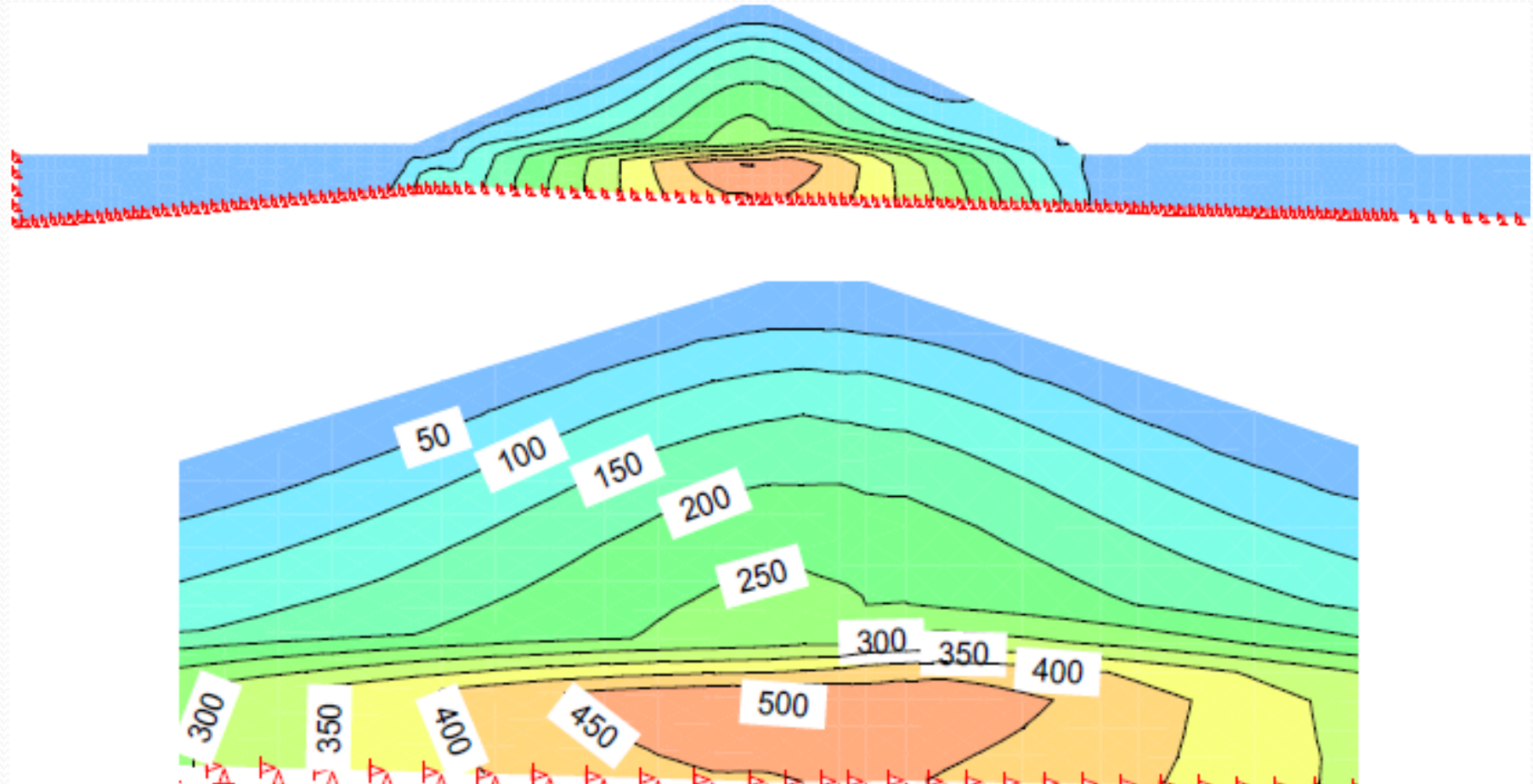


Análise de Tensão - Deformação

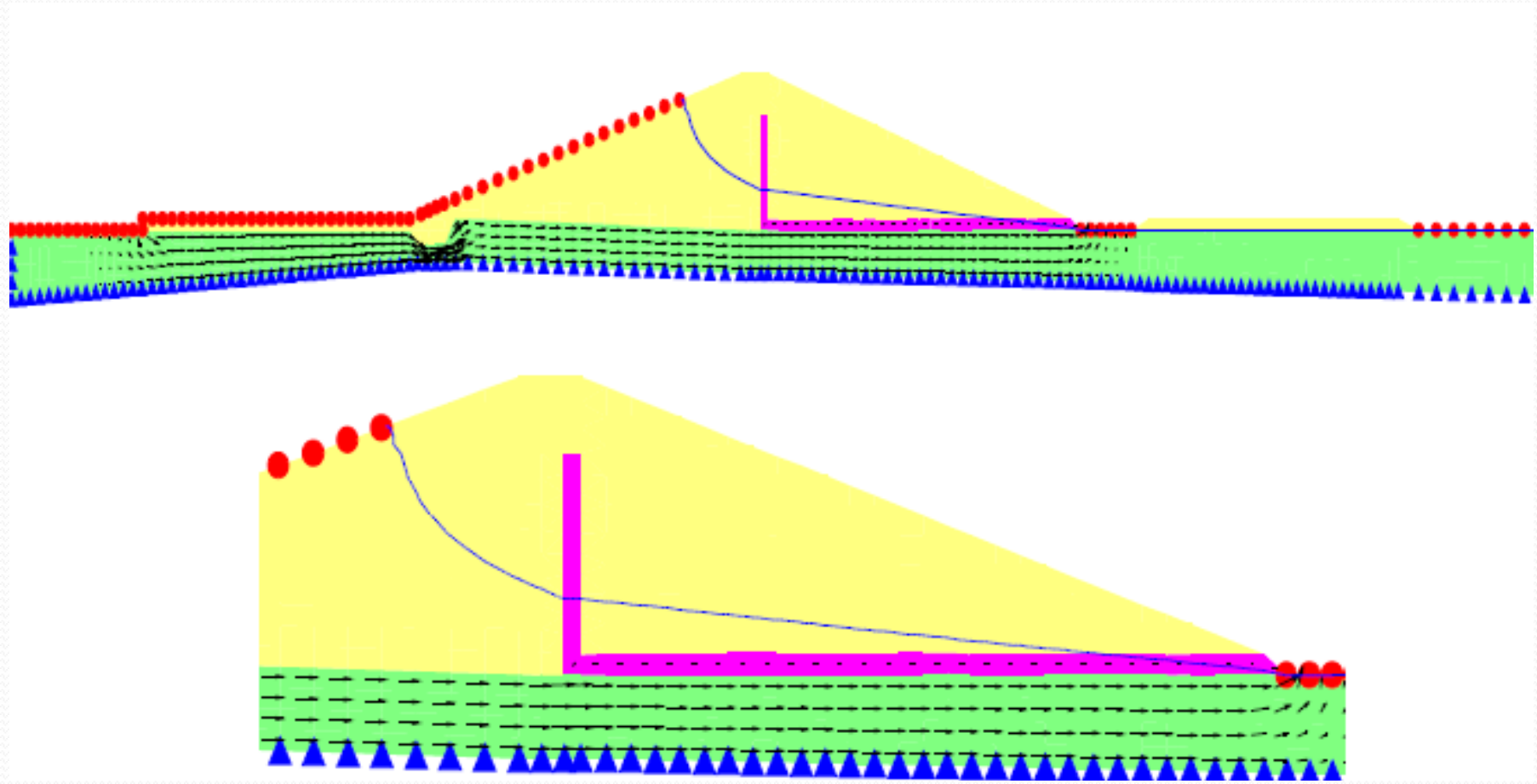


ANÁLISE DE TENSÃO – DEFORMAÇÃO

Tensões cisalhantes

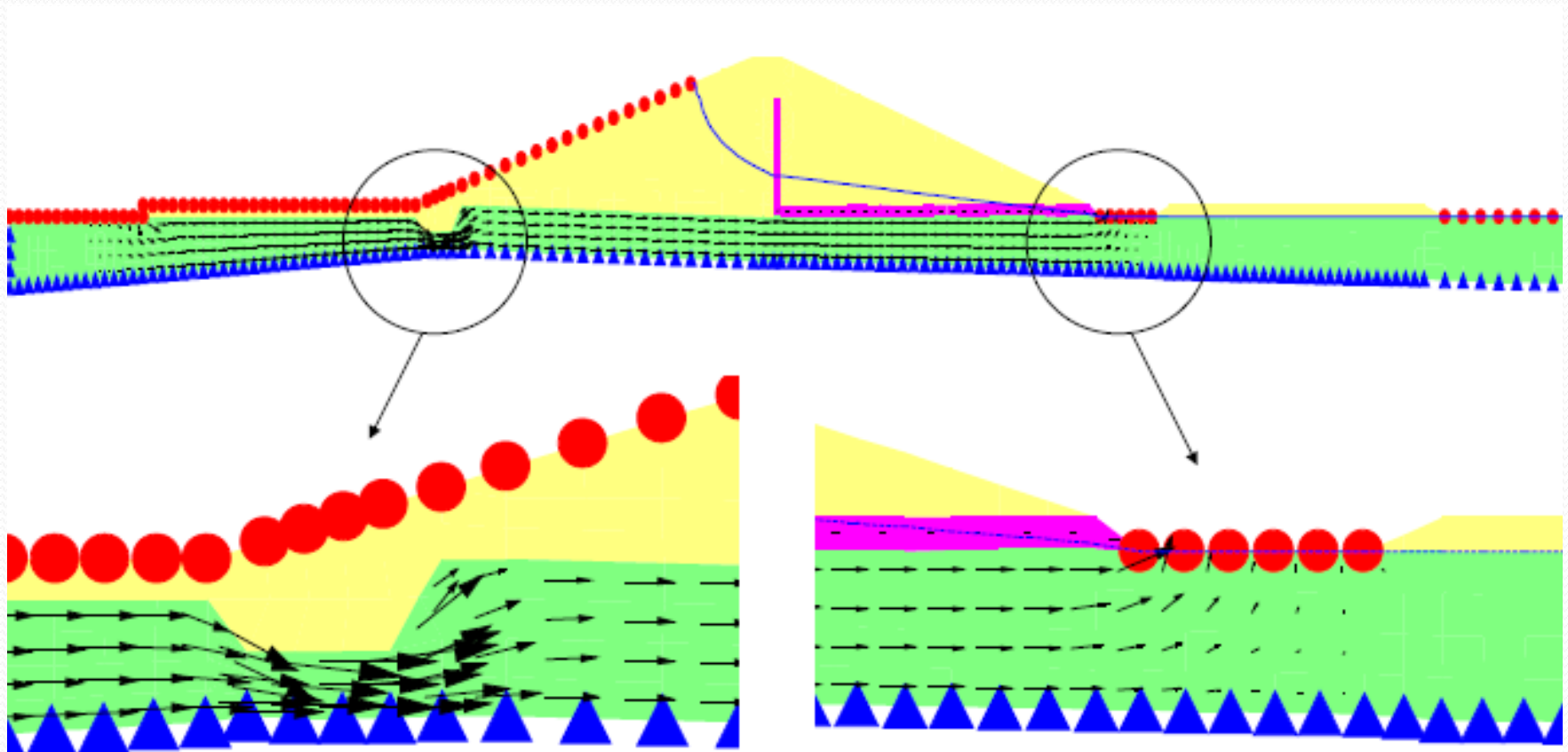


ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

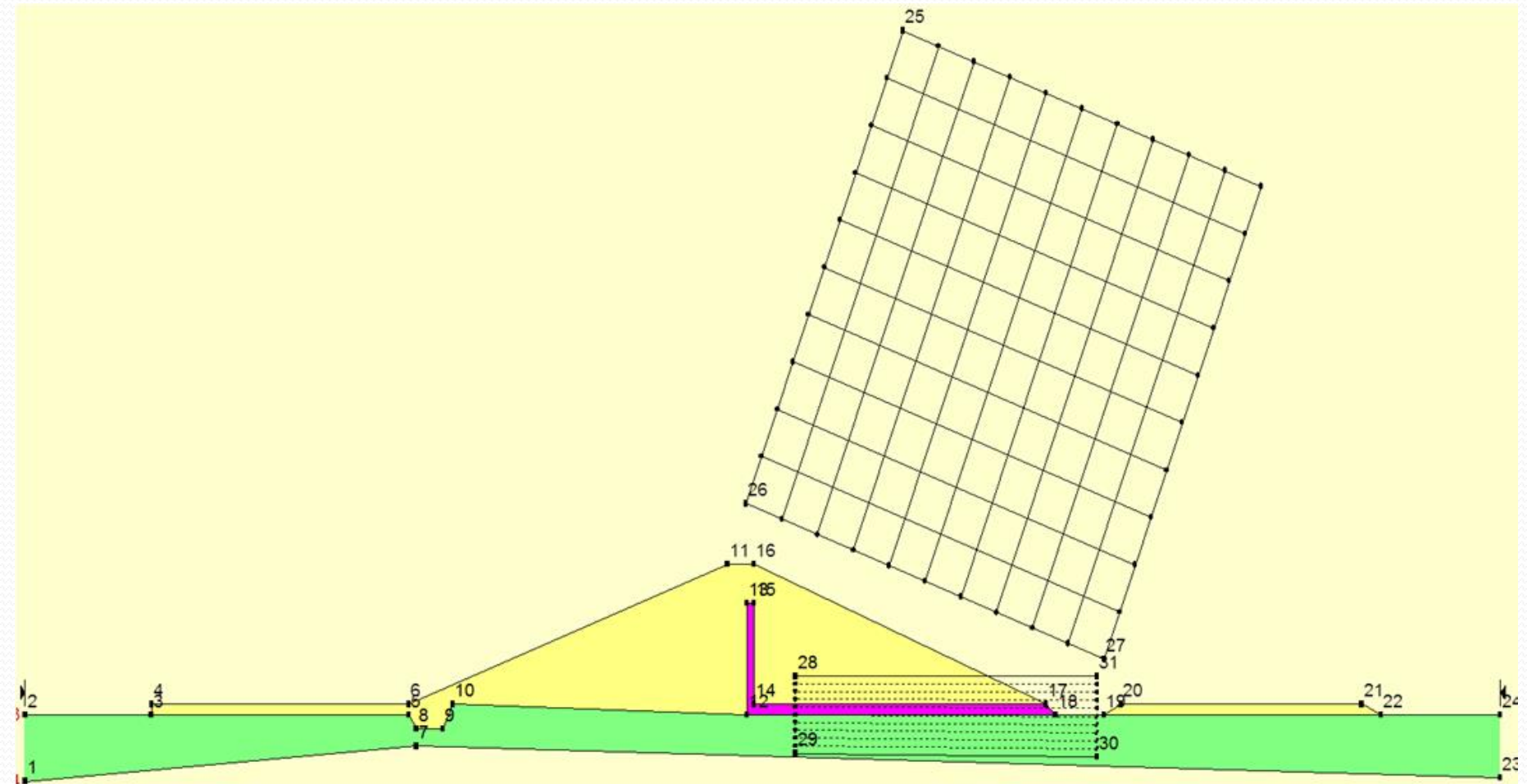


ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

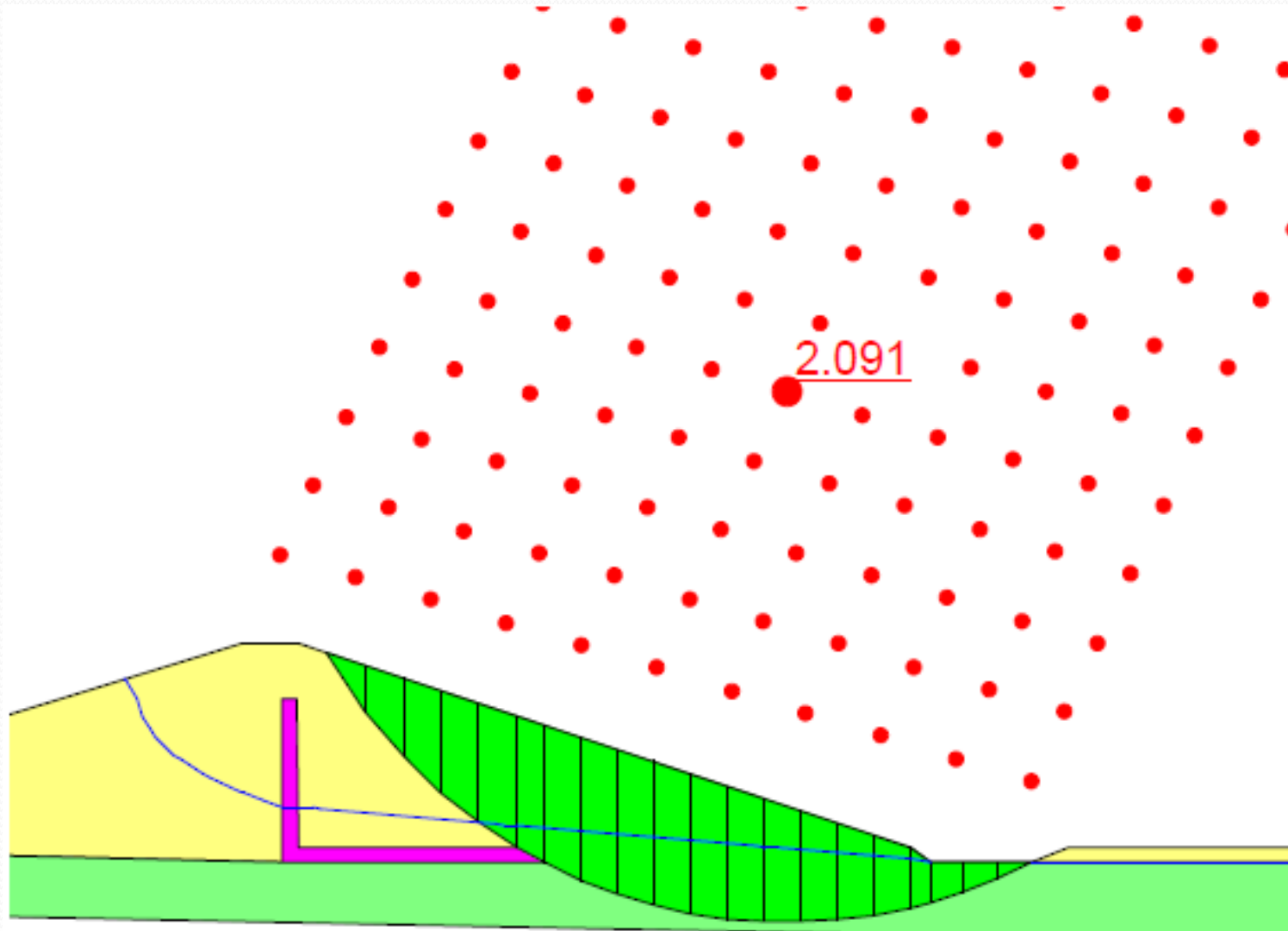
Vetores Velocidade



ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES



ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES



Os esforços de projeto são dirigidos para empregar as propriedades dos materiais e carregamentos para prever coeficientes de segurança, deformações esperadas e padrões e volumes de percolação.

No entanto, a maioria dos parâmetros dos materiais (resistência, compressibilidade e permeabilidade) são valores que apresentam variabilidade.

COMO VERIFICAR SE AS ESTRUTURAS ESTÃO TRABALHANDO COMO PROJETADO?



MONITORAMENTO

AUSCULTAÇÃO DE BARRAGENS MONITORAMENTO DE BARRAGENS

INSPEÇÕES VISUAIS



INSTRUMENTAÇÃO



INSPEÇÕES VISUAIS

- O **olho humano treinado** é o melhor instrumento para avaliar a performance de uma barragem. **Apesar** das inspeções visuais **terem limitações**, nenhum outro método tem o mesmo potencial de integrar rapidamente toda a situação do comportamento



OBJETIVOS DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS

- O principal objetivo da instrumentação é ser fonte de informações sobre o comportamento das estruturas de uma barragem, contribuindo para o entendimento do seu desempenho e para a manutenção da sua segurança.
- De forma geral, quando instalados em barragens novas, os instrumentos visam checar considerações de projeto e parâmetros de construção, bem como quantificar o desempenho inicial e aferir comportamentos a longo prazo.
- Sistemas de medição instalados em barragens em operação geralmente servem para prover informações sobre mudanças operacionais ou de comportamento que possam impactar a segurança das estruturas.

AVALIAÇÃO DAS CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

- Os engenheiros geotécnicos lidam sempre com o desconhecido. Não se pode controlar totalmente os materiais com os quais trabalham, uma vez que provêm de jazidas e áreas de empréstimo de forma geral não uniformes. Além disso, os métodos construtivos introduzem uma variabilidade adicional nas características dos materiais de construção do maciço.

AVALIAÇÃO DAS CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

- No projeto ou análise de **barragens de terra e/ou enrocamento**, os engenheiros empregam **investigações e ensaios de campo e de laboratório para estimar as propriedades dos materiais do aterro e da fundação**. Marr (2001) lembra da **variabilidade e limitações dos resultados** de ensaios e da possibilidade de **particularidades geológicas passarem despercebidas** nas investigações de campo.
- Os **parâmetros de projeto** são extraídos de campanhas de investigações e ensaios via de regra limitados e, muitas vezes, são extraídos de bibliografia ou de informações relativas a obras similares.

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO COMPARADO COM AS PREMISSAS DE PROJETO

- Possibilita a **avaliação do comportamento estrutural** de uma barragem, através de **comparações entre grandezas medidas *in situ* e aquelas fornecidas pelos modelos matemáticos de análise.**
- Esta avaliação trata **basicamente de cinco questões fundamentais**, cujas respostas podem ser **obtidas com a ajuda da instrumentação**

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO COMPARADO COM AS PREMISSAS DE PROJETO

- **A barragem é estável** sob a ação dos carregamentos esperados?
- **As deformações são aceitáveis** para os carregamentos esperados?
- **A quantidade de percolação é aceitável?**
- A percolação ocorre de forma que **não ocorrerá erosão interna da fundação ou do maciço?**
- **A borda livre é adequada** para impedir o transbordamento durante a passagem da cheia de projeto?

ALERTA PRECOCE DE MUDANÇAS QUE PODERIAM AFETAR A INTEGRIDADE DA BARRAGEM

- Durante a fase de **operação**, os sistemas de instrumentação geotécnica podem ser instalados para **prover um alarme quando um indicador de desempenho exceder os limites estabelecidos como aceitáveis**. Neste caso, a instrumentação passa a constituir uma ferramenta eficaz na identificação de possíveis situações de risco à segurança das estruturas.

- **Controle da construção;**
- **Investigação e diagnóstico de comportamento anormal;**
- **Apoio em tomadas de decisão;**
- **Aumento do conhecimento sobre o comportamento de barragens;**
- **Resposta a reclamações de terceiros;**
- **Atendimento aos órgãos reguladores;**
- **Atendimento a condicionantes ambientais;**

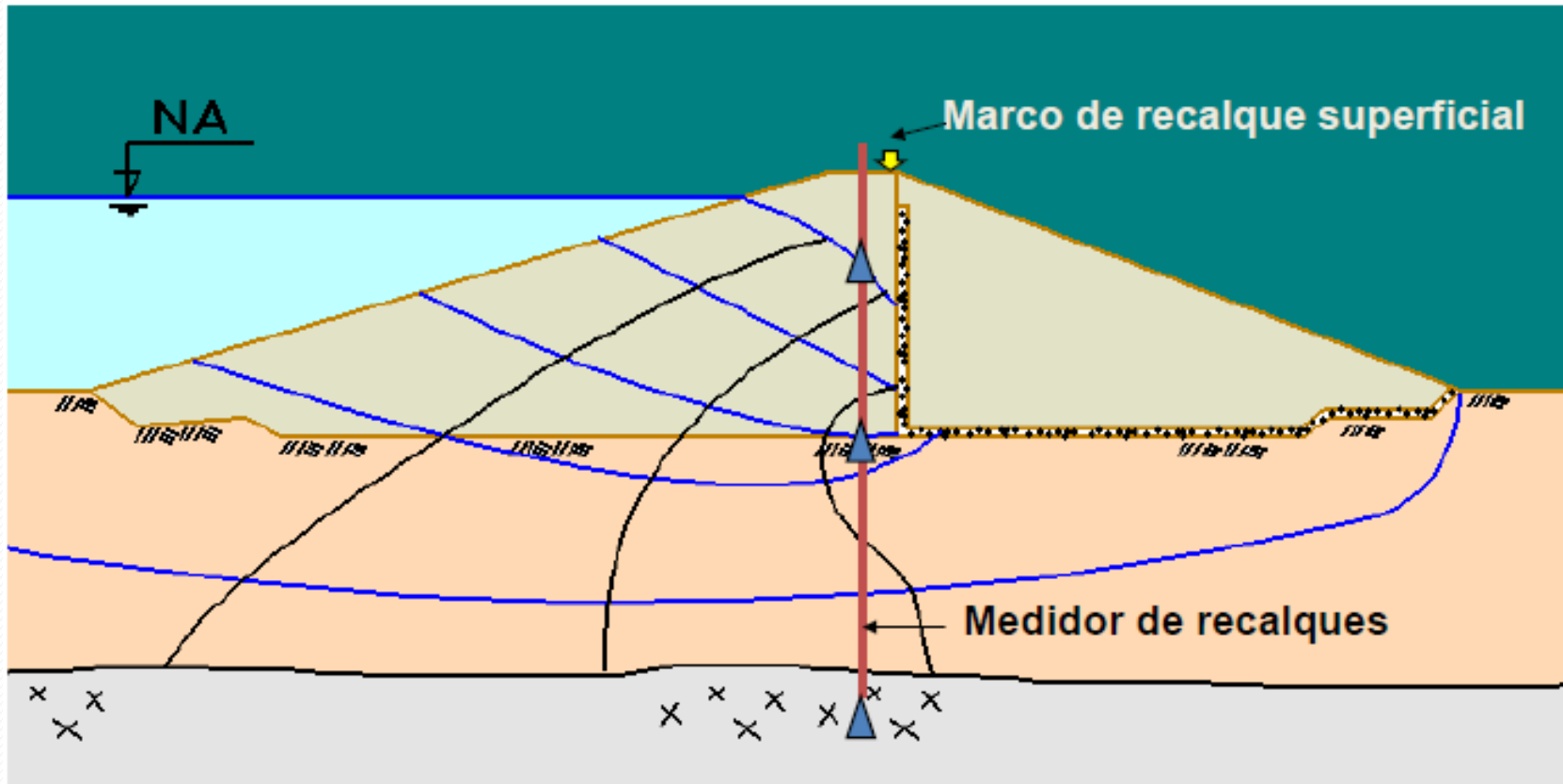
“Todo instrumento deve ser selecionado e instalado para responder a questões específicas: se não há perguntas, não deve haver instrumentação.”

MODOS DE FALHA DE BARRAGENS DE TERRA/ENROCAMENTO

- **Galgamento;**
- **Instabilização Global;**
- **Instabilização Localizada;**
- **Erosão Interna;**
- **Liquefação;**

GALGAMENTO – Causas

- Borda Livre Insuficiente;
- Recalque do Maciço ou Fundação.

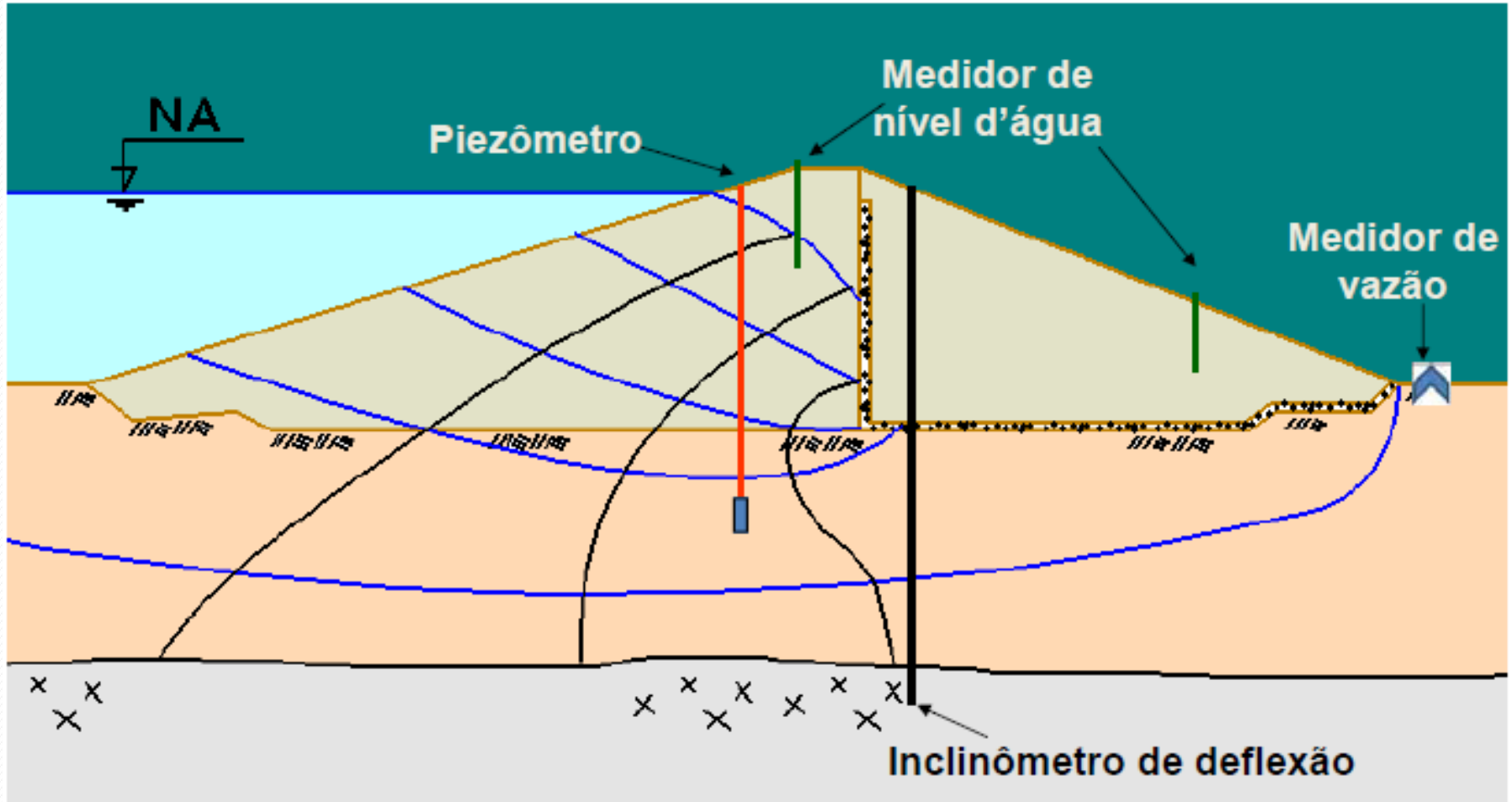


INSTABILIZAÇÃO GLOBAL

Ruptura por **falta de estabilidade** da estrutura ao **tombamento/ deslizamento** ou **flutuação** no caso de estruturas de concreto ou do movimento de massa do talude de jusante ou de montante.

Causas:

- Falha nos critérios de projeto de estabilidade
- Variabilidade dos materiais de construção
- Falhas de construção
- Descontinuidades na fundação e aspectos geológicos geotécnicos
- Obstrução de sistemas de drenagem



EROSÃO INTERNA

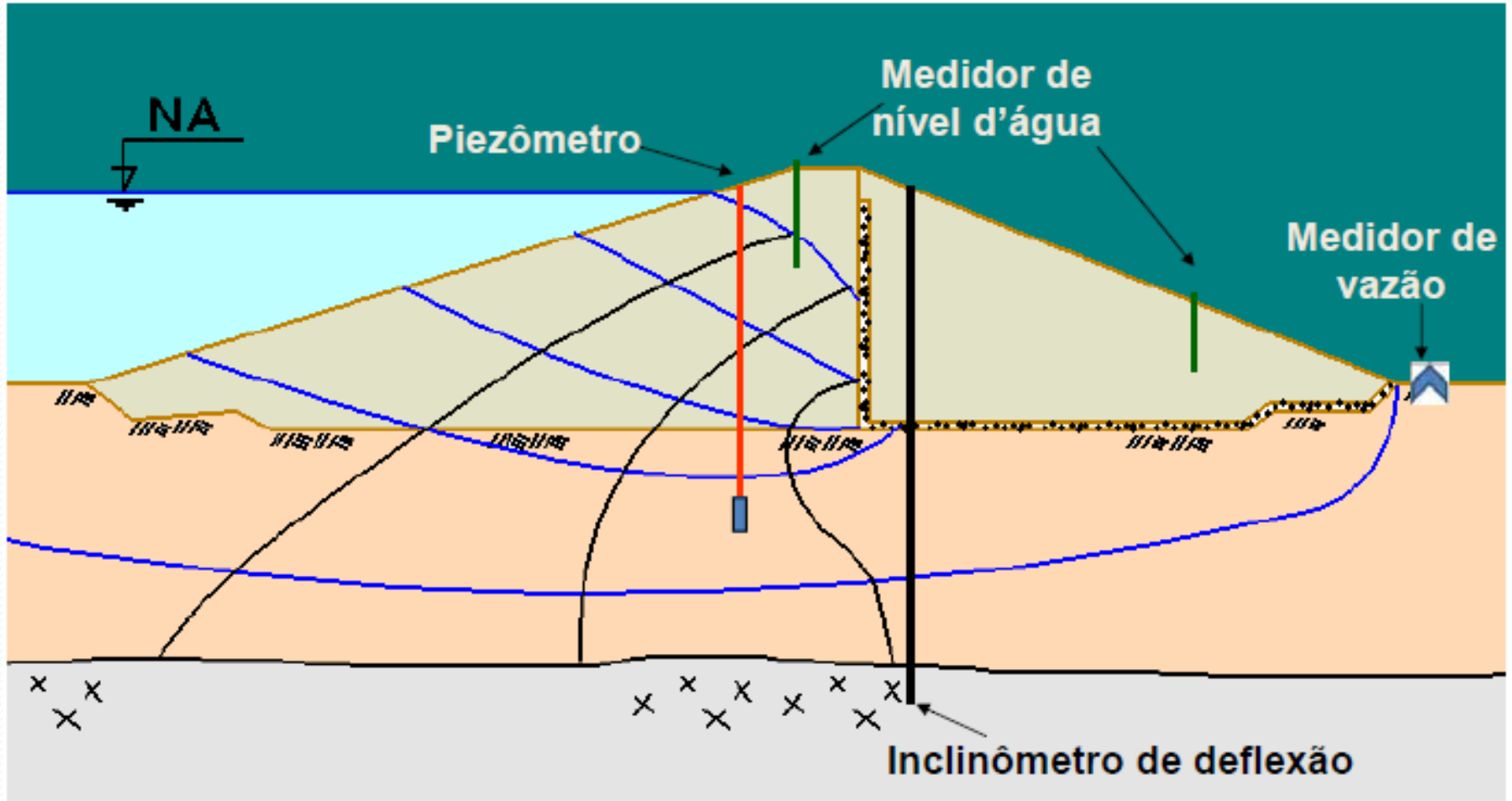
O fenômeno da erosão interna ocorre quando as partículas de um solo, no maciço de uma barragem ou em sua fundação, são carregadas pelo fluxo da percolação existente.



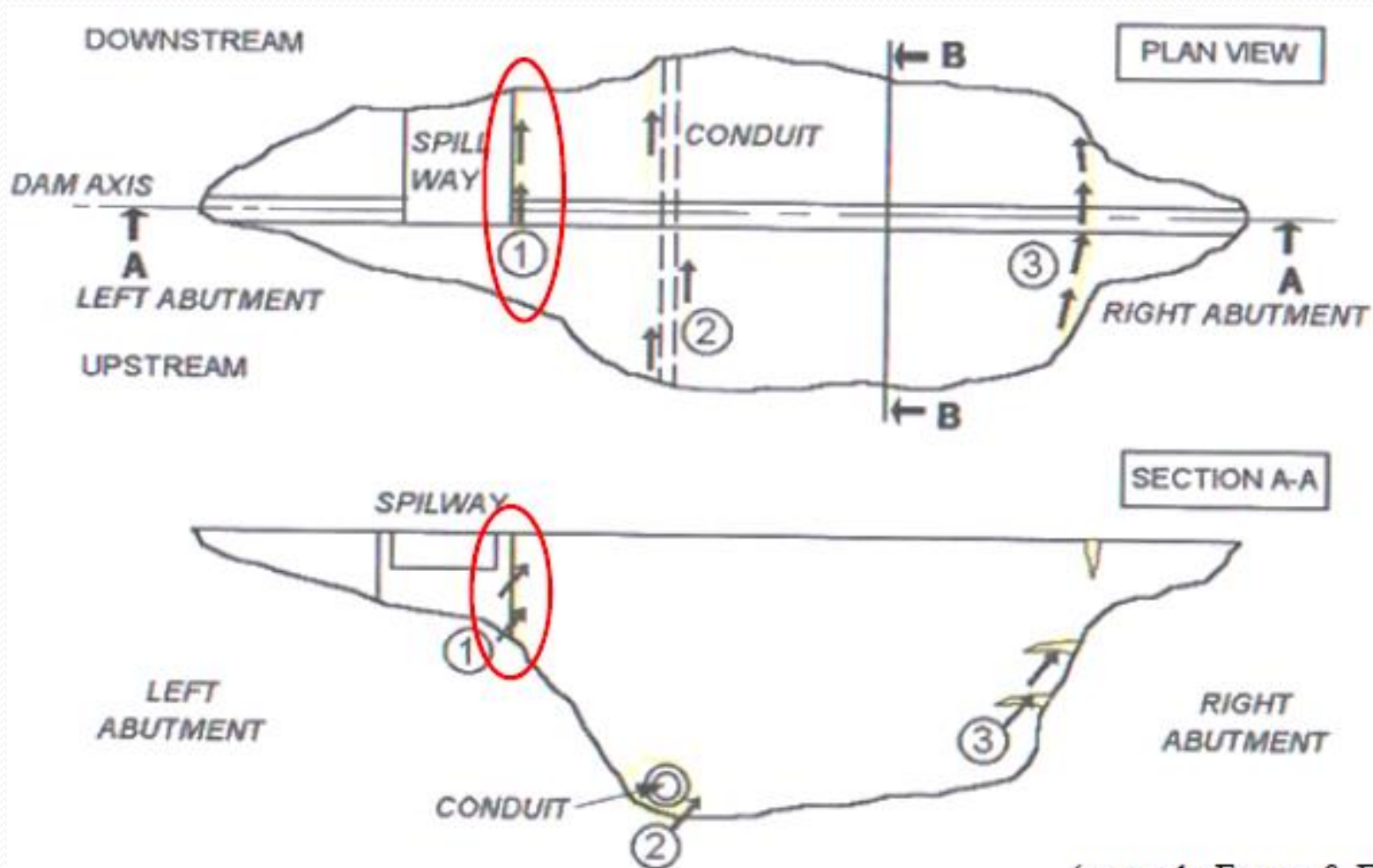
COLAPSO POR ALARGAMENTO DO "PIPING"

EROSÃO INTERNA – EROSÃO REGRESSIVA PELA FUNDAÇÃO





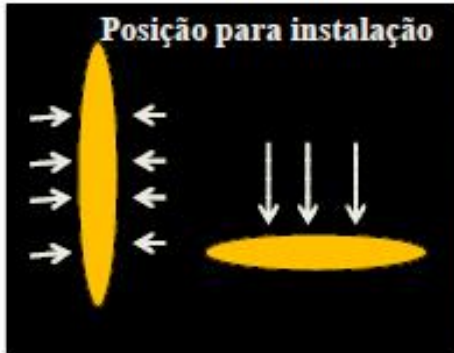
Erosões por fluxo concentrado no contato estruturas de concreto/terra.



(segundo Foster & Fry, 2007)
www.geocompany.com.br

+55 11 4195-4435

CÉLULA DE PRESSÃO TOTAL



Instalação de célula de pressão total corda vibrante

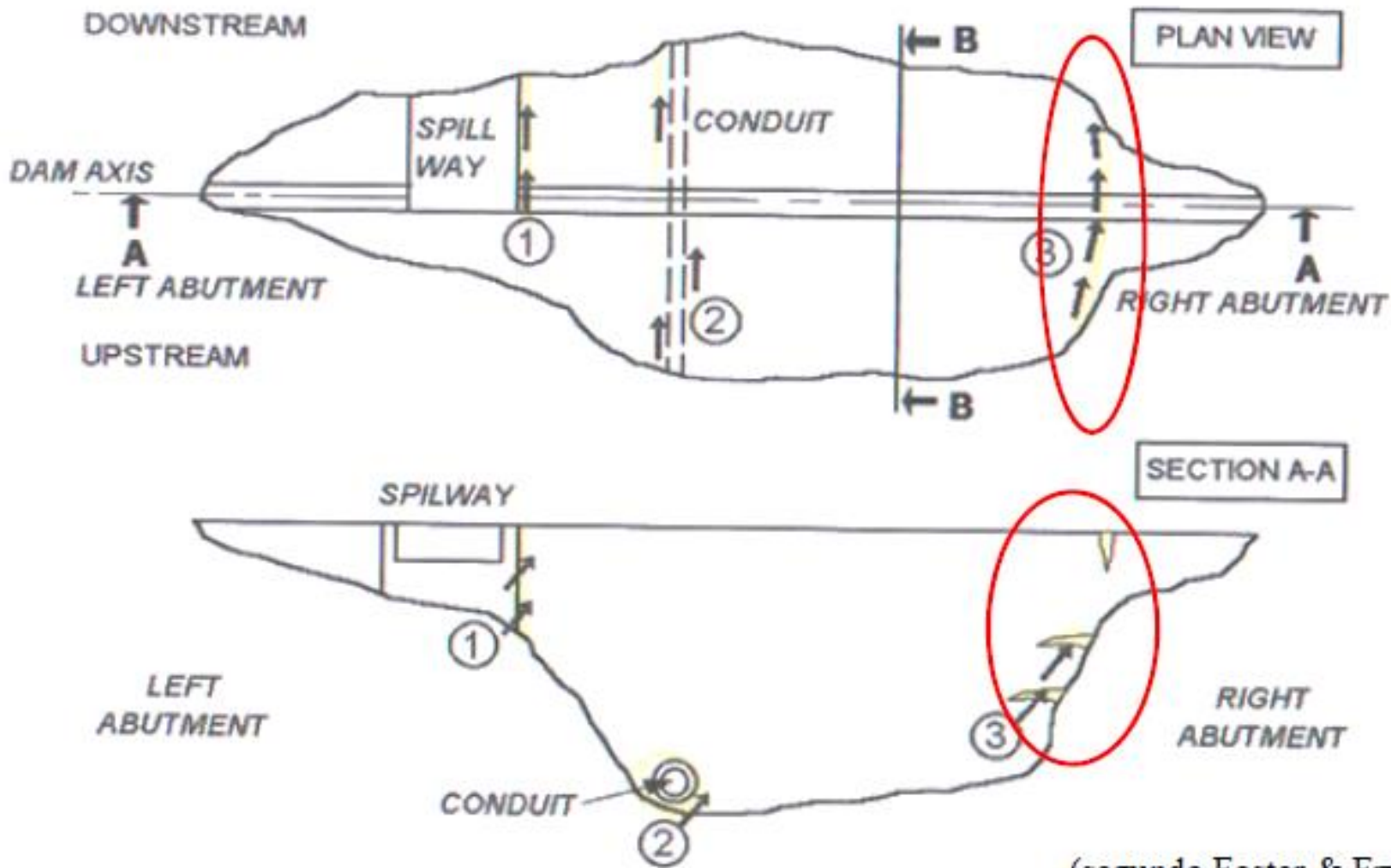


Compactação manual



Vista multiplexer e leitora manual

Erosão interna por fluxo concentrado em trincas internas



(segundo Foster & Fry, 2007) m.br

LIQUEFAÇÃO

Fenômeno de levar um material de seu estado natural ao estado liquefeito. Pode ocorrer em solos granulares, quando as poropressões se elevam a ponto de anular as tensões efetivas. Se isso acontecer, a pressão intergranular também será nula, assim como o atrito entre partículas. Neste caso, o material se comportará como um líquido.

A liquefação dinâmica pode ser causada por efeitos de vibrações e terremotos. Já a liquefação estática pode ser causada carregamentos rápidos, subida do nível de água e elevada precipitação pluviométrica.

LIQUEFAÇÃO

Os materiais granulares finos e uniformes, com saturação completa, são mais propensos a liquefazer-se quando comparados aos materiais de granulometria mais grosseira e angulares. No entanto, uma variável bastante relevante é o estado de compactidade.

SISMICIDADE INDUZIDA POR RESERVATÓRIO

- Com a **formação do lago**, a água **preenche os poros das rochas ou infiltrasse lentamente pelas fraturas existentes** na região abaixo do reservatório, produzindo um **desordenamento no balanço das forças geológicas preexistentes**.
- **Outro efeito** que induz a formação de SIR **é o próprio peso do reservatório**.

SISMOLOGIA

- É **recomendável** que pelo menos **3 anos** antes do início do enchimento do reservatório se **instale uma estação sismográfica** para que se possa **conhecer a atividade sísmica do local** antes e pós enchimento do reservatório.
- **Os pontos** onde são instaladas as estações **dependem** das condições geológicas do local, preferencialmente uma estação sismográfica **deve ser instalada sobre um afloramento rochoso**, longe de vias de tráfego para evitar interferência no sinal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A região de Minas Gerais contém muitas cavernas, então na medida em que vai se depositando água, ela cria pressão e o maciço vai acomodando, gerando pequenos abalos sísmicos, inferiores a 2 na escala Richter, essa combinação de fatores podem causar um desastre.
- A ausência de estudos consistentes de sondagem e de inspeção contínua das obras contribui significativamente para o cenário recorrente de colapso de barragens.
- Fora de Minas Gerais, 4 barragens romperam nos últimos 12 anos. A vulnerabilidade do estado é explicada pela maior exploração de atividade minerária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Quando os eventos naturais responsáveis por essa contribuição são **corriqueiros**, como chuvas de intensidade anual, tremores de terras com incidência recorrente, e inundações ordinárias, **o evento deve ser classificado como tecnológico**, pois a estrutura da barragem deve ser apta a suportar as oscilações naturais do ambiente em que se insere.
- A implantação de uma fiscalização periódica mais rigorosa e adoção de estudos e técnicas estruturais mais eficientes são caminhos para mitigar os riscos de recorrência destes eventos.