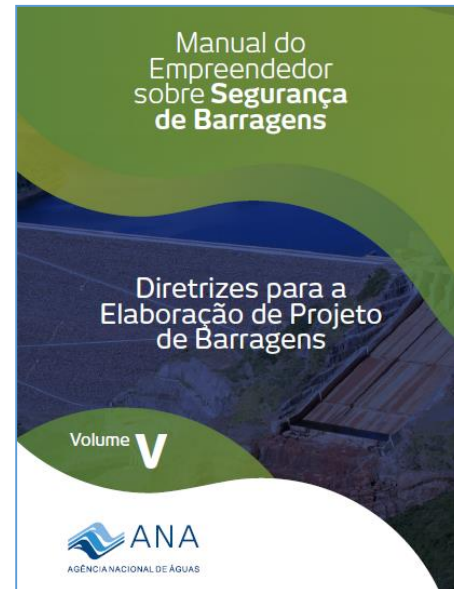
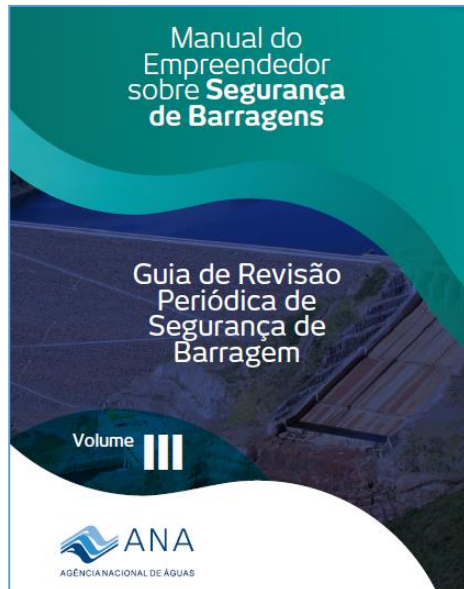


# Curso sobre Utilização do Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

Manual do Empreendedor sobre de Segurança de Barragens - Volumes III e V  
04 a 06 de abril de 2017 – Rio de Janeiro (RJ)



**INSTRUTOR: Carlos Henrique Medeiros**

Prof., Eng. Civil, Ph.D., M.Sc.

**CBDB**



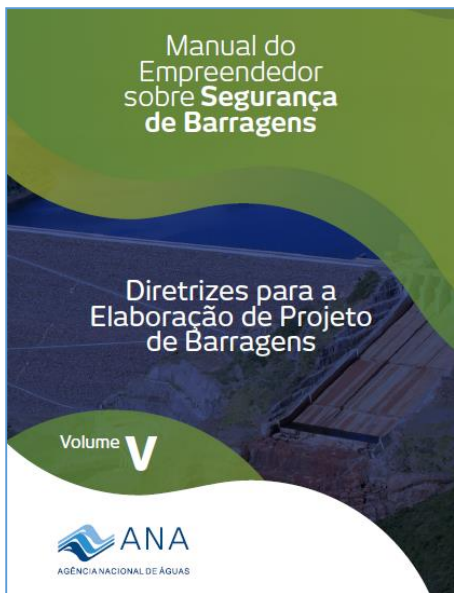
**“ENGENHARIA É A ARTE DE TOMAR  
DECISÕES, FACE A INCERTEZA”**

Prof. Victor de Mello (em Memória)



**“CADA ESTRUTURA DE BARRAGEM  
E SEU SÍTIO GEOTÉCNICO, TEM  
UMA IMPRESSÃO DIGITAL”**

Carlos Henrique Medeiros

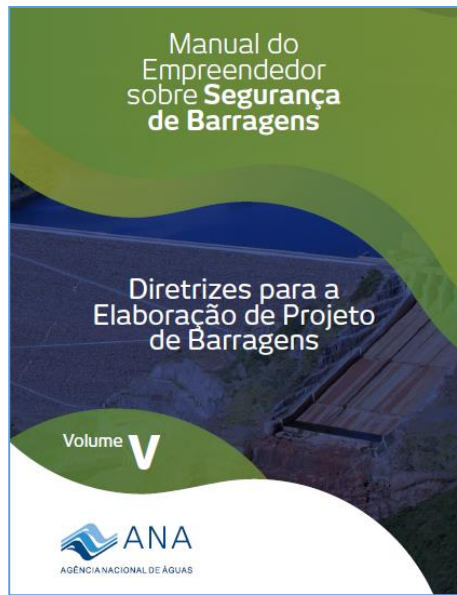


Capítulo 1 – “Disposições Gerais”, no qual, após a definição do âmbito e objetivos das Diretrizes, se fazem algumas considerações sobre a qualificação do responsável pela elaboração do projeto, normas técnicas a utilizar, aspectos gerais a contemplar no projeto da barragem, dos seus órgãos extravasores e de operação, do reservatório e áreas no entorno, bem como as ações e condições de carregamento a considerar.

Capítulo 2 – “Etapas dos Estudos e Projetos”, no qual se referem os conteúdos e grau de aprofundamento de cada etapa dos estudos e projetos, desde os estudos preliminares e de viabilidade, ao projeto básico, executivo e final como construído.

Capítulo 3 – “Elementos Base e Estudos Gerais do Projeto”, no qual se apresentam os estudos básicos, visando obter os elementos a incluir nos projetos, designadamente, elementos gerais, estudos hidrológicos, geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e sismológicos, bem como estudos relativos à borda livre, ao desvio do rio, às escavações e ao tratamento de fundações.

Capítulo 4 – “Barragens de Aterro (Terra e Enrocamento)”, no qual se apresentam, além de alguns aspectos gerais a se ter em conta no projeto, os estudos a desenvolver, tais como os relativos aos materiais de construção, aos maciços de fundação e às estruturas (fatores que influenciam a escolha do tipo estrutural e tipos de barragens mais comuns), seguindo-se considerações sobre o dimensionamento e verificação da segurança das barragens.

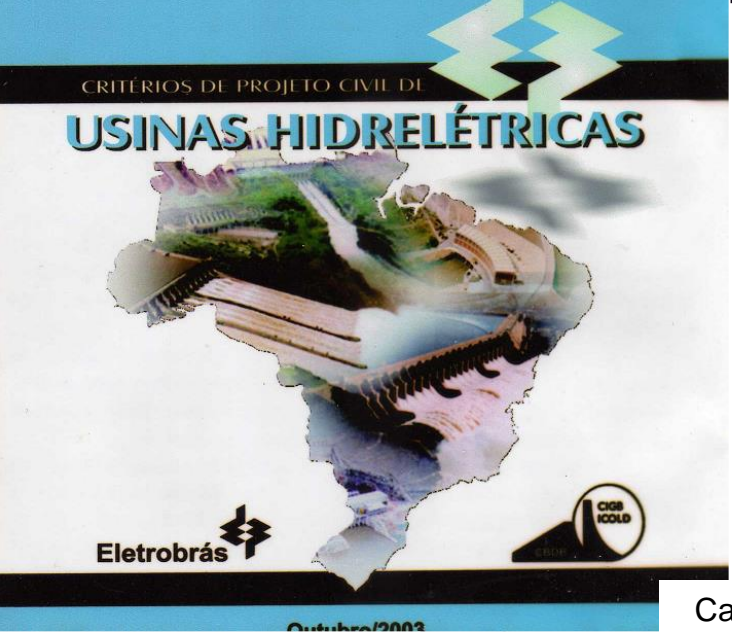
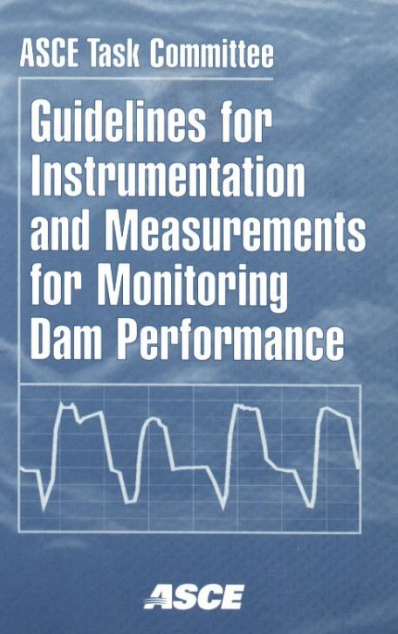
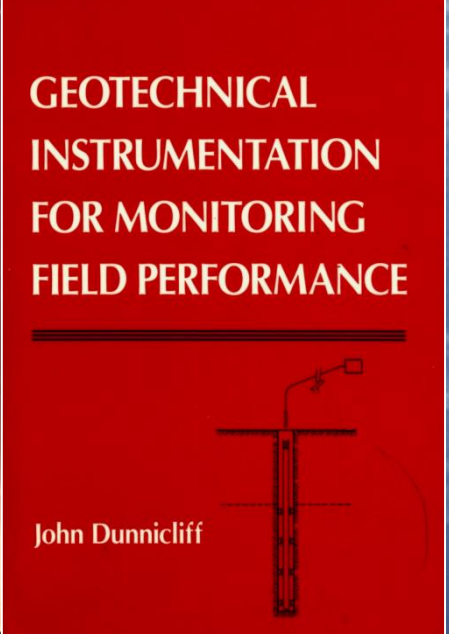
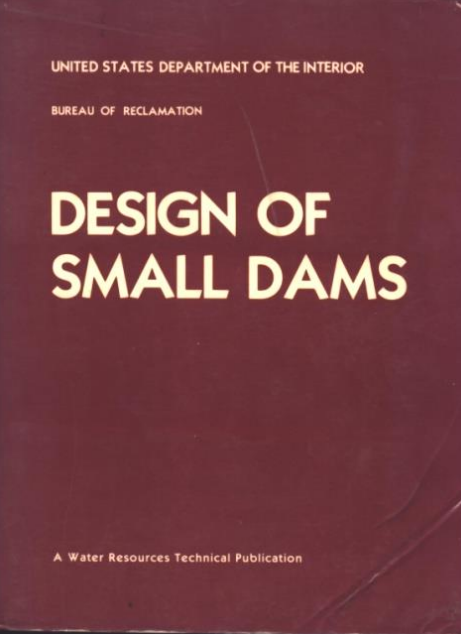
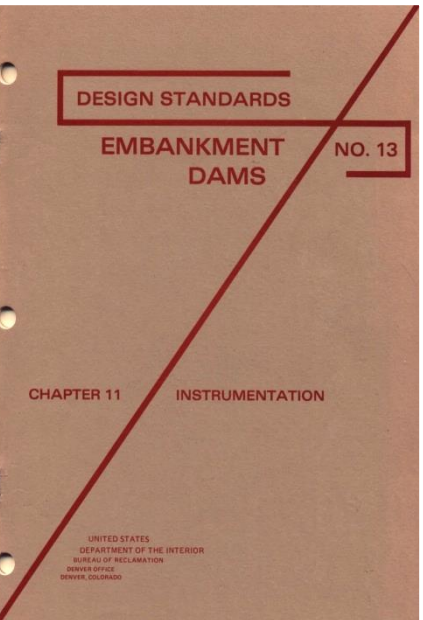
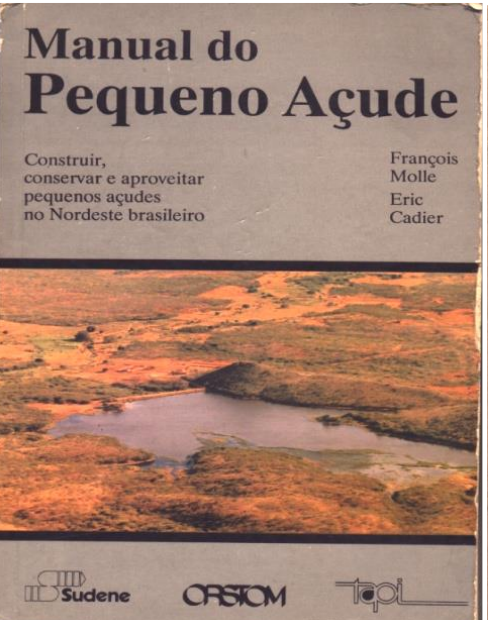
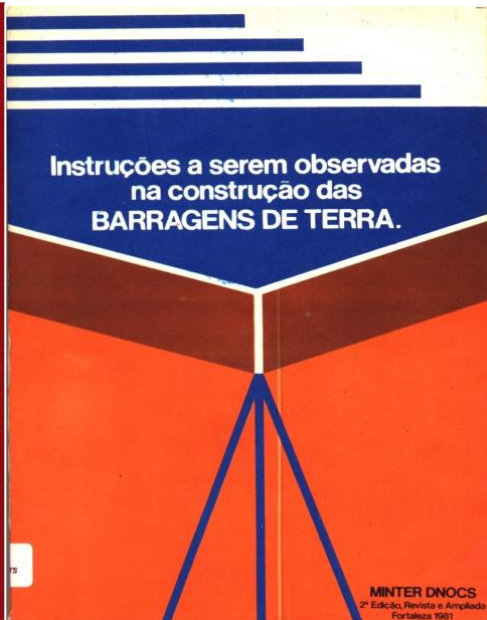
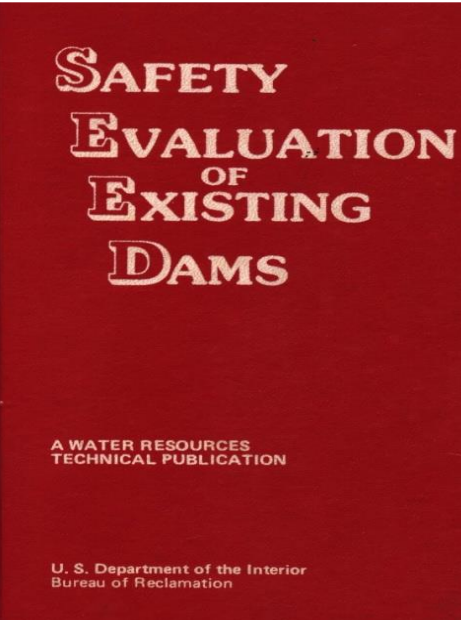


## DOCUMENTOS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO GUIA COM AS DIRETRIZES DE PROJETO DE BARRAGENS

- Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, ELETROBRAS (2003)
- Normas de Projecto de Barragens – Portaria No. 846/93 de Setembro. Ministério de Defesa Nacional, da Administração interna, do Equipamento, do Planeamento e da Adminsitração do Território, da Economia, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente (Lisboa, 1993).
- Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Emblases, de março de 1996, atualizado pelo Real Decreto 9/2008 de 11 de janeiro.

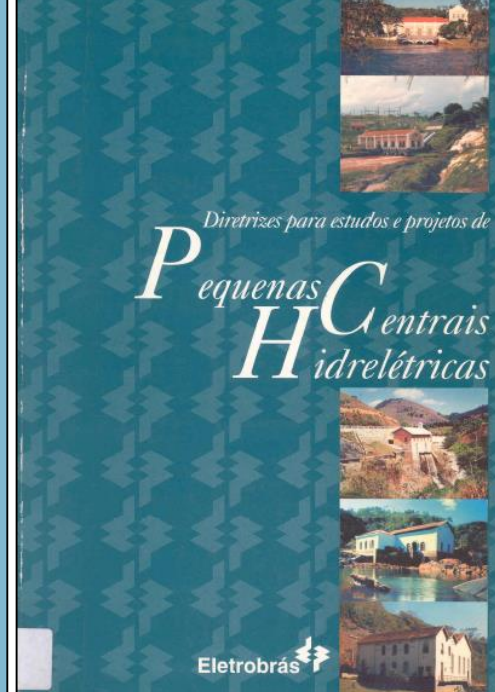
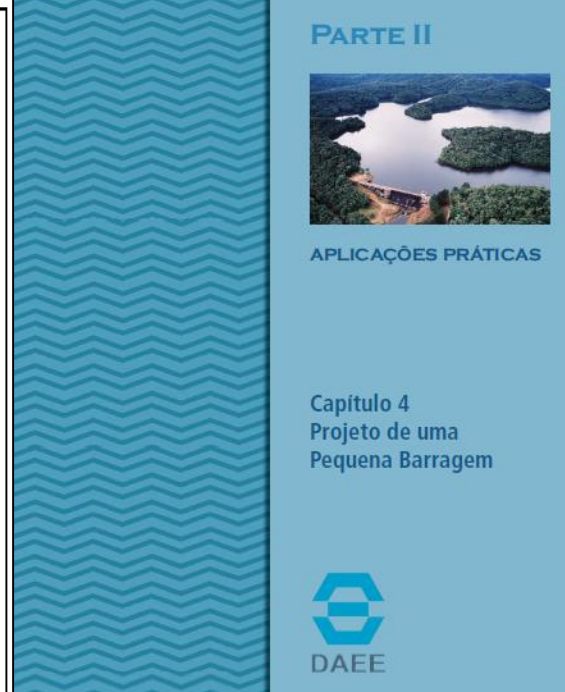
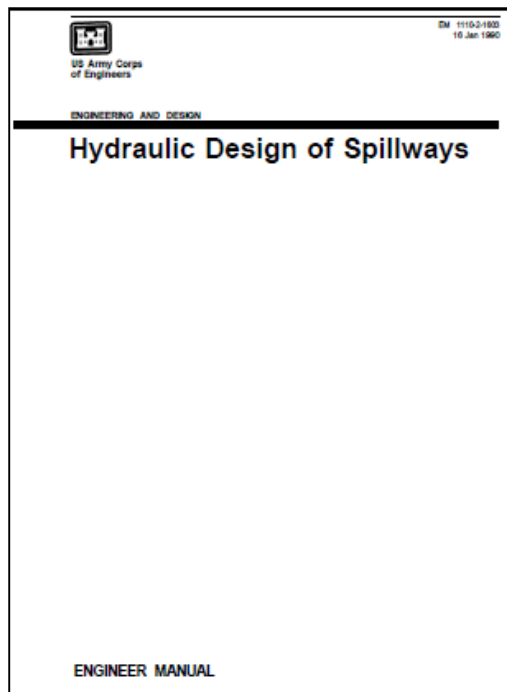
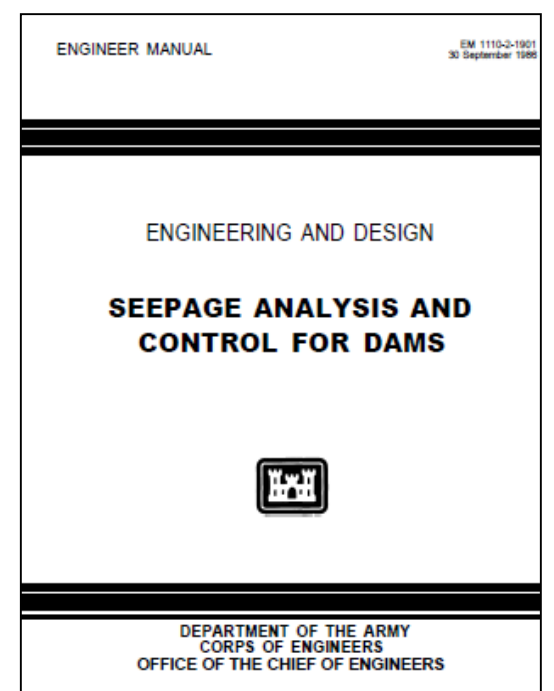
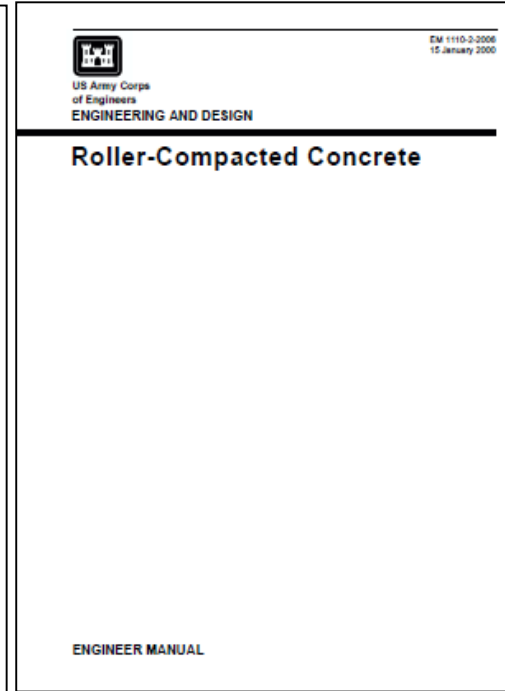
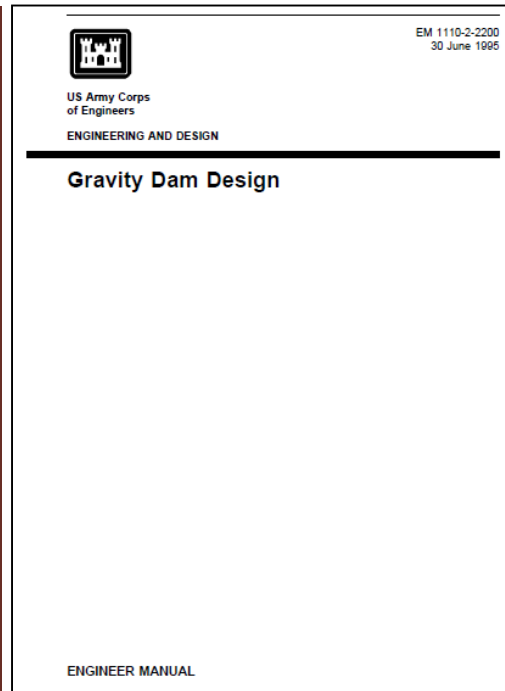
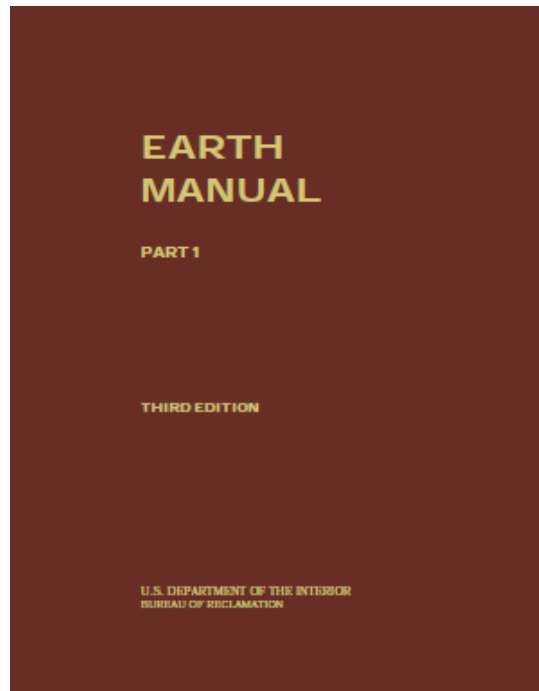


# DOCUMENTOS IMPORTANTES COM DIRETRIZES DE PROJETO, CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS.



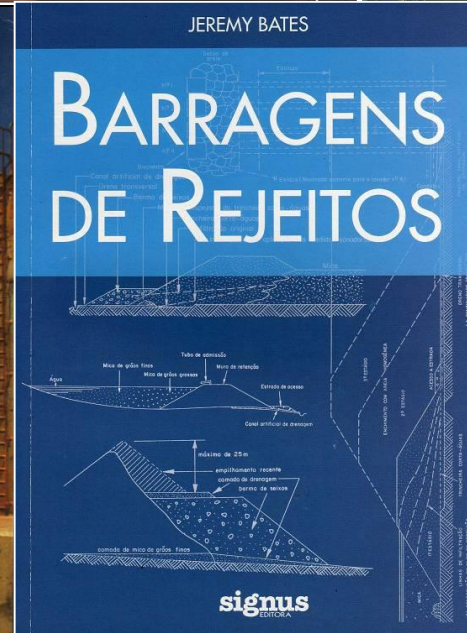
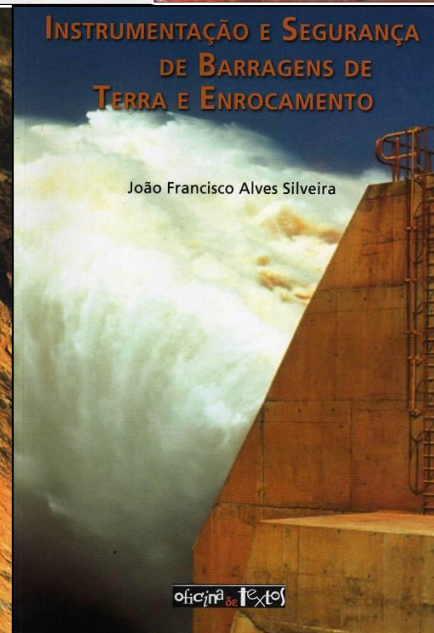
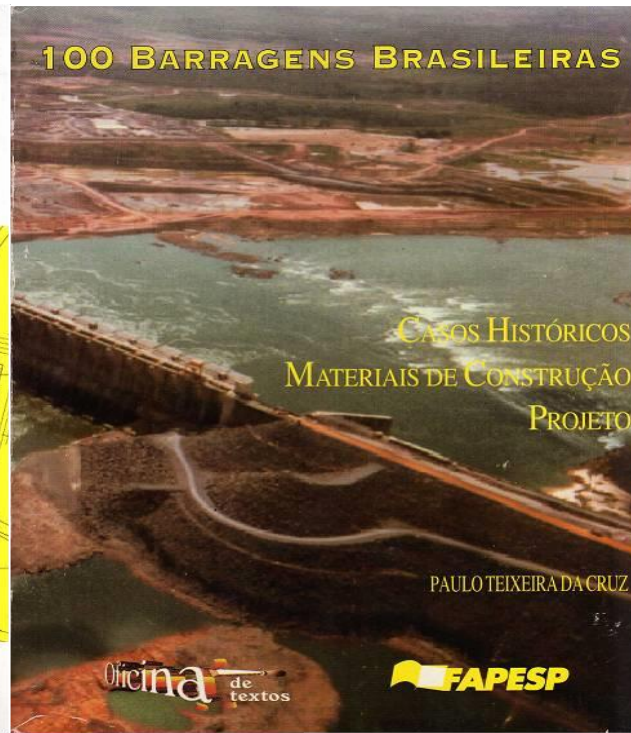
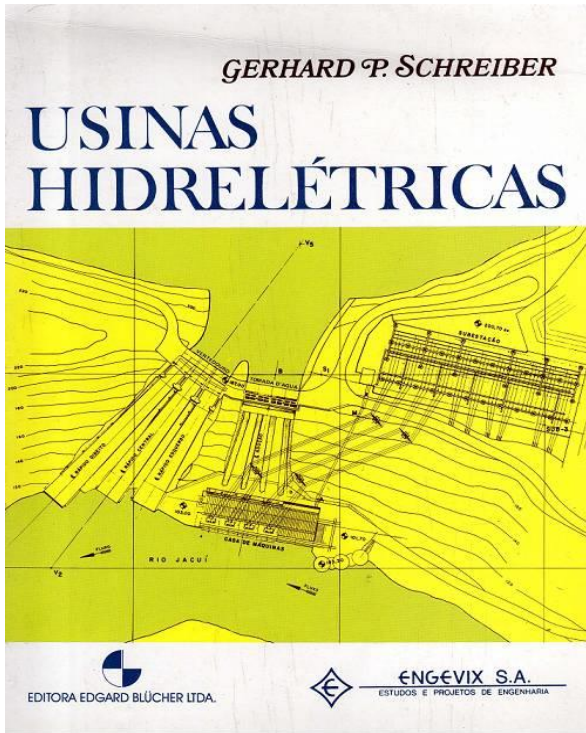


**DOCUMENTOS IMPORTANTES COM  
DIRETRIZES DE PROJETO, CONSTRUÇÃO,  
OPERAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS.**



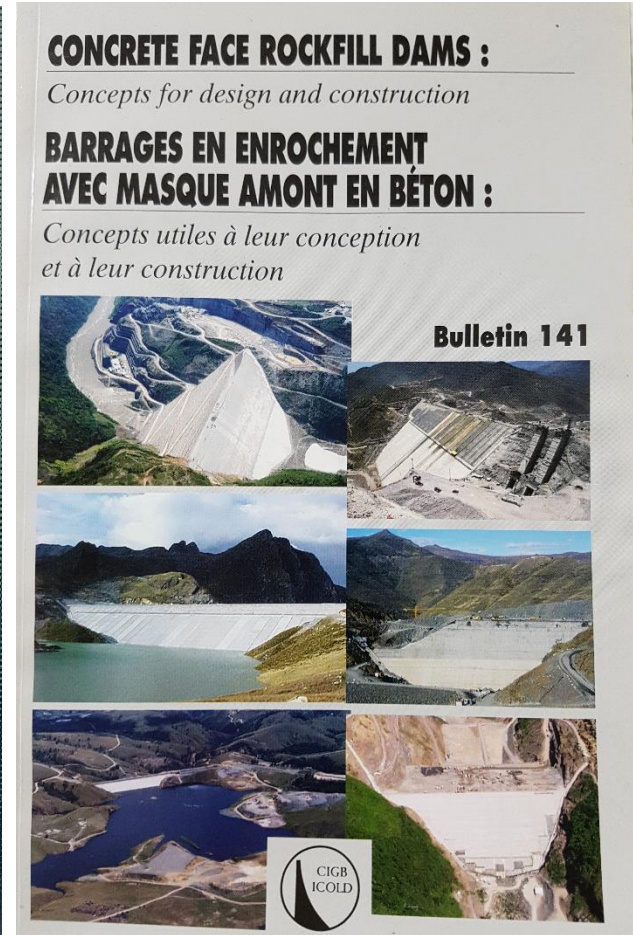
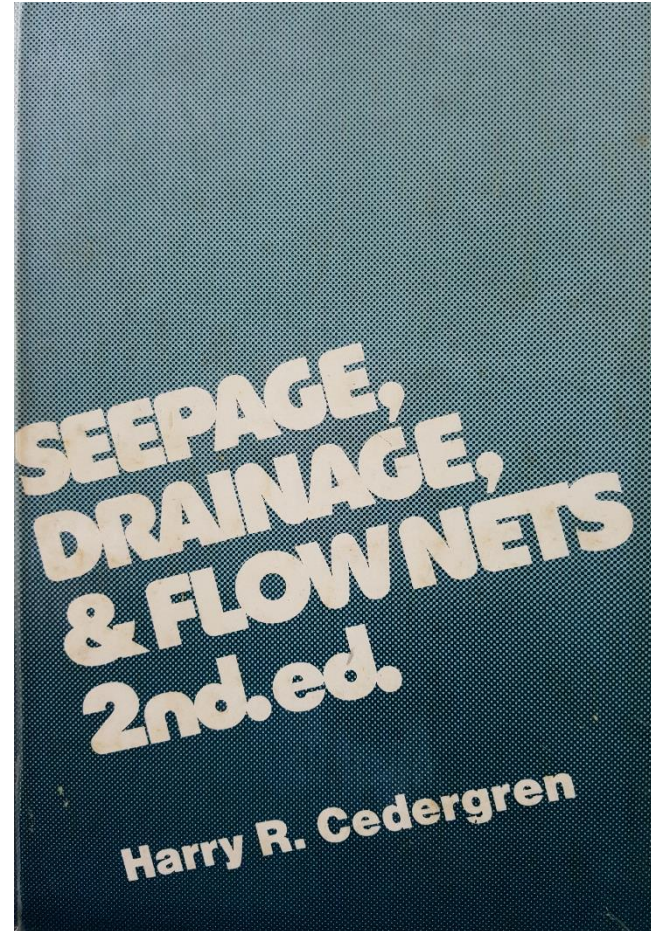
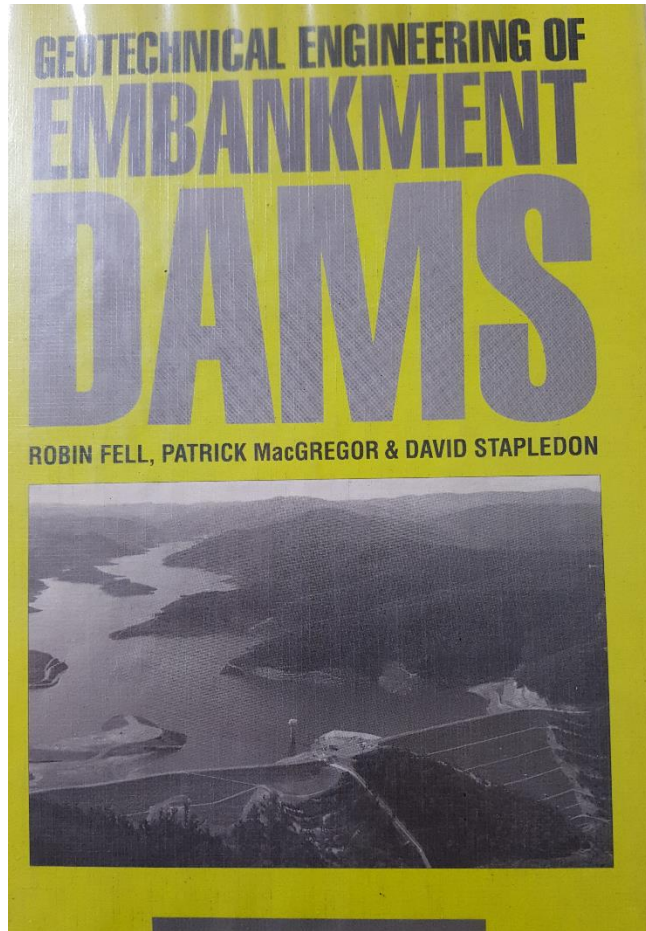


**DOCUMENTOS IMPORTANTES COM  
DIRETRIZES DE PROJETO, CONSTRUÇÃO,  
OPERAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS.**





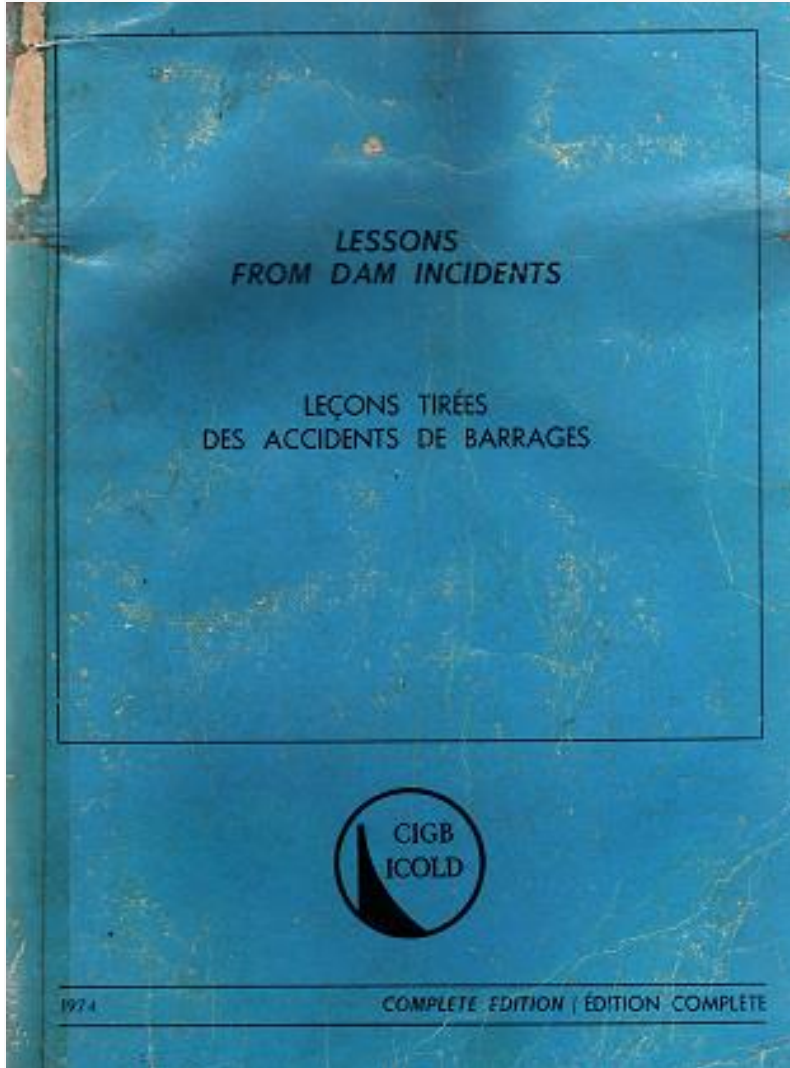
**DOCUMENTOS IMPORTANTES COM  
DIRETRIZES DE PROJETO, CONSTRUÇÃO,  
OPERAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS.**





# ESTATÍSTICA DE TIPOS DE ACIDENTES

ICOLD (1988)



Tipos de Acidentes	Terra	Concreto	Outros
Transbordamento	53%	29%	34%
Problemas de Fundação	21%	53%	30%
Problemas de Percolação	38%	-	28%
Escorregamentos de taludes, outros.	6%	18%	8%

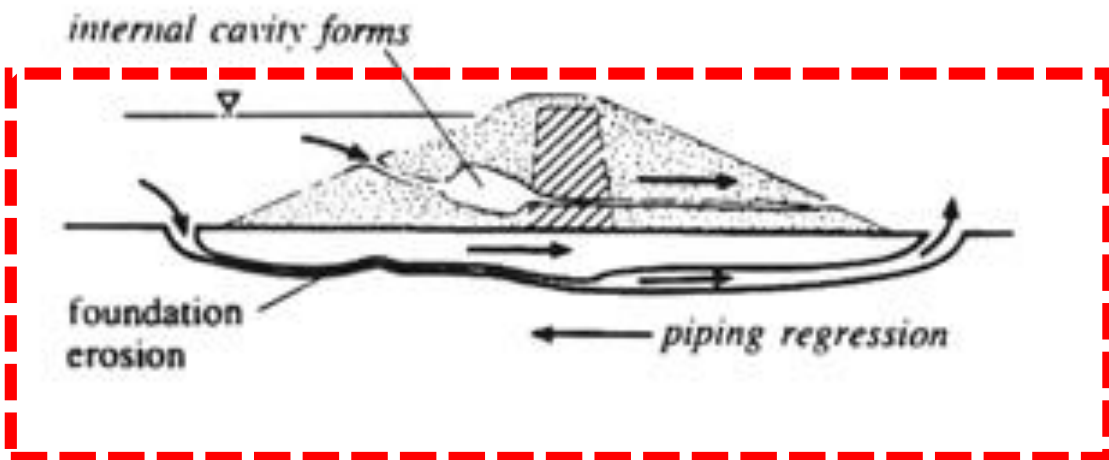
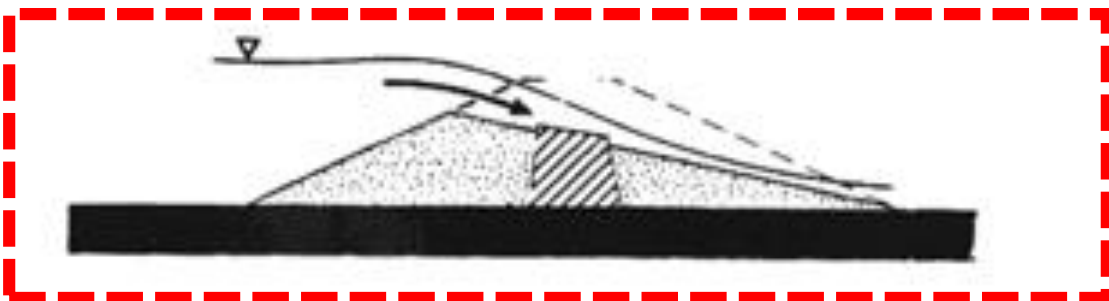
PROBLEMA HIDROLÓGICO

QUESTÕES RELEVANTES:  
**RESISTÊNCIA**  
**PERMEABILIDADE**  
**DEFORMABILIDADE**

PROBLEMA GEOTÉCNICO

# O QUE DEVE SER COMBATIDO COM UM BOM PROJETO:

## GALGAMENTO / TRANSBORDAMENTO



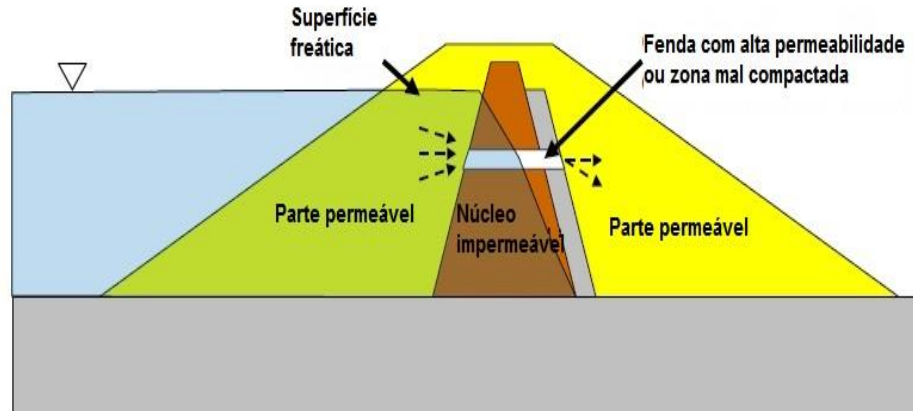
**PERCOLAÇÃO COM RISCO PARA O ATERRO E FUNDAÇÃO**

**RECALQUES / DEFORMAÇÕES:  
ATERRO E FUNDAÇÃO**

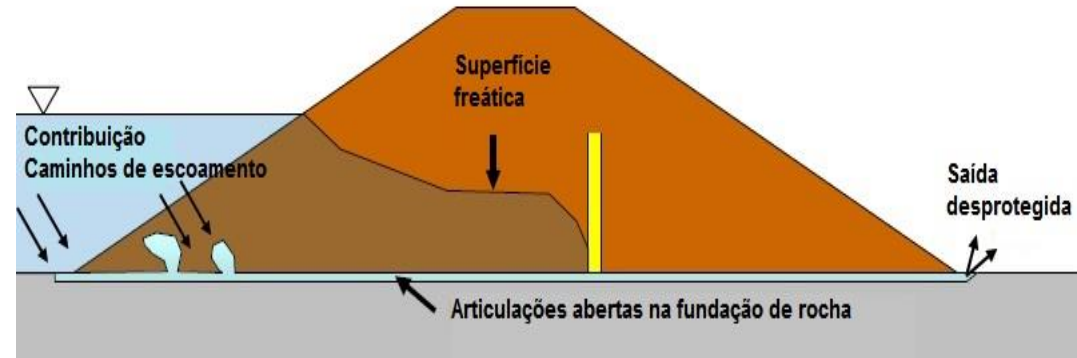
## ESCORREGAMENTOS



# O QUE DEVE SER COMBATIDO COM UM BOM PROJETO:



Erosão interna no corpo da barragem



Erosão interna da barragem para a fundação



Erosão interna na fundação



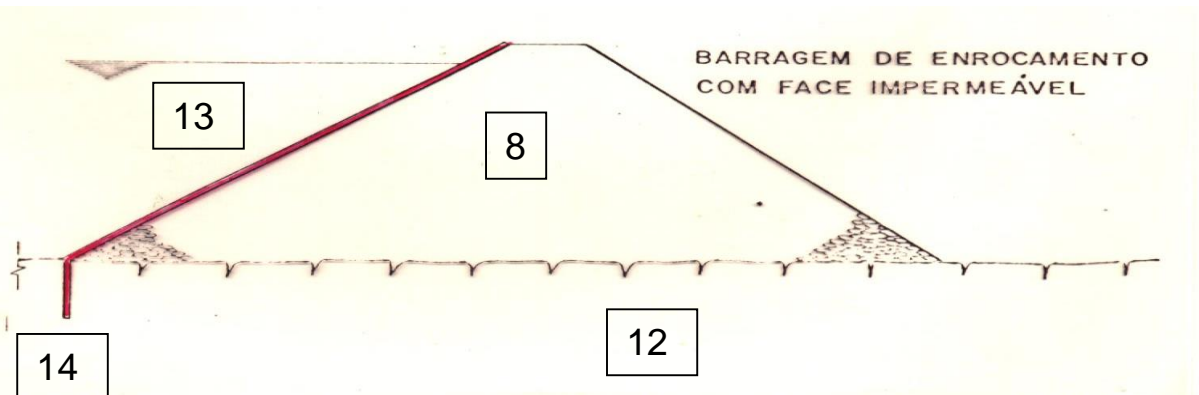
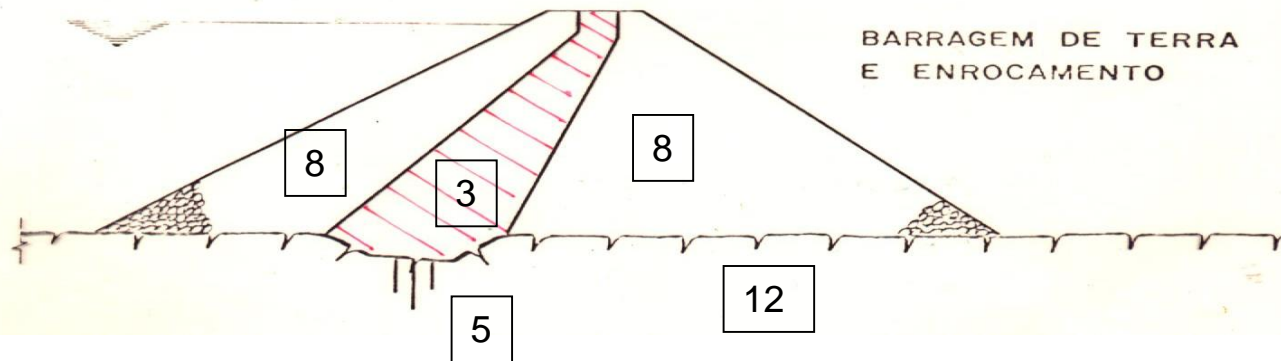
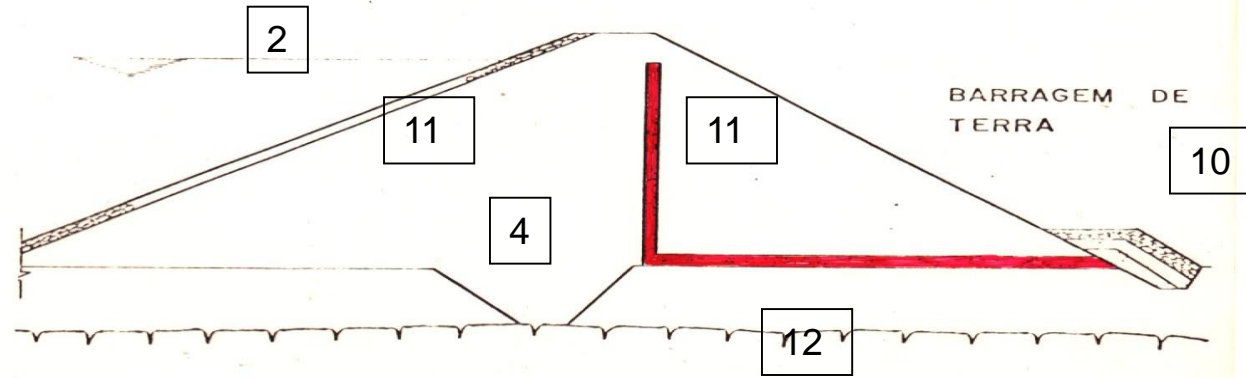
Erosão interna ao longo do contato barragem-fundação

## ELEMENTOS DE PROJETO

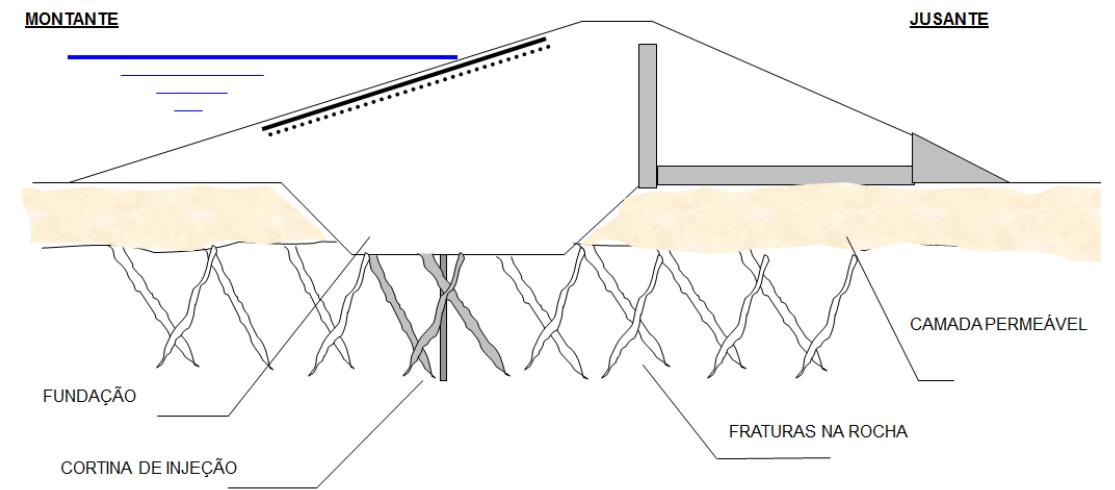
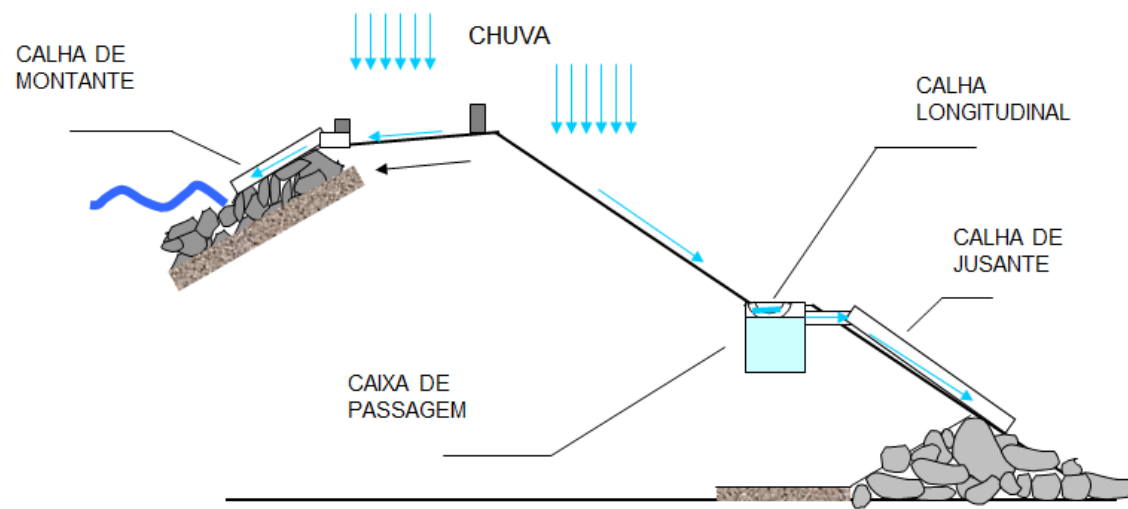
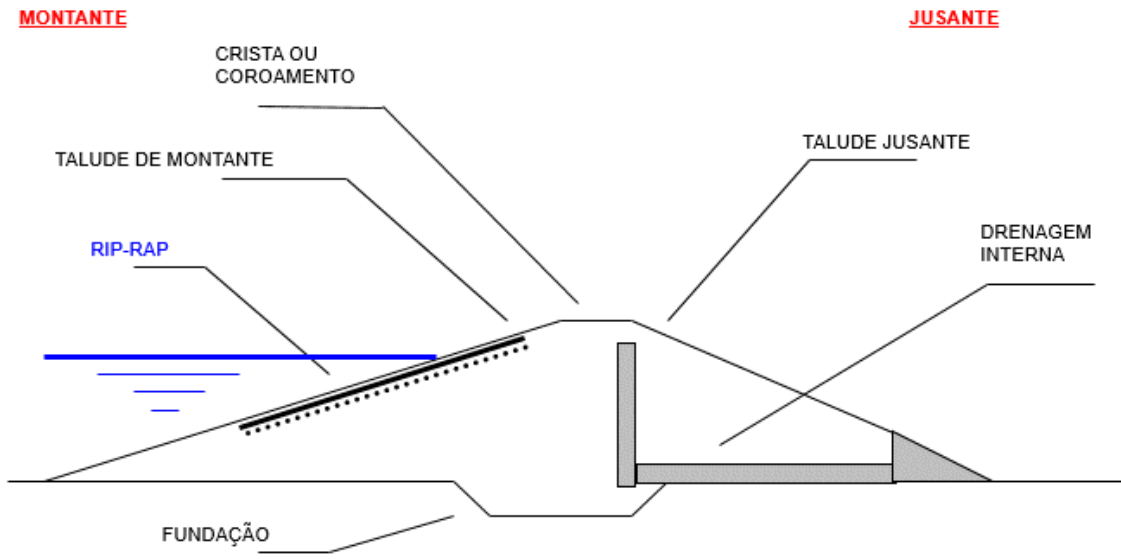
1. Crista;
2. Borda livre;
3. Talude de montante;
4. Proteção do talude de montante (rip-rap);
5. Talude de jusante;
6. Proteção do talude de jusante (grama ou outro elemento);
7. Trincheira de vedação;
8. Filtro horizontal;
9. Filtro vertical;
10. Dreno de pé;
11. Cortina de injeção;
12. Poço de alívio;
13. Tapete impermeável;
14. Sistema de drenagem das águas pluviais.



# TIPOS DE BARRAGENS E ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

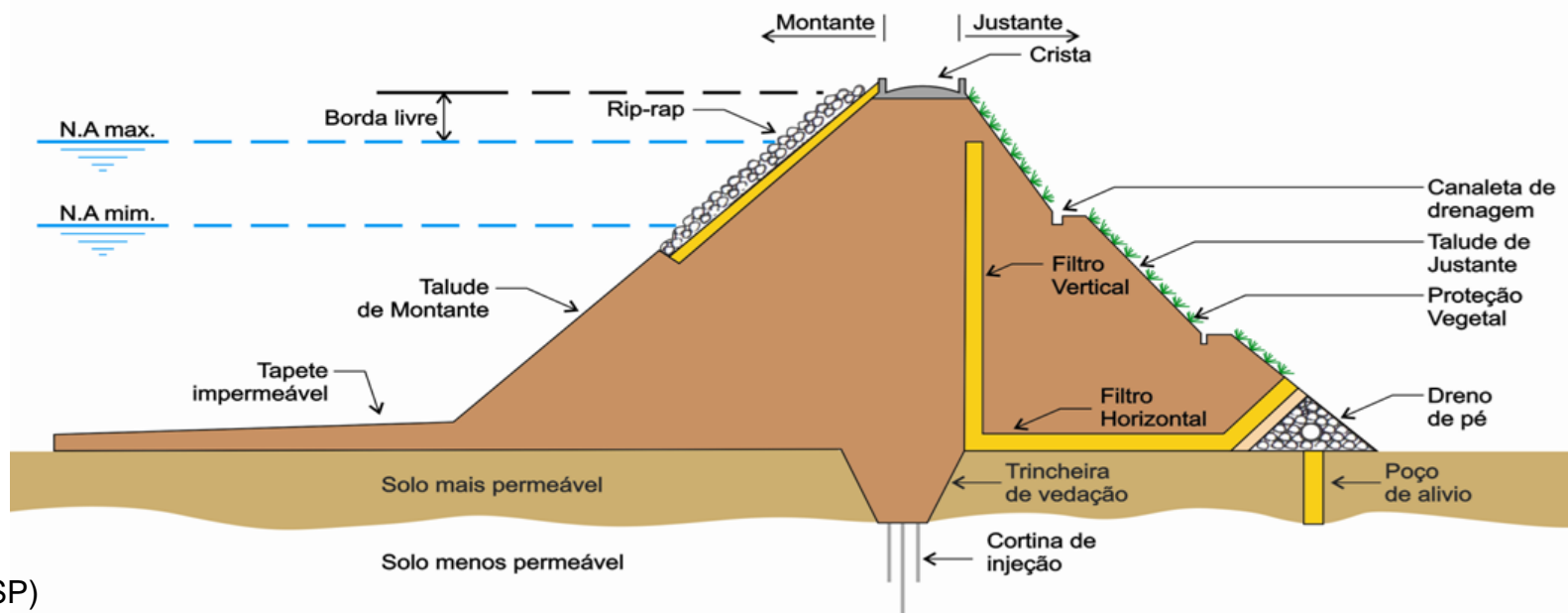
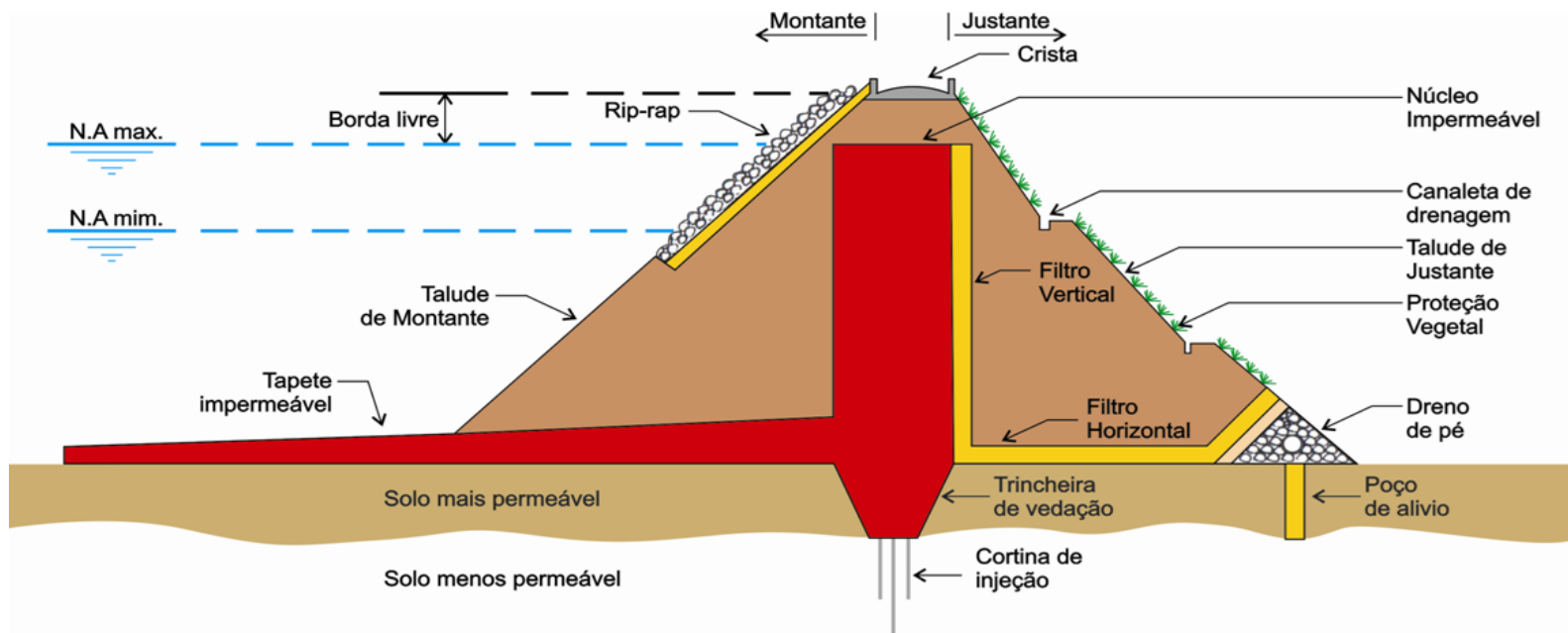


- 1 - tapete impermeável
- 2 - rip-rap
- 3 - núcleo de vedação
- 4 - trincheira (cut-off)
- 5 - cortina de injeção
- 6 - filtro / dreno
- 7 - dreno horizontal
- 8 - enrocamento
- 9 - poço de alívio
- 10 - dreno de pé
- 11 - aterro compactado
- 12 - fundação
- 13 - face impermeável
- 14 - plinto



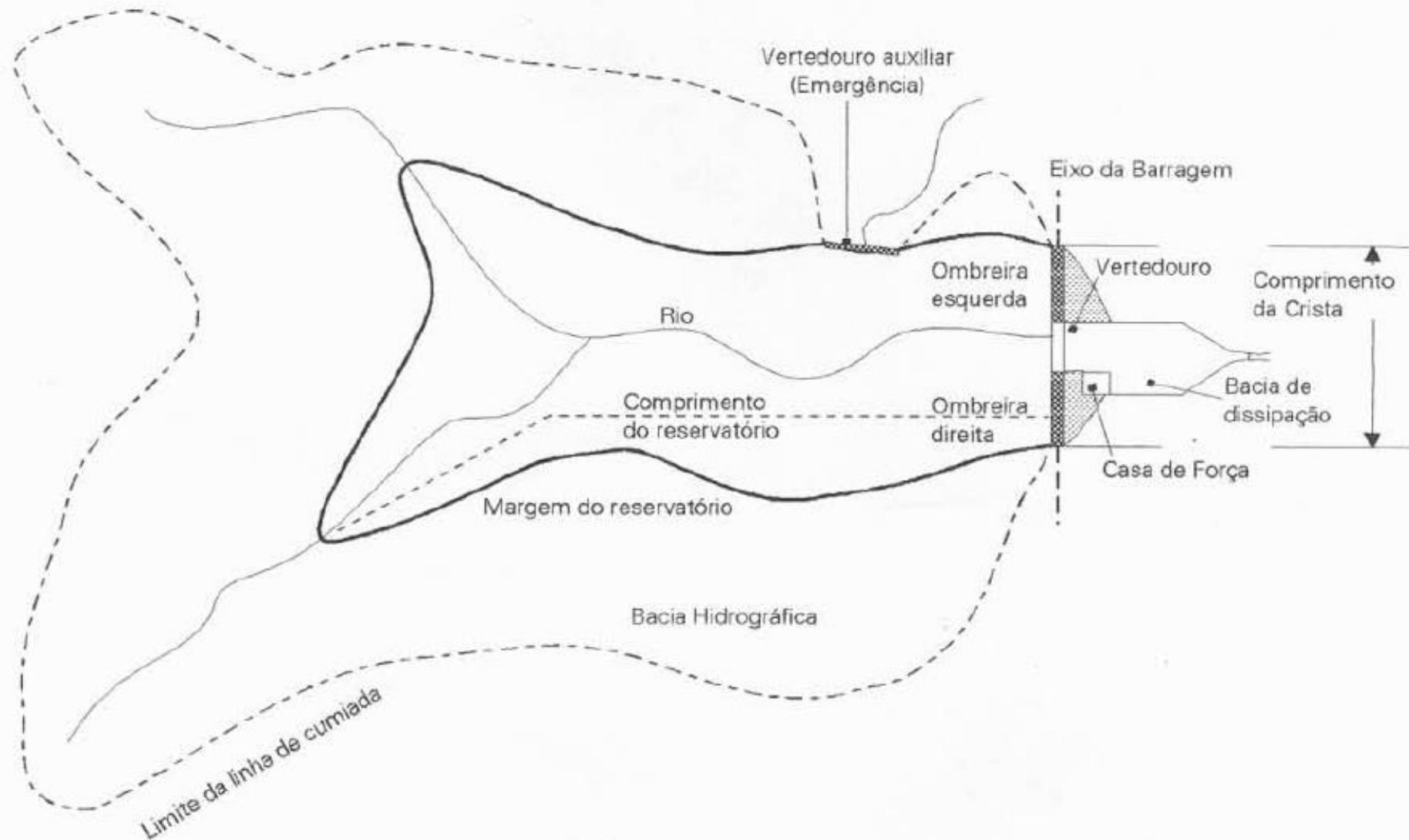
## ELEMENTOS DE PROJETO (BARRAGEM DE TERRA)

# TIPOS DE BARRAGENS E ELEMENTOS CONSTITUTIVOS



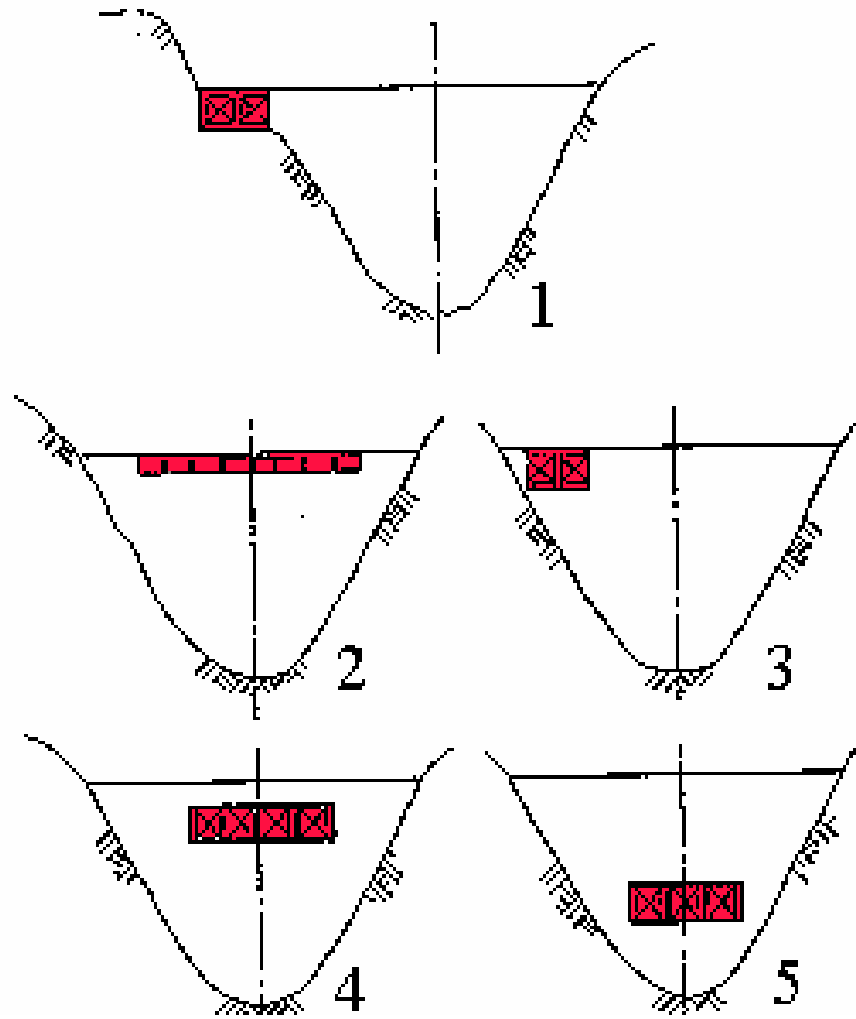
FONTE: Prof. David de  
Carvalho (UNICAMP – SP)

## RESERVATÓRIO E OBRAS ACESSÓRIAS

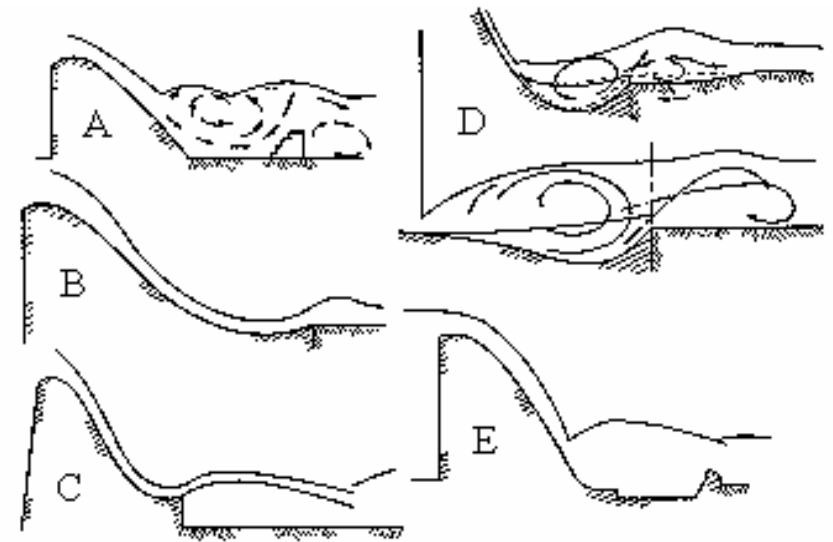




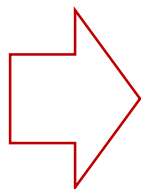
# ARRANJO GERAL / LOCALIZAÇÃO DO SANGRADOURO



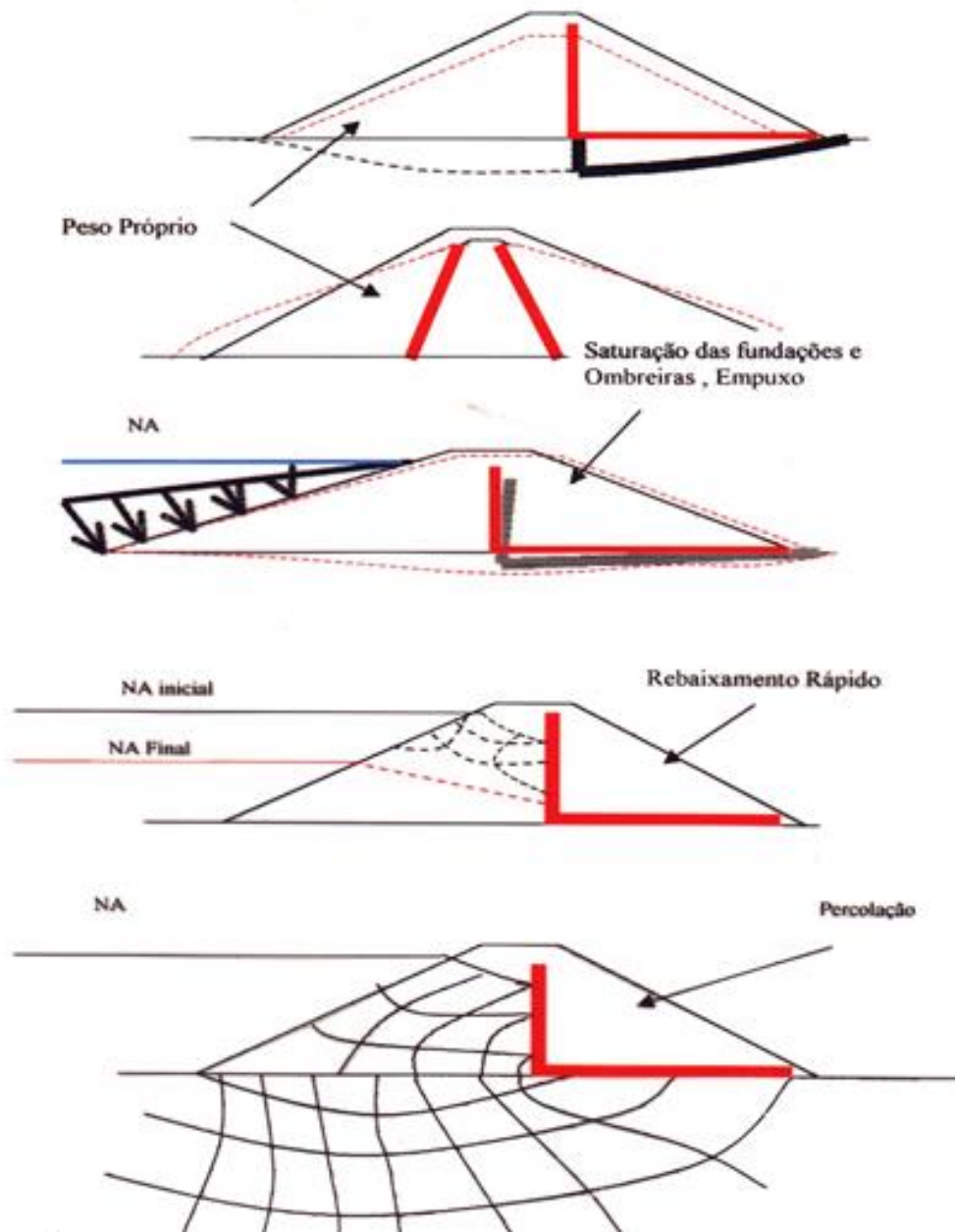
# TIPOS DE VERTEDORES E BACIA DE DISSIPAÇÃO



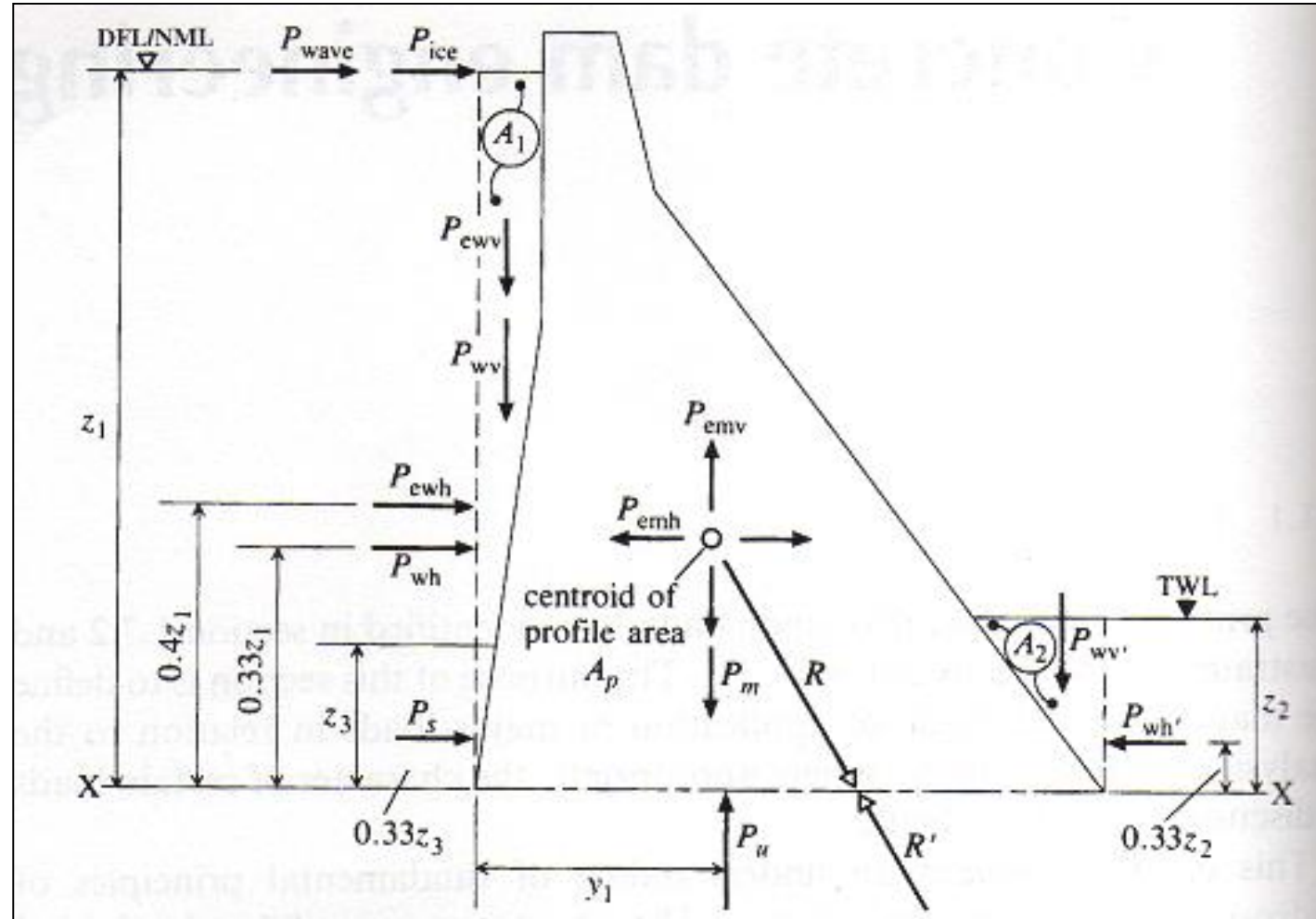
# AÇÕES QUE FICAM SUBMETIDOS ESTRUTURA E FUNDAÇÕES



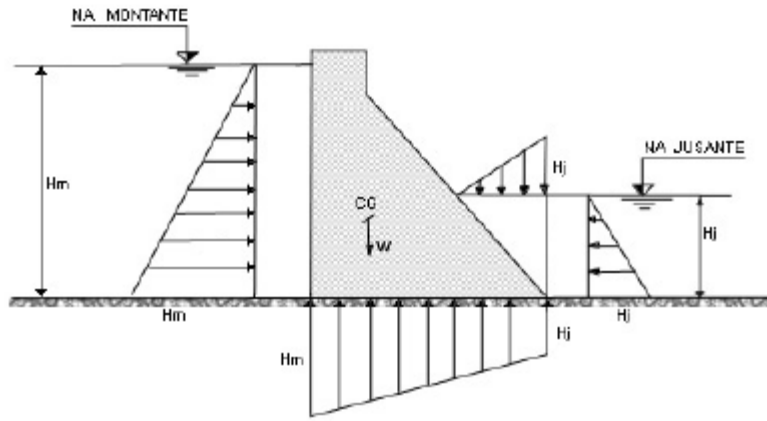
## AÇÕES QUE FICAM SUBMETIDAS MACIÇO E FUNDAÇÕES



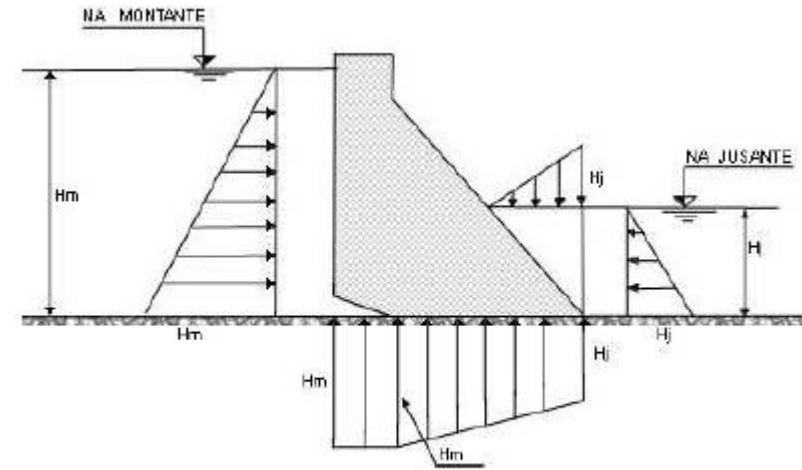
# AÇÕES QUE FICAM SUBMETIDOS ESTRUTURA E FUNDAÇÕES



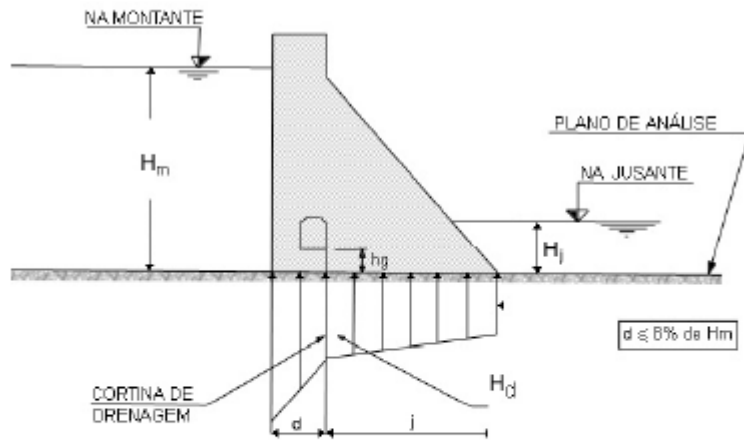
# AÇÕES QUE FICAM SUBMETIDOS ESTRUTURA E FUNDAÇÕES



(a) Distribuição das Pressões Hidrostáticas



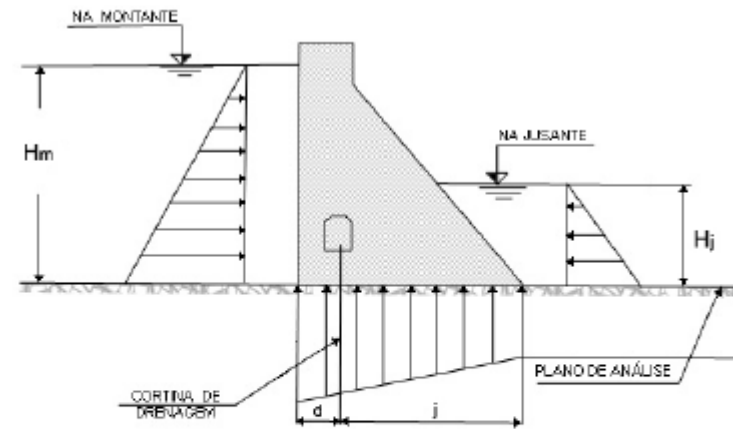
(b) Pressões Hidrostáticas – Contacto Aberto



$$H_d = H_j + \frac{1}{3} (H_m - H_j) \quad \text{para } H_j \geq h_g$$

$$H_d = h_g + \frac{1}{3} (H_m - h_g) \quad \text{para } H_j < h_g$$

(c) Subpressão com Uma Linha de Drenos Operantes



(d) Subpressão com Drenos Inoperantes

# MODELO X PROTÓTIPO

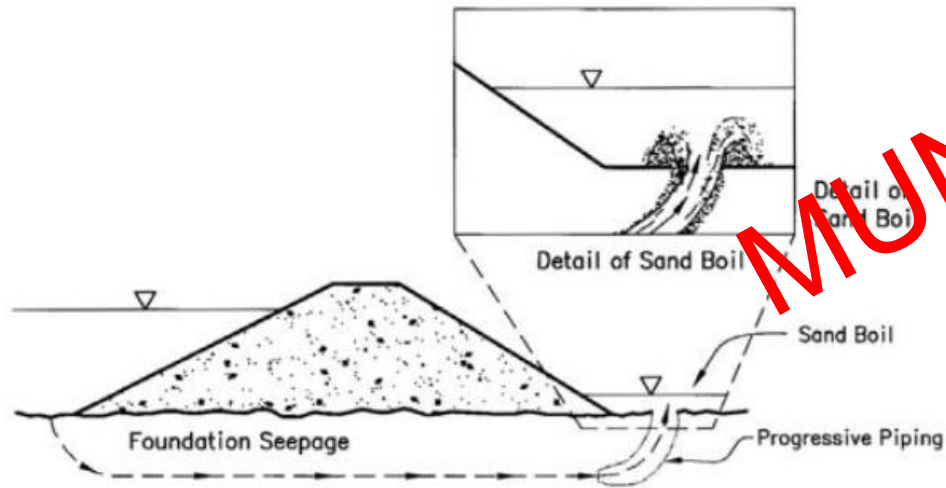


FIGURA 3 - Mecanismo de "piping", decorrente da remoção de finos da fundação, através das estruturas de "sand boils".

MUNDO REAL

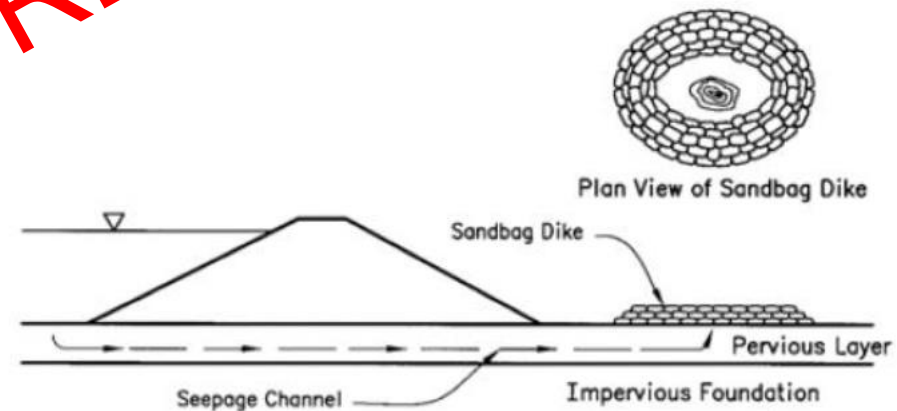


FIGURA 6 - Esquemático da seção transversal, fundação permeável e "surgência" tipo "sand boils", identificada no pé da barragem a jusante. Idem para o procedimento de isolamento da anomalia, para efeito de monitoramento e controle - Fonte: ASDSO (1988).





Carlos Henrique Medeiros

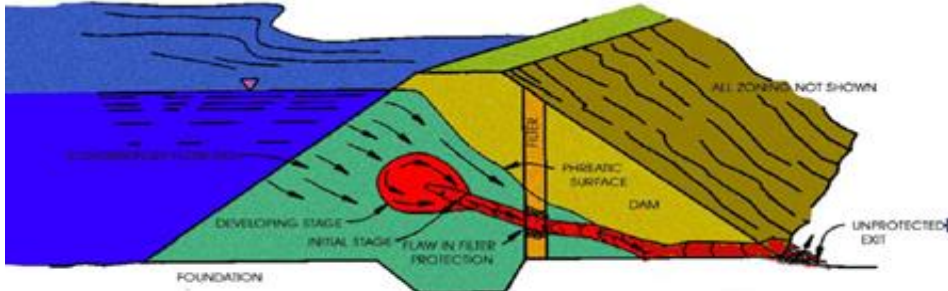




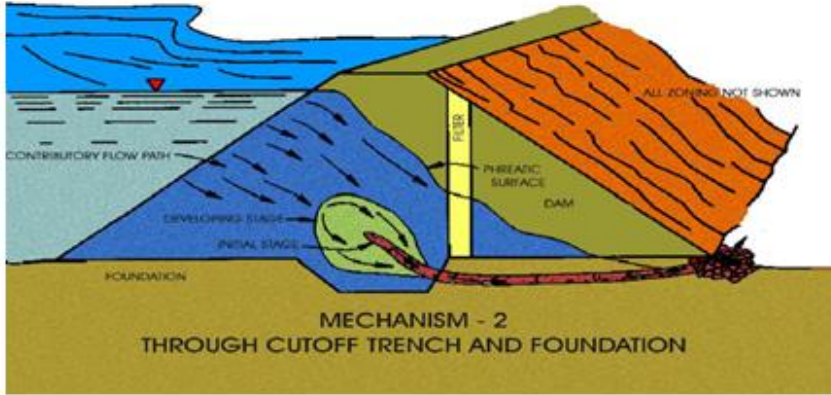
Carlos Henrique Medeiros



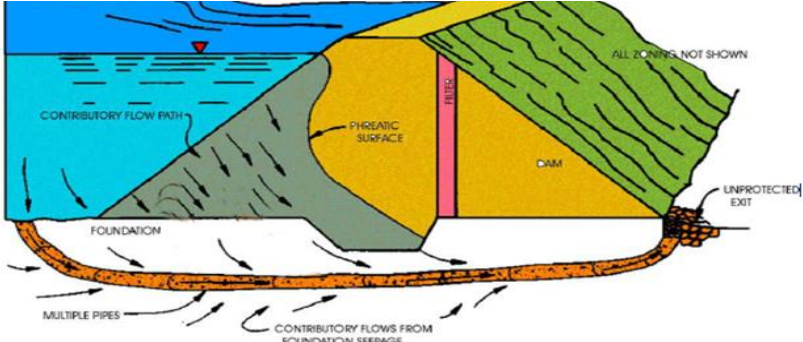
# MECANISMOS DE EROSÃO INTERNA (PIPING)



MECHANISM - 1  
THROUGH EMBANKMENT



MECHANISM - 2  
THROUGH CUTOFF TRENCH AND FOUNDATION



MUNDO REAL



# SURGÊNCIAS D'ÁGUA



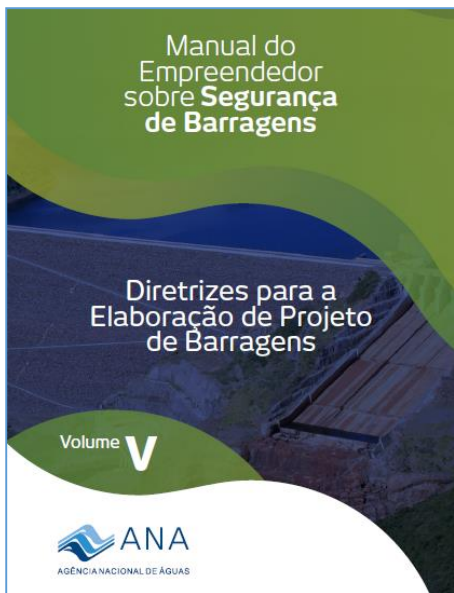


# Resistencia do Concreto as Ações: Escoamento Hidráulico, Cavitação, Abrasão, etc.



**ERROS NO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO  
DAS ESTRUTURAS DO EXTRAVASOR OU  
SANGRADOURO: COMPORTAS, SOLEIRA  
LIVRE EM PERFIL CREAGER, BACIA DE  
DISSIPÇÃO, CANAL DE RESTITUIÇÃO, ETC.).**





## 2 ETAPAS DOS ESTUDOS E PROJETOS



**FOCO NAS VULNERABILIDADES,  
CASES E EXPERIÊNCIA**

### 2.2 ESTUDOS PRELIMINARES E DE VIABILIDADE

2.2.1 Estudos preliminares

2.2.2 Estudos de viabilidade

### 2.3 PROJETO BÁSICO

2.4 PROJETO EXECUTIVO

2.5 PROJETO FINAL COMO CONSTRUÍDO (*AS BUILT*)



## 2.2 ESTUDOS PRELIMINARES E DE VIABILIDADE

### 2.2.1 Estudos preliminares

- seja realizado um mapeamento geológico de superfície apoiado por geofotointerpretação;

---

- o estudo hidrológico defina uma série de descargas médias mensais e seja estimada a descarga de projeto dos órgãos extravasores;

---

- as estruturas civis e os equipamentos permanentes sejam dimensionados e quantificados com base em soluções tradicionalmente adotadas em projetos do tipo em estudo.

### 2.2.2 Estudos de viabilidade

Esses estudos têm por objetivo a caracterização da viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação, bem como a operação da barragem e de seu reservatório.

## 2.3 PROJETO BÁSICO

- a) *desenvolvimento da solução escolhida de forma a fornecer visão global da obra e identificar todos os seus elementos constitutivos com clareza;*
- b) *soluções técnicas globais e localizadas, suficientemente detalhadas, de forma a minimizar a necessidade de reformulação ou de variantes durante as fases de elaboração do projeto executivo e de realização das obras e montagem;*
- c) *identificação dos tipos de serviços a executar e de materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como suas especificações que assegurem os melhores resultados para o empreendimento, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;*
- d) *informações que possibilitem o estudo e a dedução de métodos construtivos, instalações provisórias e condições organizacionais para a obra, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;*
- e) *subsídios para montagem do plano de licitação e gestão da obra, compreendendo a sua programação, a estratégia de suprimentos, as normas de fiscalização e outros dados necessários em cada caso;*
- f) *orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços e fornecimentos propriamente avaliados”.*



## 2.4 PROJETO EXECUTIVO

O Projeto Executivo, por se constituir no detalhamento do projeto básico, principalmente nas obras maiores, é realizado durante a construção, uma vez que as condições reais encontradas na implantação podem otimizar custos importantes. Nas obras menores, a sua antecipação visa complementar o projeto básico e dar maior confiabilidade no orçamento antecipado da implantação.

No Projeto Executivo devem ser detalhadas as soluções preconizadas no Projeto Básico das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos e elétricos, confirmando-se a sua exequibilidade e adaptando-as às condições reais encontradas durante a construção, baseados em novos dados de campo obtidos, quer através da observação das condições topográficas existentes, quer de investigações geotécnicas adicionais, ou através de dados de instrumentação instalada durante a construção.

## 2.5 PROJETO FINAL COMO CONSTRUÍDO (*AS BUILT*)

- Os elementos com interesse para a segurança da obra tal como executada, incluindo relatórios, desenhos como construído e cálculos justificativos;
- Representação dos aspectos geológicos e geotécnicos da fundação da barragem e dos resultados, relativos ao seu tratamento, bem como das obras subterrâneas;
- Fotografias representativas das escavações para as fundações e do seu tratamento e dos demais aspectos da construção;
- Os resultados dos ensaios de materiais utilizados (concreto, solos, enrocamentos, maciço rochoso e outros materiais) e outros estudos laboratoriais efetuados e respectivos relatórios;
- Os cronogramas de execução dos serviços;
- O plano de monitoramento e de instrumentação realmente utilizados nas obras;
- Os registros das leituras da instrumentação e a das inspeções realizadas durante a construção.



# FASES DO PROJETO (roteiro básico)

## 2.2 ESTUDOS PRELIMINARES E DE VIABILIDADE

### 2.2.1 Estudos preliminares

- **RECONHECIMENTO PRELIMINAR**

Análise de fotografias aéreas, imagens de satélites, mapas geológicos, mapas topográficos, documentação técnica, relatórios técnicos, visitas de reconhecimento de campo, etc.

- **INVENTÁRIO**

Permitir comparações entre diversas alternativas, lay-out, etc., visando a seleção da melhor sob o ponto de vista técnico-econômico e ambiental.

- **PRÉ-VIABILIDADE**

Permitir a elaboração de planos e programas gerais de obras e a avaliação dos investimentos correspondentes.

- **ANTEPROJETO**

Montar um conjunto de desenhos e relatórios que apresentem e justifiquem as soluções técnicas.

# FASES DO PROJETO (roteiro básico)

## 2.2.2 Estudos de viabilidade

- **VIABILIDADE**

Permitir a elaboração de estimativas de custo das obras.

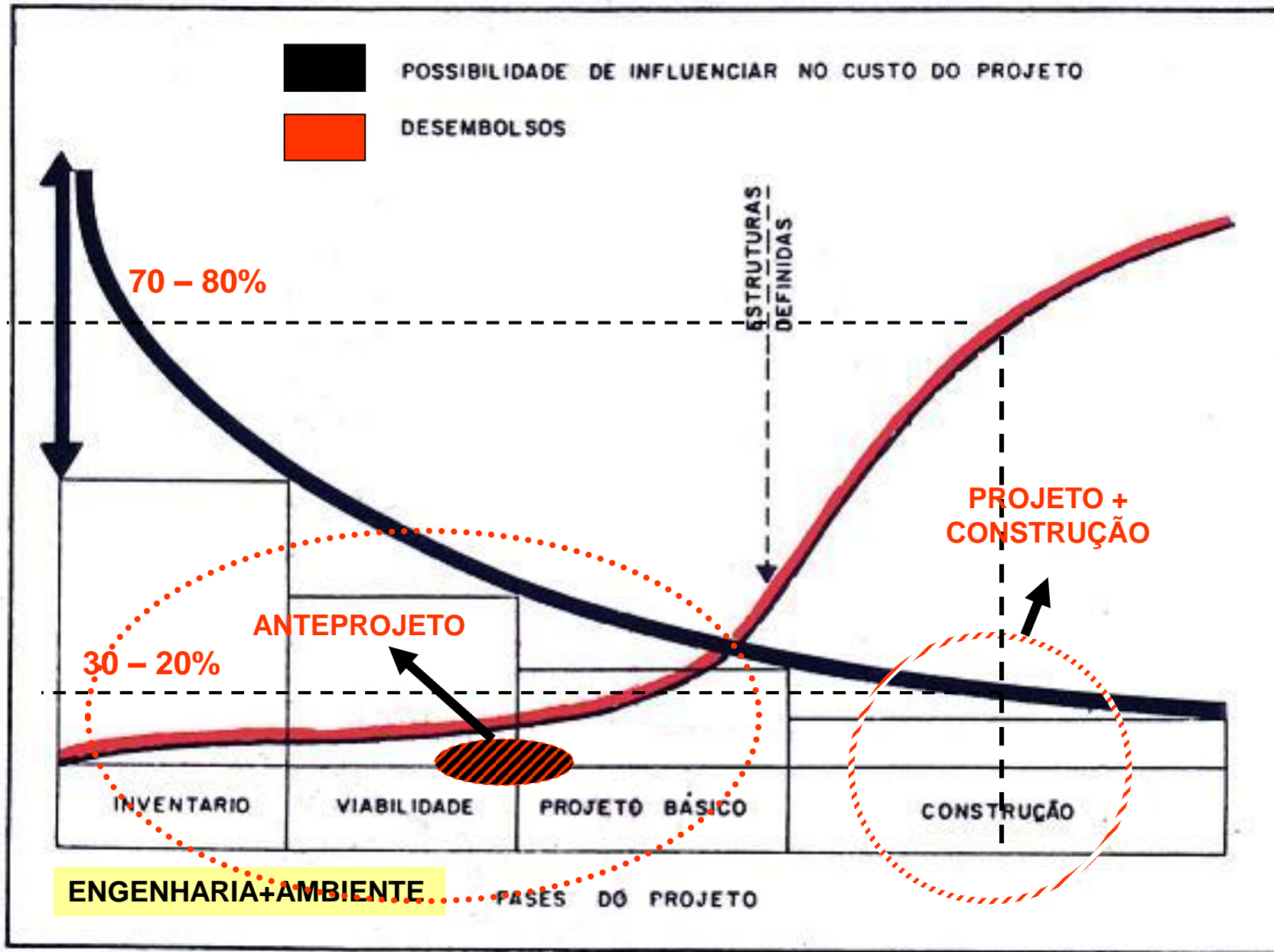
- **PROJETO BÁSICO**

Memoriais descritivos, cálculos estruturais, desenhos de projetos, quantitativos de materiais e serviços, planilhas de orçamento, cronograma básico de execução e outros documentos necessários ao processo de Licitação das obras .

- **PROJETO EXECUTIVO**

Detalhamento do Projeto Básico.





# DADOS DE PROJETO

Os dados necessários para elaboração do projeto de uma barragem são:

## 1 – DADOS GERAIS

- Sobre a Região e Local de Implantação da Barragem;
- Mapas da Região com Indicação de Serviços, Utilidades e Benfeitorias a Serem Afetadas;
- Dados Hidrológicos;
- Dados Climáticos;
- Dados Geológicos-geotécnicos (Mapas e Relatórios Técnicos);
- Dados Agronômicos, Etc.

## 2 – DADOS PARA ESTUDO DO RESERVATÓRIO



**Aerotopográfico /  
com Drone**

- Imagens de satélite, mapas geológicos e topográficos, da área do reservatório;
- Utilidades públicas e rodovias afetadas;
- Diversos: limitações para o nível d'água, áreas a serem limpas, desapropriadas, etc.;



# DADOS DE PROJETO

## 3 – ESTUDO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM:

- Plantas topográficas e mapas geológico-geotécnicos do eixo da barragem e obras complementares;
- Relatórios de ensaios geológico-geotécnicos, dos materiais da fundação e ensaios de caracterização e resistência

Vídeo / Geofísica / GPR, etc.

## 4 – ESTUDO DE JAZIDAS E ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:

- Ensaios de caracterização e resistência dos materiais que constituirão o corpo da barragem.

**CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A  
ESCOLHA DO LOCAL DE CONSTRUÇÃO  
E TIPO DE BARRAGEM**

**CRITÉRIOS DE PROJETO**

- **Características do local da obra: geologia, morfologia, disponibilidade de materiais de construção, controle de desvio do rio durante a construção, etc.**
- **Fatores hidrológicos para o projeto de desvio do rio e do sangradouro e controle durante o enchimento do reservatório;**
- **Aspectos estruturais, de estabilidade e hidráulicos;**

**CRITÉRIOS DE CONSTRUÇÃO**

- **Programa e prazo de construção;**
- **Materiais de construção: balanço entre escavações e as exigências das obras permanentes;**
- **Compatibilidade entre as diversas etapas construtivas e economia;**
- **Equipamentos e centrais de construção disponíveis, britadores, etc.**



# PRODUÇÃO DE AGREGADOS / Escavações Obrigatórias



# **CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A ESCOLHA DO LOCAL DE CONSTRUÇÃO E TIPO DE BARRAGEM**

## **CRITÉRIOS ECONÔMICOS**

- **Custo mínimo de construção;**
- **Custo financeiro: juros durante a construção;**
- **Economia nos custos de manutenção e operação dos equipamentos.**

## **CRITÉRIOS AMBIENTAIS**

- **poluição dos rios (efluentes líquidos, etc.),**
- **estaqueidade do reservatório,**
- **natureza química da água armazenada,**
- **erosão e assoreamento (turbidez,**
- **sedimentação);**

Carlos Henrique Medeiros

Apud: GUY H. M. BOURDEAUX

Curso de Barragens de Terra e Enrocamento: Projeto e Construção. CEB – Clube de Engenharia da Bahia (1979)



**CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A  
ESCOLHA DO LOCAL DE  
CONSTRUÇÃO E TIPO DE BARRAGEM**

**FATORES CONDICIONANTES**

- ✓ **Topográficos;**
- ✓ **Atmosféricos;**
- ✓ **Geológico-Geotécnicos;**
- ✓ **Construtivos;**
- ✓ **Sócio-Econômicos;**
- ✓ **Ambientais.**

Carlos Henrique Medeiros

Apud: GUY H. M. BOURDEAUX

Curso de Barragens de Terra e Enrocamento: Projeto e Construção. CEB – Clube de Engenharia da Bahia (1979)

**CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A  
ESCOLHA DO LOCAL DE  
CONSTRUÇÃO E TIPO DE BARRAGEM**



**FATORES TOPOGRÁFICOS**

- **Declividade das ombreiras;**
- **Variações de declividades das ombreiras e irregularidades topográficas;**
- **Distancia das jazidas e seus acesos;**
- **Geometria longitudinal das encostas;**
- **Depressões no fundo rochoso do rio;**
- **Posição e forma do eixo da barragem com relação ao eixo do rio.**

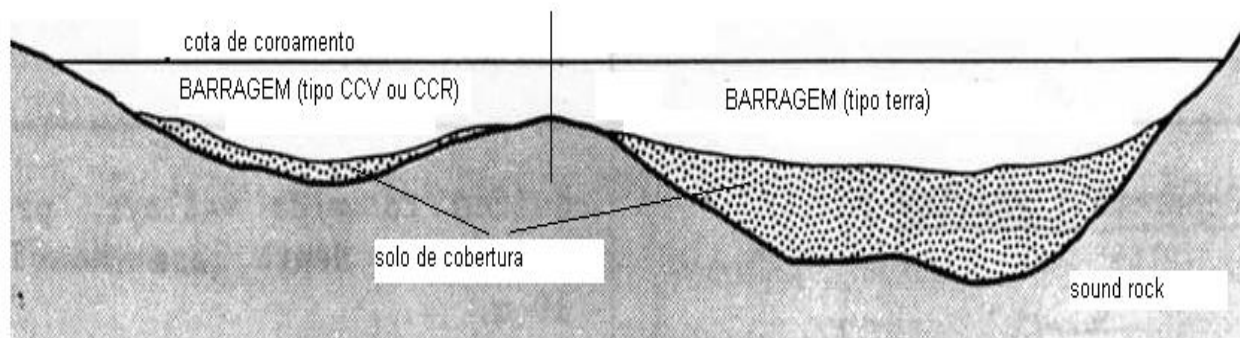
Apud: GUY H. M. BOURDEAUX

Curso de Barragens de Terra e Enrocamento: Projeto e Construção. CEB – Clube de Engenharia da Bahia (1979)

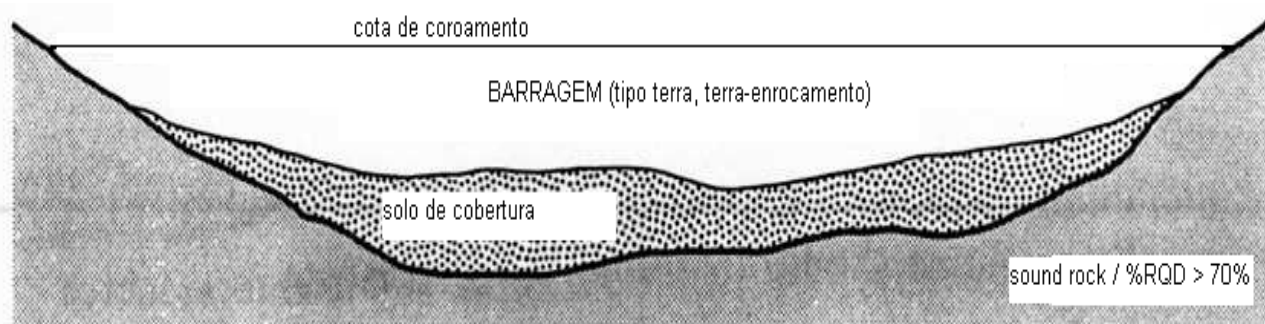
s Henrique Medeiros



# CONDICIONANTES TOPOGRÁFICOS E GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS



vale aberto, com relevo irregular e solo de cobertura de espessura variada / permite a adoção de estrutura de barragem mista



vale aberto com solo de cobertura com espessura variando entre 5,0 a 10,0 m

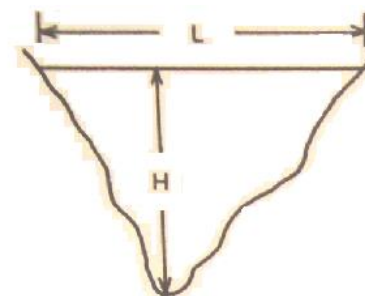


vale estreito, solo pouco espesso, ombreiras íngremes



vale com solo de cobertura de pequena espessura e da ordem de no máximo 5,0 m

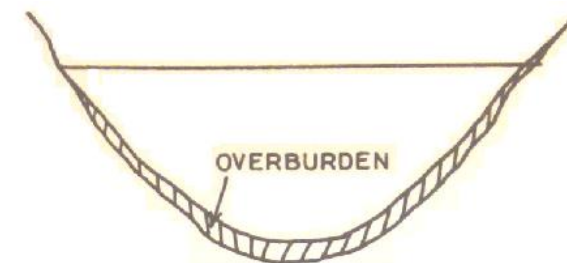
RISCO DE ERRO NA ESCOLHA DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM E TIPO



V - SHAPED VALLEY

$$L < 4H$$

(a) ARCH DAM




U - SHAPED VALLEY

(b) GRAVITY OR BUTTRESS OR ROCKFILL



# RISCO GEOLÓGICO

CONDIÇÕES ADVERSAS NÃO ANTECIPADAS OU PREVISTAS NO PROJETO

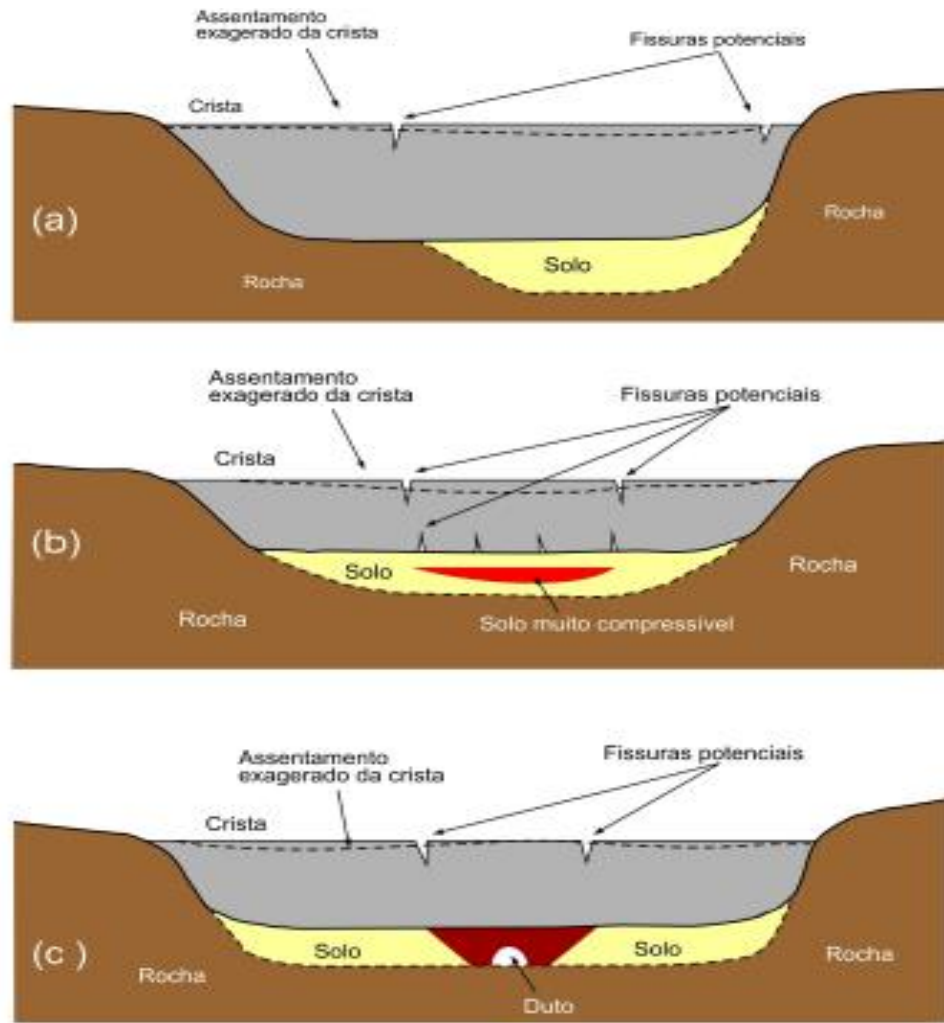


ROCHA AFLORANTE / TOPOGRAFIA ACIDENTADA, VALE EM FORMA DE **V** ABERTO

ROCHA AFLORANTE NA OMBREIRA ESQUERDA / CAMADA DE ALUVIONAR / TOPOGRAFIA SUAVE VALE EM FORMA DE **U** ABERTO

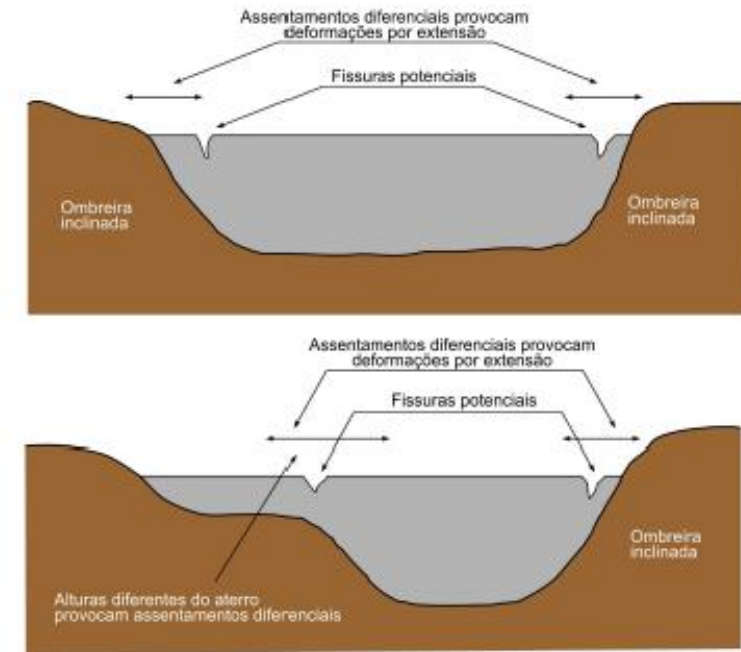


**TRECHOS CRÍTICOS DE INTERESSE  
PRO PROJETO (RISCO DE FISSURAS /  
RECALQUES DIFERENCIAIS, ETC.)**



**Figura 13. Recalques diferenciais da fundação.**  
(Fonte: modificado de Sherard et al., 1963)

**FONTE:** MANUAL DO EMPREENDEDOR SOB SEGURANÇA DE BARRAGENS - VOLUME II / GUIA DE ORIENTAÇÃO E FORMULÁRIOS PARA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (ANA, 2016)



**Figura 15. Ligação do aterro às ombreiras.** (Fonte: modificado de Mattsson et al., 2008)

**Quadro 7. Classificação das fissuras em barragens de aterro.**

Dimensão	Abertura (mm)	Designação
pequena	$0,2 < e \leq 1$	pequena
média	$1 < e \leq 5$	significativa (trinca)
grande	$e > 5$	pronunciada (rachadura)



RISCOS GEOLÓGICOS OU CONDIÇÕES  
ADVERSAS NÃO ANTECIPADAS OU  
PREVISTAS NO PROJETO

PREVISTO X EXECUTADO



**CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A  
ESCOLHA DO LOCAL DE  
CONSTRUÇÃO E TIPO DE BARRAGEM**



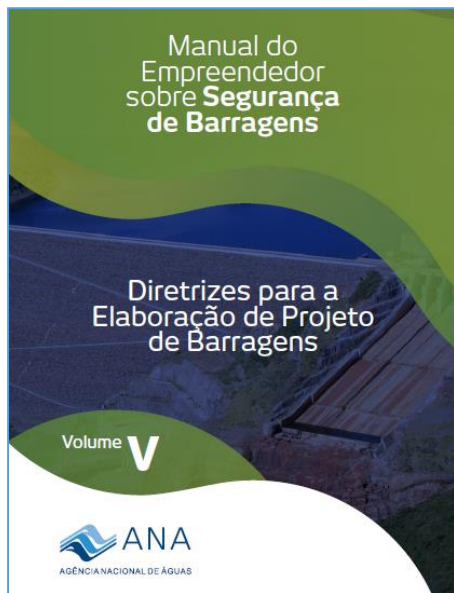
**FATORES ATMOSFÉRICOS**

- ✓ **Umidade Relativa do Ar;**
- ✓ **Ventos;**
- ✓ **Chuvas;**
- ✓ **Secas Prolongadas (estiagens).**

Carlos Henrique Medeiros

Apud: GUY H. M. BOURDEAUX

Curso de Barragens de Terra e Enrocamento: Projeto e Construção. CEB – Clube de Engenharia da Bahia (1979)



# 3 ELEMENTOS BASE E ESTUDOS GERAIS DO PROJETO

## 3.1 ELEMENTOS GERAIS

## 3.2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Quadro 1. Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.

Altura, h (m)	Volume, V (hm <sup>3</sup> )	Tempo de recorrência (anos)
$h \geq 30$	$V \geq 50$	CMP
$15 \leq h < 30$	$03 \leq V < 50$	1000
$h < 15$	$V < 03$	500

## 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

## 3.4 ESTUDOS SISMOLÓGICOS



**CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A  
ESCOLHA DO LOCAL DE  
CONSTRUÇÃO E TIPO DE BARRAGEM**

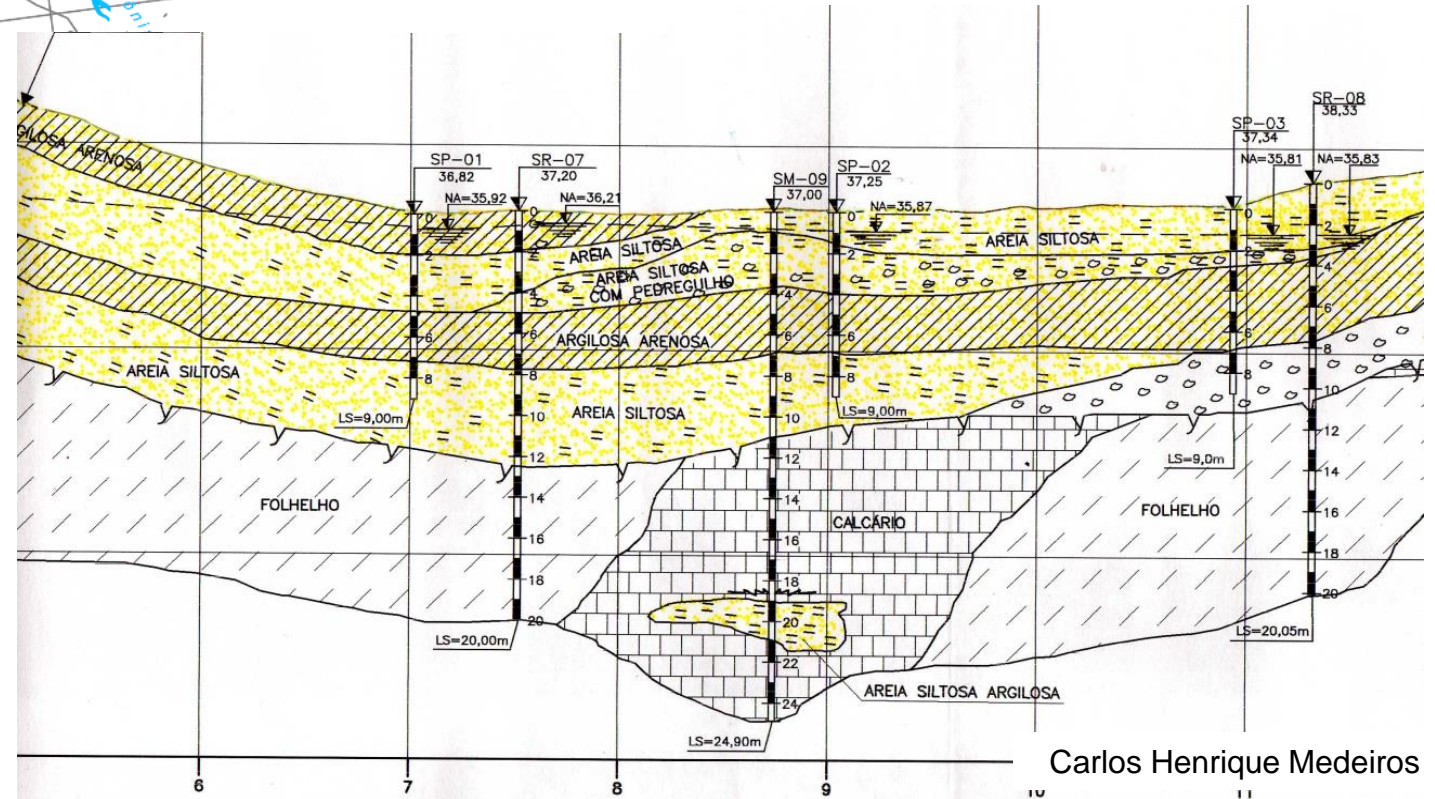
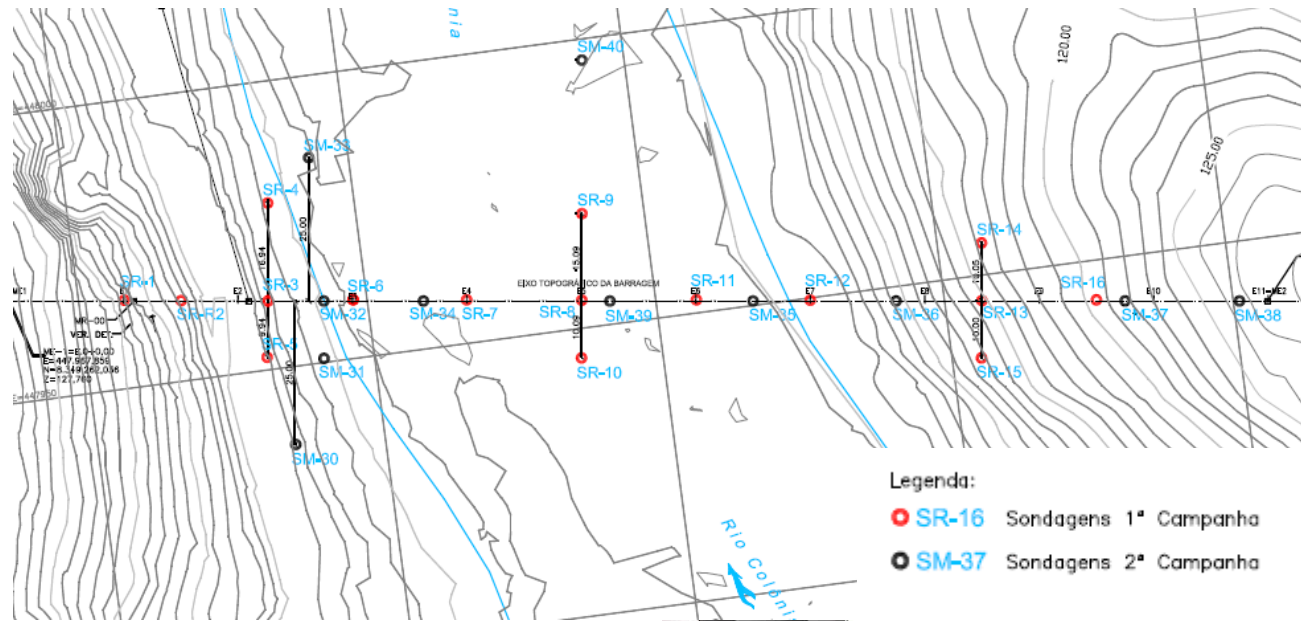
**FATORES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS**

- **Tipo de Fundações: solo x rocha (permeáveis, compressíveis, colapsíveis, etc.);**
- **Espessura de Aluviões;**
- **Espessuras de Argilas Mole (solo mole);**
- **Condições dos Solos “in-situ” nas Ombreiras: avaliar erodibilidade e colapsividade, quando da saturação (resistencia, deformabilidade e permeabilidade);**
- **Tipo de rocha / fraturamento / alteração;**
- **Presença de matacões (blocos de rocha);**
- **Materiais de Construção: terrosos, arenosos e pétreos.**

### 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

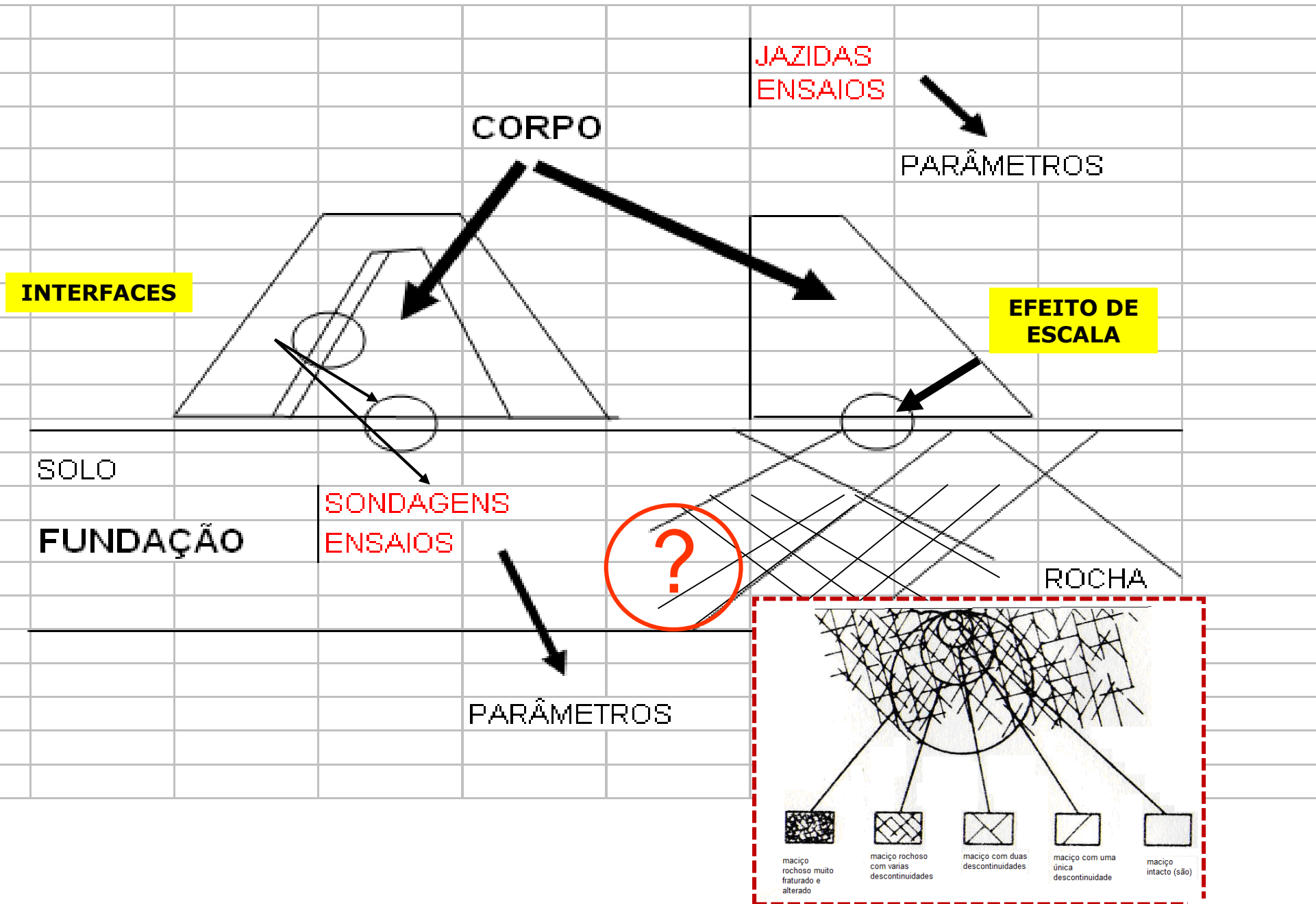
- Fraturamento do maciço de fundação da barragem, com definição e caracterização das feições principais;
- Zoneamento do maciço de fundação da barragem, visando definir áreas do maciço com características aproximadamente homogêneas;
- Classificação das zonas geotécnicas identificadas para definir a superfície de fundação da barragem e dos órgãos extravasores e de operação;
- Permeabilidade das formações que constituirão o maciço de fundação da barragem e do reservatório, bem como os escoamentos que nele poder-se-ão instalar;
- Condições de injeção de consolidação, de impermeabilização e de drenagem dos maciços de fundação;
- Propriedades geomecânicas do maciço de fundação da barragem, dos taludes do reservatório e dos terrenos situados imediatamente a jusante;
- Propriedades mecânicas e de permeabilidade dos materiais disponíveis nas jazidas de materiais e pedreiras;
- Zoneamento e avaliação dos volumes dos diversos materiais de construção disponíveis e indicação de sua distância à obra.

# INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA





**FATOR DE RISCO: INFERÊNCIA /  
EXTRAPOLAÇÃO**



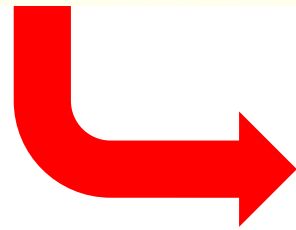
# INTERFACES



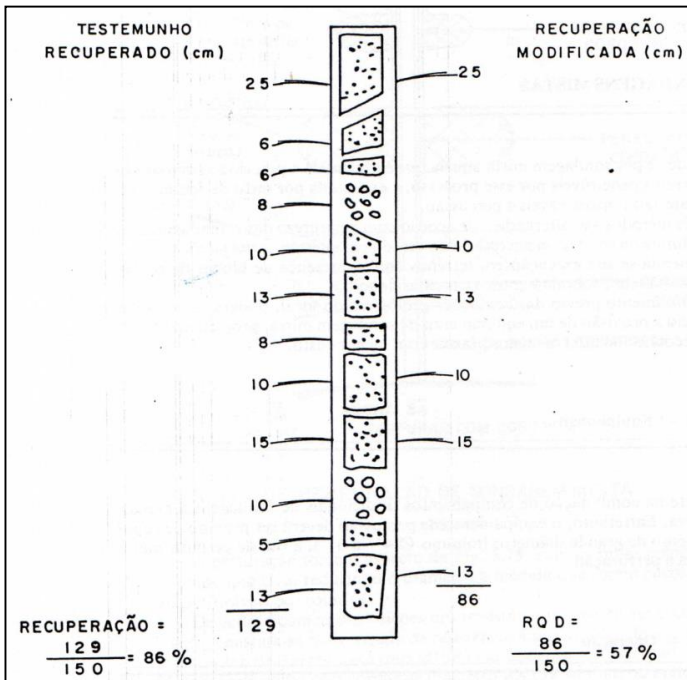


# INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA:

Sondagem Rotativa - SR



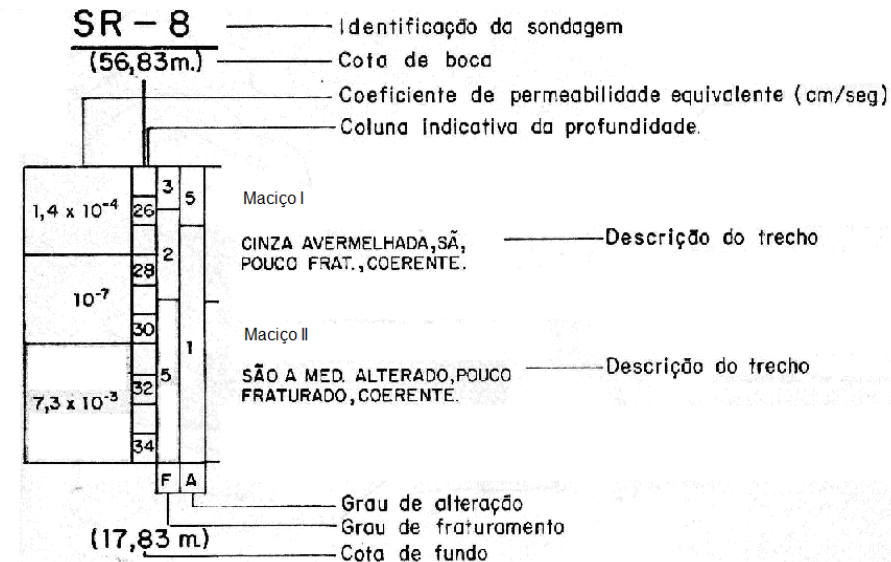
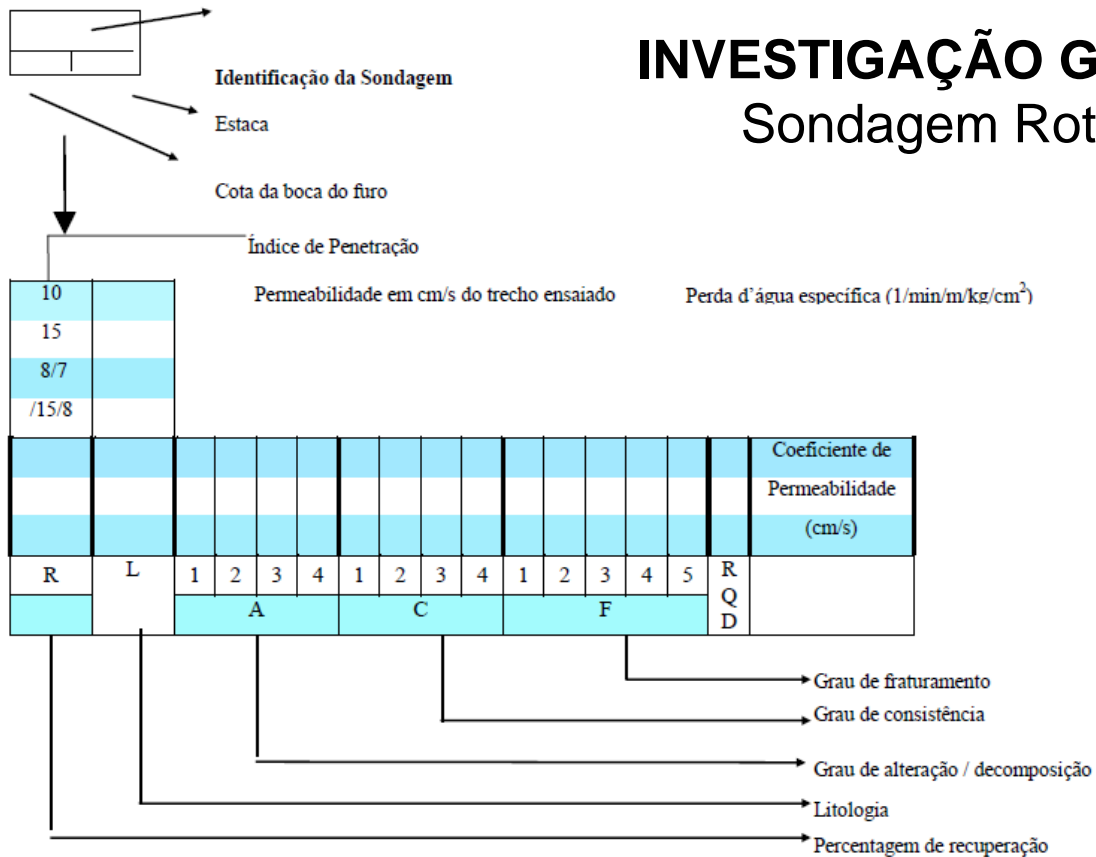
$RQD\% = \frac{\sum (\text{pedaços de testemunhos} > 10 \text{ cm}) \times 100}{\text{comprimento total do testemunho de rocha}}$



RQD (%)	Qualidade da Rocha
< 25	muito ruim
25 – 50	Ruim
50 – 75	média ou regular
75 – 90	Boa
90 - 100	muito boa



# INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA: Sondagem Rotativa - SR



Índice de Fraturamento	Denominação	Número de Fraturas por Metro
F.1	NÃO A MUITO POUCO FRATURADA	0 - 1
F.2	POUCO FRATURADA	2 - 5
F.3	MEDIANAMENTE FRATURADA	6 - 10
F.4	MUITO FRATURADA	11 - 20
F.5	EXTREMAMENTE FRATURADA	> 20 - EM FRAGMENTOS

Índice de Alteração	Denominação	Grau de Alteração %	Crítérios de Determinação
A.1	ROCHA SÃ A FRACAMENTE ALTERADA	0 - 25	Sã ou praticamente sã, alteração mineralógica nula ou insipiente e cor original intacta
A.2	ROCHA MEDIANAMENTE ALTERADA	25 - 50	Alteração mineralógica perceptível, cores esmaecidas e pequenas transformações físico-químicas
A.3	ROCHA MUITO ALTERADA	50 - 75	Alteração mineralógica acentuada, cores parcialmente modificadas e intensas transformações físico-químicas
A.4	ROCHA TOTALMENTE ALTERADA	75 - 100	alteração mineralógica praticamente completa, cores totalmente modificadas e transformações físico-químicas completas, exceto nos minerais resistentes, estruturas preservadas.
A.5	SOLO RESIDUAL	100	solo residual de alteração do substrato, mineralogia e estrutura da rocha totalmente modificados

Índice de Coerência	Denominação	Crítérios de Determinação
C.1	COERENTE	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo formando fragmentos de borda cortante, superfície dificilmente ou apenas riscada por lâmina de aço e características mecânicas elevadas
C.2	MEDIANAMENTE COERENTE	Quebra facilmente ao golpe do martelo em vários fragmentos, com bordas e arestas que podem ser quebradas pela pressão dos dedos, a lâmina de aço provoca um sulco pouco acentuado na superfície do fragmento e com características mecânicas boas
C.3	POUCO COERENTE	Esfarela ao golpe do martelo, a lâmina de aço produz sulcos profundos, pode ser quebrado com a mão e com características mecânicas boas
C.4	INCOERENTE	Desagrega e esfarela com a mão, friável e com características mecânicas muito baixas.

# INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA: Sondagem Mista (SM)

Sondagem: SM-24B		Cota: 751,75 m		Ref: GE-3270/13	
Revestimento: Ø = 78,2mm		Escala: 1/100	Data: MAR/14	Page: 1	Resp.
Amostrador: Ø = 50,8mm Ø = 35mm		Massa do martelo: 65 Kg	Altura de queda: 75cm		
PENETRAÇÃO		Cota em relação ao RN	Profundidade de camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
I	F				
1s/2s	2s/3s	10 20 30 40	10 20 30 40		
4	5			1	5) areia vermelha
4	5/33			2	Idem, pouco compacto e medianamente compacto
7	9			3	
5/32	6/32			4	Idem, pouco compacto e medianamente compacto
8	9			5	
13	15			6	
17	18			7	
17	22			8	Idem, cipodregulhos, compacto
23	36			9	
18	25			10	5) areia média, compacto
17	23			11	
15	20			12	
16	22			13	
23	33			14	
50/28				15	Idem, variegado (clara) compacto e muito compacto (Alteração de rocha)
50/28				16	
-	22			17	Metalo de rocha granítica, clara clara Medianamente alterada (A2) e em fragmentos (F3)
				18	
				19	
				20	
				21	
				22	
				23	
				24	
				25	
				26	
				27	
				28	
				29	
				30	
				31	
				32	
				33	
				34	
				35	
				36	
				37	
				38	
				39	
				40	
				41	
				42	
				43	
				44	
				45	
				46	
				47	
				48	
				49	
				50	
				51	
				52	
				53	
				54	
				55	
				56	
				57	
				58	
				59	
				60	
				61	
				62	
				63	
				64	
				65	
				66	
				67	
				68	
				69	
				70	
				71	
				72	
				73	
				74	
				75	
				76	
				77	
				78	
				79	
				80	
				81	
				82	
				83	
				84	
				85	
				86	
				87	
				88	
				89	
				90	
				91	
				92	
				93	
				94	
				95	
				96	
				97	
				98	
				99	
				100	
				101	
				102	
				103	
				104	
				105	
				106	
				107	
				108	
				109	
				110	
				111	
				112	
				113	
				114	
				115	
				116	
				117	
				118	
				119	
				120	
				121	
				122	
				123	
				124	
				125	
				126	
				127	
				128	
				129	
				130	
				131	
				132	
				133	
				134	
				135	
				136	
				137	
				138	
				139	
				140	
				141	
				142	
				143	
				144	
				145	
				146	
				147	
				148	
				149	
				150	
				151	
				152	
				153	
				154	
				155	
				156	
				157	
				158	
				159	
				160	
				161	
				162	
				163	
				164	
				165	
				166	
				167	
				168	
				169	
				170	
				171	
				172	
				173	
				174	
				175	
				176	
				177	
				178	
				179	
				180	
				181	
				182	
				183	
				184	
				185	
				186	
				187	
				188	
				189	
				190	
				191	
				192	
				193	
				194	
				195	
				196	
				197	
				198	
				199	
				200	
				201	
				202	
				203	
				204	
				205	
				206	
				207	
				208	
				209	
				210	
				211	
				212	
				213	
				214	
				215	
				216	
				217	
				218	
				219	
				220	
				221	
				222	
				223	
				224	
				225	
				226	
				227	
				228	
				229	
				230	
				231	
				232	
				233	
				234	
				235	
				236	
				237	
				238	
				239	
				240	
				241	
				242	
				243	
				244	
				245	
				246	
				247	
				248	
				249	
				250	
				251	
				252	
				253	
				254	
				255	
				256	
				257	
				258	
				259	
				260	
				261	
				262	
				263	
				264	
				265	
				266	
				267	
				268	
				269	
				270	
				271	
				272	
				273	
				274	
				275	
				276	
				277	
				278	
				279	
				280	
				281	
				282	
				283	
				284	
				285	
				286	
				287	
				288	</



# INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA:

## Sondagem Rotativa - SR

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAEM ROTATIVA OU MISTA																						
PROFUNDIDADE + NÍVEL D'ÁGUA	REVESTIMENTO E COTAS (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL E INTERPRET. GEOLÓGICA	PERFIL GRÁFICO	INCLINAÇÃO DESCONTINUIDADE	ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RQD	MANOBRAS	Nº DE GOLPES		GRÁFICO										
										1º e 2º	2º e 3º											
1,25		Solo de alteração-Silte arenoso argiloso de cor marrom.																				
2,00		Intercalações de solo de alteração e rocha extremamente alterada a muito alterada, pouco coerente a incoerente, extremamente fraturada.		SH	A3/A4	C3/C4	F5	0				38										
2,60												9										
3,00		Granito-gnaiss, cinza, muito alterado, pouco coerente, extremamente fraturado.	SH	A3	C3	F5	30					12										
4,35												52										
4,56		Granito-gnaiss, cinza, sã, coerente, muito pouco a pouco fraturada.		SHM	A1	C1	F1/F2	100				100										
5,74																						
6,75																						
7,36																						
8,44																						
9,66																						
10,36																						
10,98																						
12,41																						
13,00																						

**ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA**

**CLIENTE:** PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABUNA - EMASA

**LOCAL:** BARRAGEM NO RIO COLÔNIA

**FURO:** SR - 08      **ESTACA:**

**DATA:** 01/05/2002      **RESPONSÁVEL:**

**PROFUNDIDADE:** De 0,00 a 3,62 metros.

ESTÁGIO	PRESSÃO EFETIVA (kg/cm <sup>2</sup> )	VAZÃO ESPECÍFICA (l/min/m)	PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA (l/min/m/kg/m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE PERMEABILIDADE (cm/s)
1º	0,100	0,055	0,288	2,8 x 10 <sup>-5</sup>
2º	0,130	0,089	0,293	3,1 x 10 <sup>-5</sup>
3º	0,250	0,179	0,505	5,4 x 10 <sup>-5</sup>
4º	0,130	0,041	0,178	1,8 x 10 <sup>-5</sup>
5º	0,100	0,041	0,200	2,1 x 10 <sup>-5</sup>

**PROFUNDIDADE:** De 3,62 a 6,72 metros.

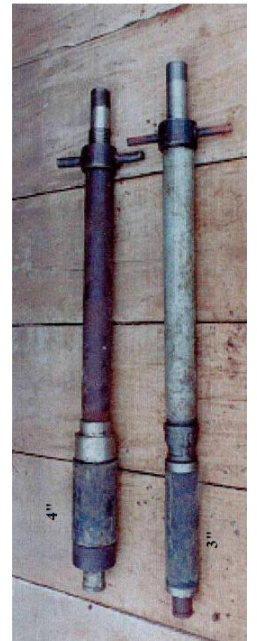
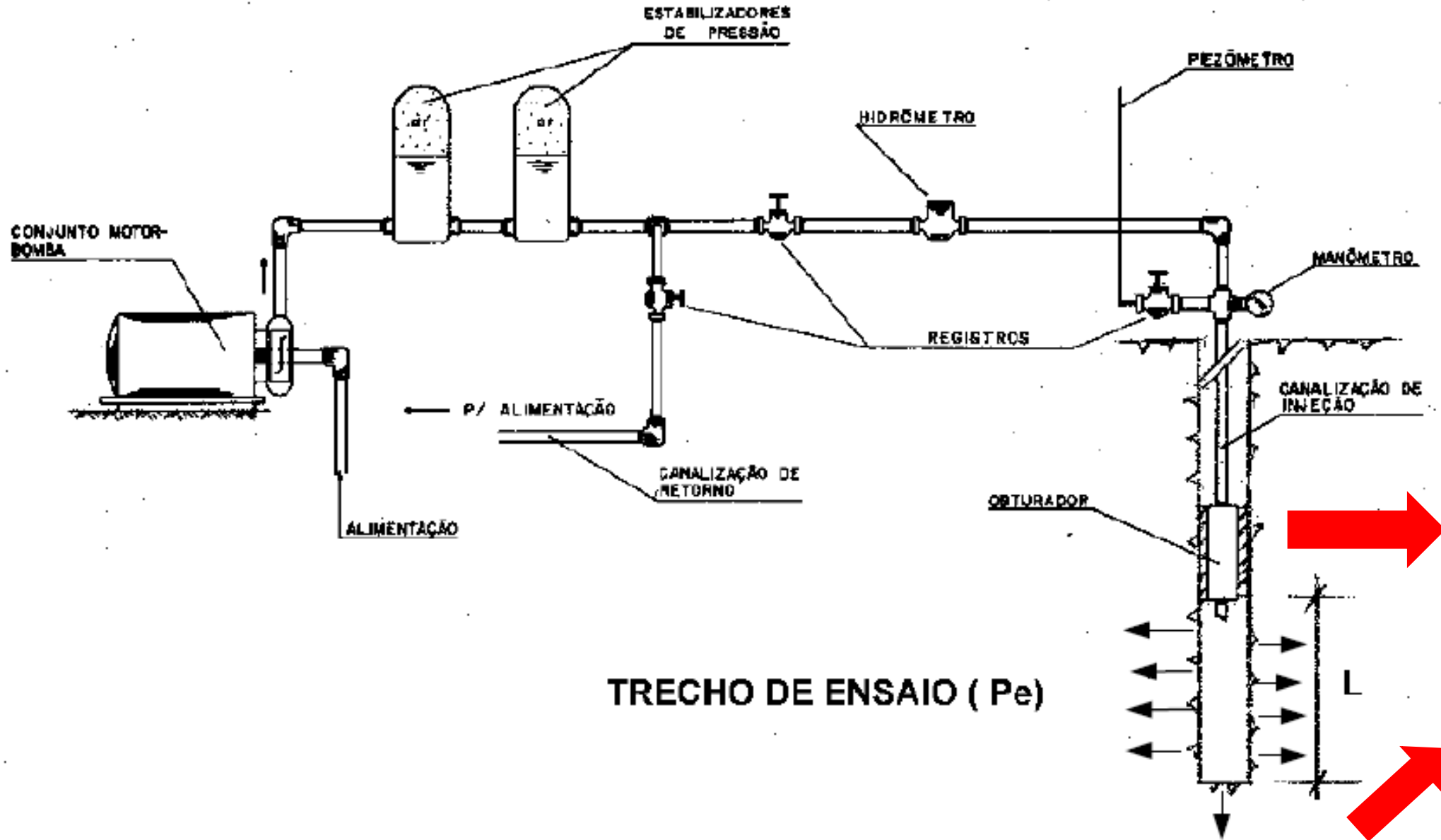
ESTÁGIO	PRESSÃO EFETIVA (kg/cm <sup>2</sup> )	VAZÃO ESPECÍFICA (l/min/m)	PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA (l/min/m/kg/m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE PERMEABILIDADE (cm/s)
1º	0,100	0,000	0,000	-
2º	0,400	0,000	0,000	-
3º	0,750	0,181	0,184	1,8 x 10 <sup>-5</sup>
4º	0,400	0,000	0,000	-
5º	0,100	0,000	0,000	-

**PROFUNDIDADE:** De 6,72 a 9,81 metros.

ESTÁGIO	PRESSÃO EFETIVA (kg/cm <sup>2</sup> )	VAZÃO ESPECÍFICA (l/min/m)	PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA (l/min/m/kg/m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE PERMEABILIDADE (cm/s)
1º	0,100	0,000	0,000	-
2º	0,750	0,000	0,000	-
3º	1,500	0,000	0,000	-
4º	0,750	0,000	0,000	-
5º	0,100	0,000	0,000	-

<b>PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABUNA</b>		DATA: 13/04/02	NÍVEL D'ÁGUA (metros)		20 40 60 80 % DE RECUPERAÇÃO
OBRA:	BARRAGEM DO RIO COLÔNIA	ESCALA: 1:100			
LOCAL:	ITAPÉ	RESP. TÉCNICO	INICIAL 4,50		
Nº DO FURO:	SR - 04      COTA:	OBS.:	FINAL 4,35		

# ESQUEMA DO ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO



FONTE : OLIVEIRA, SILVA e FERREIRA (1975)

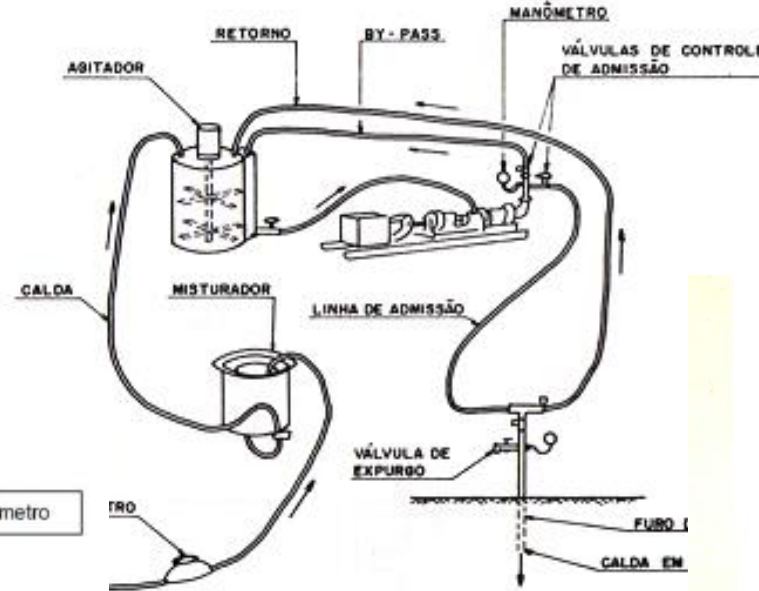
OBTURADOR SIMPLES TIPO MECÂNICO DE 4" (101,6 mm) e de 3" (76,2 mm)



# CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM TERMOS DE ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO



QUALIDADE DO ENSAIO?



Esquema do equipamento de ensaio de perda d'água.

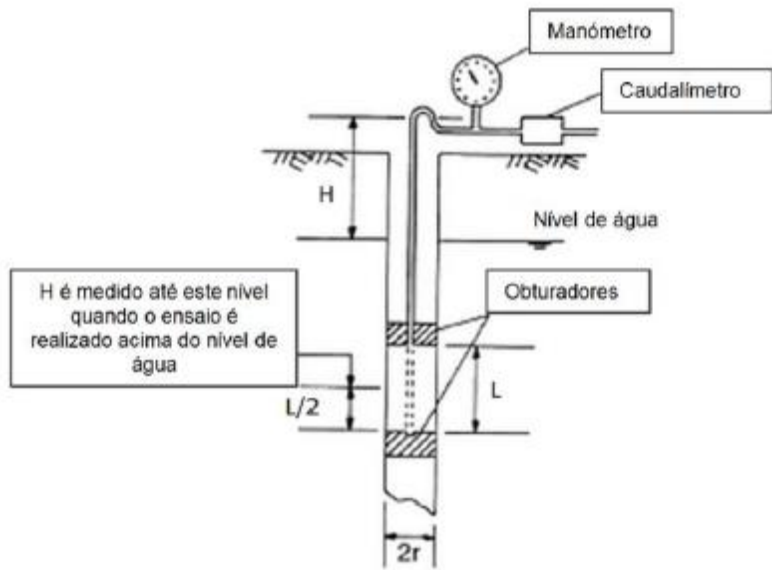


Figura 2.15 – Variável H na equação de Moyer (adaptado de Fell et al., 2005)

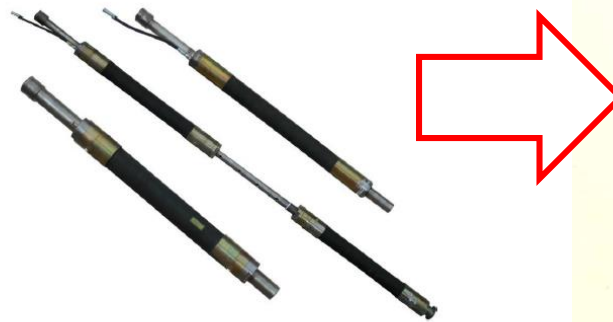


Figura 2.11 – Obturadores simples e duplos com tubo perfurado (retirado de www.drill-service.it)

	SEM ALTERAÇÃO	COM FECHAMENTO	COM ABERTURA
LAMINAR	L.1 	L.2 	L.3 
TURBULENTO	T.1 	T.2 	T.3 
DEFORMAÇÃO	D.1 	D.2 	D.3 
VO	→ 1		
DE VAZÃO TOTAL	SEM ALTERAÇÃO	COM FECHAMENTO	COM ABERTURA
TRES ESTÁGIOS	V.1 	V.2 	V.3 

OS GRÁFICOS FORAM ELABORADOS TOMANDO-SE PRESSÕES NAS ORDENADAS E VAZÕES NAS ABCISSAS.

FIG. 5.14 – Casos Típicos de Comportamento do Trecho Ensaiado (segundo ABGE, 1975).

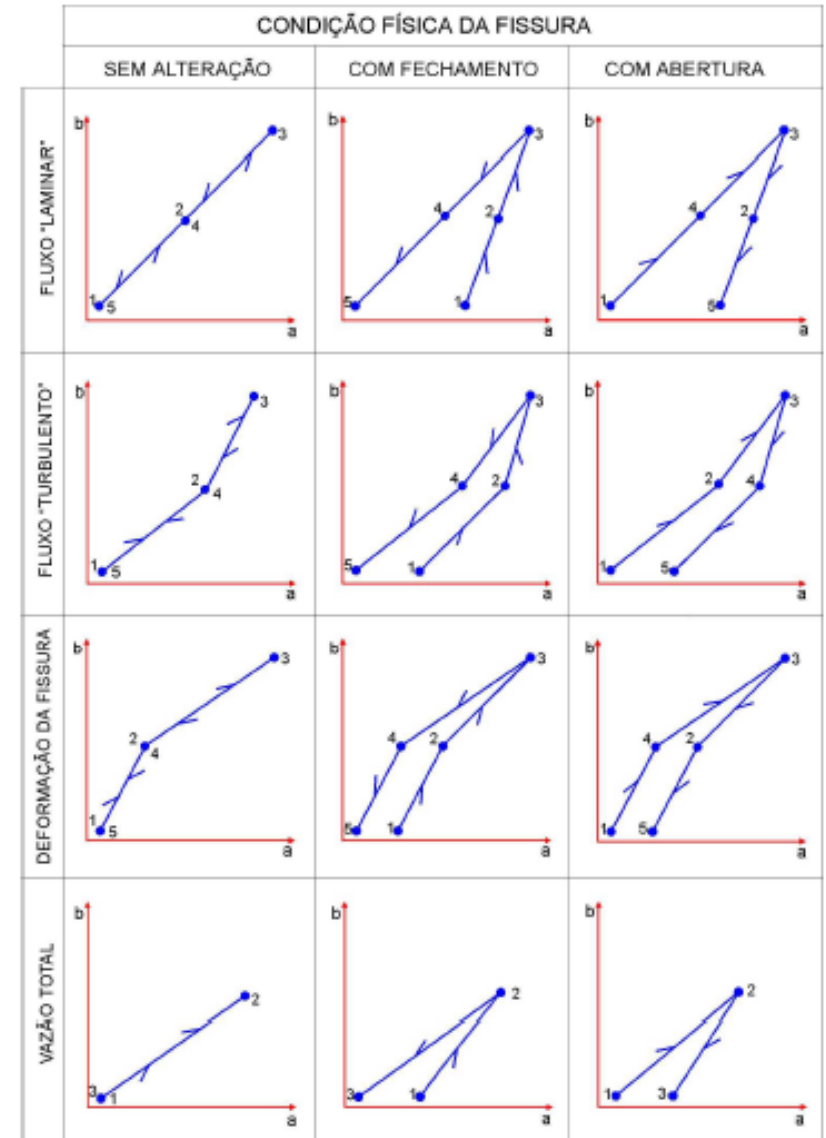
# GEOTÉCNICO OU GEÓLOGO QUALIFICADO?

## CASO CONTRÁRIO:

- Erros na avaliação dos parâmetros de projeto, ex. % **RQD**, permeabilidade **k** (cm/s) ou unidades **Lugeon** (**Lu** ou **L**), etc.
- Desconhecimento e/ou erros de interpretação dos gráficos dos **ensaios de perda d'água sob pressão**.

Quadro 2.1 – Condições das discontinuidades associadas a valores Lugeon (adaptado de Quiñones-Rozo, 2010)

Intervalo Lugeon	Classificação	Permeabilidade Hidráulica ( $m.s^{-1}$ )	Condições das discontinuidades do maciço rochoso	Precisão dos valores (Lugeon)
<1	Muito baixo	$< 1 \times 10^{-7}$	Muito fechadas	<1
1-5	Baixo	$1 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-7}$	Fechadas	$\pm 0$
5-15	Moderado	$6 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-6}$	Algumas parcialmente abertas	$\pm 1$
15-50	Médio	$2 \times 10^{-6} - 6 \times 10^{-6}$	Algumas abertas	$\pm 5$
50-100	Alto	$6 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5}$	Muitas abertas	$\pm 10$
>100	Muito alto	$> 1 \times 10^{-5}$	Abertas pouco espaçadas ou vazios	>100



- 1) - "a" e "b" indicam vazão e pressão crescentes respectivamente;
- 2) - 1 a 5 indicam a sequência de aplicação dos estágios de execução do ensaio;

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (H) EM UNIDADES LUGEON (L), OBTIDA DE RESULTADOS DE ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO**

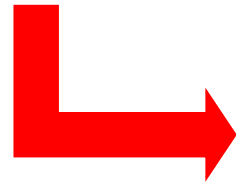
Essa condutividade é expressa em unidades Lugeon (Lu), definidas como a condutividade hidráulica necessária para atingir um caudal de  $1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  e por metro de trecho ensaiado, a uma pressão de injeção de 1 MPa (equação 2.4).

$$1 \text{ Lu} = \frac{Q}{L} \times \frac{P_0}{P} \quad (2.4)$$

Sob condições ideais, isto é, em maciços homogêneos e isotrópicos, o valor de 1 Lu é equivalente a uma condutividade de  $1,3 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (Fell *et al.*, 2005). Na tabela 2.7 encontram-se resumidas as condições tipicamente associadas com diferentes valores de absorção em Lu, bem como a exatidão a utilizar para relatar esses valores.

Tabela 2.7 - Condições das discontinuidades do maciço rochoso associadas a gamas de valores de absorção em Lu (adaptado de Houlby, 1976)

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	(l x m / x min. x kgf / cm <sup>2</sup> )	H1	< 0,10 (MUITO BAIXA)	PERMEABILIDADE (K=cm/s)	K < 10 <sup>-5</sup>
		H2	0,10 - 1,00 (BAIXA)		10 <sup>-5</sup> < K < 10 <sup>-4</sup>
		H3	1,00 - 5,00 (MÉDIA)		10 <sup>-4</sup> < K < 5x10 <sup>-4</sup>
		H4	5,00 - 10,00 (ALTA)		5x10 <sup>-4</sup> < K < 10 <sup>-3</sup>
		H5	> 10,00 (MUITO ALTA)		K > 10 <sup>-3</sup>



Intervalo de valores Lu	Absorção	Condutividade hidráulica (m.s <sup>-1</sup> )	Condição das discontinuidades do maciço rochoso	Exatidão no relato dos resultados (Lu)
< 1	Muito baixa	< 1 x 10 <sup>-5</sup>	Muito fechadas	< 1
1 - 5	Baixa	1 x 10 <sup>-5</sup> - 6 x 10 <sup>-5</sup>	Fechadas	± 0
5 - 15	Moderada	6 x 10 <sup>-5</sup> - 2 x 10 <sup>-4</sup>	Algumas parcialmente abertas	± 1
15 - 50	Média	2 x 10 <sup>-4</sup> - 6 x 10 <sup>-4</sup>	Algumas abertas	± 5
50 - 100	Alta	6 x 10 <sup>-4</sup> - 1 x 10 <sup>-3</sup>	Muitas abertas	± 10
> 100	Muito alta	> 1 x 10 <sup>-3</sup>	Abertas e pouco espaçadas ou com vazios	> 100



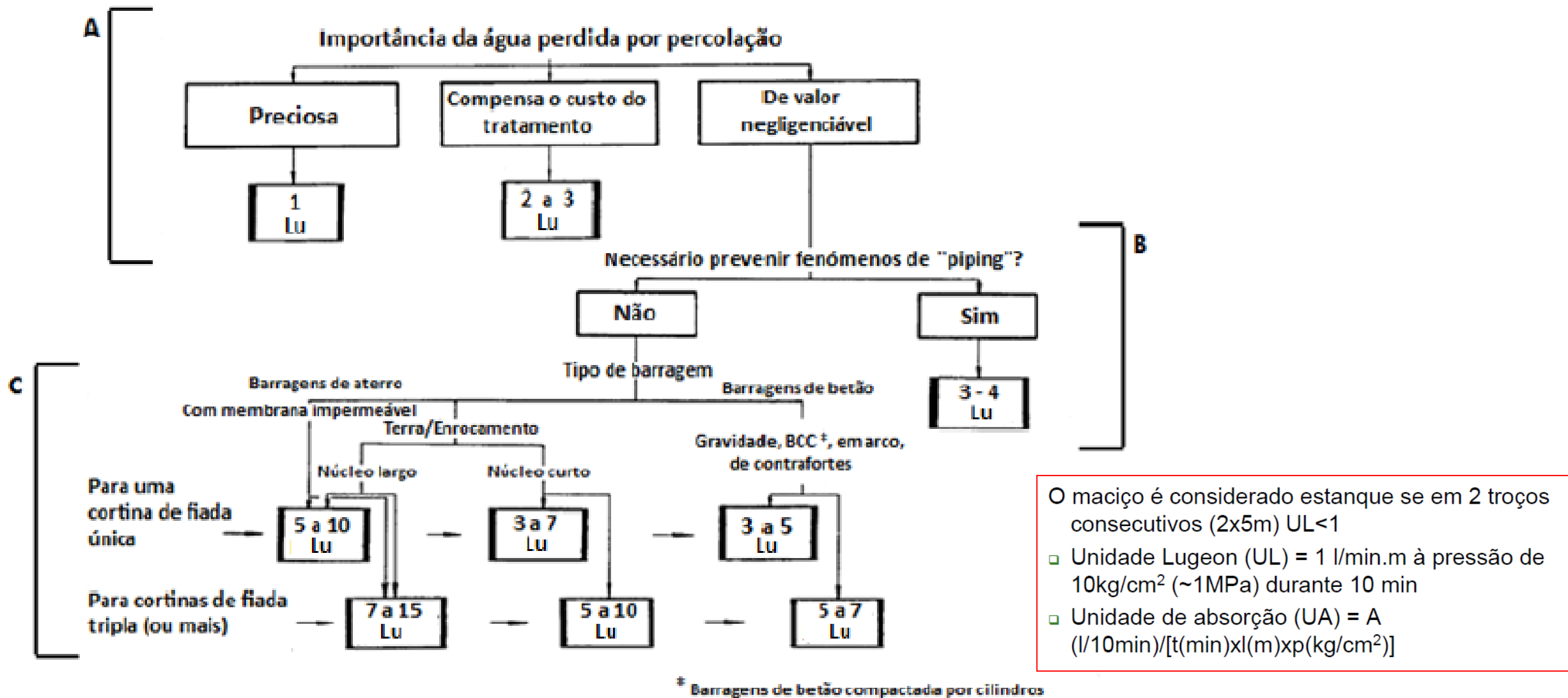


Figura 4.1 - Fluxograma para definição da necessidade de execução de cortina de impermeabilização (adaptado de Houlsby, 1990)

## RISCO GEOLÓGICO: PRINCIPAIS FATORES

1. ERROS DE INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CAMPO: SONDAGENS C/ SPT, ROTATIVAS, MISTAS E, PRINCIPALMENTE, ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO;
2. ERROS NA FORMULAÇÃO DO MODELO GEOMECÂNICO, COMPREENDENDO ERROS DE REPRESENTAÇÃO DOS CONTATOS E/OU INTERFACES, ATITUDES, COMPARTIMENTAÇÃO DO MACIÇO, ETC. QUAIS SEUS EFEITOS NO COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA A SER IMPOSTA?


**INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA INSUFICIENTE**

**Em Geral: 0,5 a 1,0% do Custo do Projeto**


# CUSTOS MÉDIOS DE UMA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Ref. Foundation of Engineering Geology, A. C. Waltham (1994)

PROJETO / OBRA	% CUSTO TOTAL DO PROJETO	% CUSTO COM A FUNDAÇÃO
Edificações / Edifícios	0,05 – 0,2	0,5 – 2,0
Estradas	0,2 – 1,5	1,0 – 5,0
Barragens	1,0 – 3,0	1,0 – 5,0



**YOU PAY FOR A SITE INVESTIGATION WHETHER YOU HAVE ONE OR NOT**



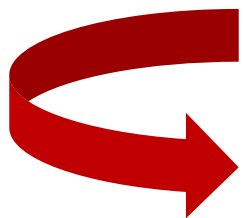
**A MAGNITUDE E CUSTO DE UMA CAMPANHA DE INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA VARIA CONSIDERAVELMENTE, EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO / OBRA E DA COMPLEXIDADE E/OU DIFICULDADES DAS CONDIÇÕES DO SUBSOLO.**



# RISCO GEOLÓGICO: PRINCIPAIS FATORES

3 - ERROS NA IDENTIFICAÇÃO DOS “DEFEITOS”, DEVIDO À ELABORAÇÃO DE MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, EXCESSIVAMENTE GEOLÓGICO E;

4 - ERROS NO PLANEJAMENTO DA REFERIDA CAMPANHA DE SONDAgens, SEM AVALIAÇÃO RIGOROSA POR PROFISSIONAL COM EXPERIENCIA DE GEOTECNIA, DAS ZONAS CRÍTICAS E NOTÁVEIS EM SUPERFÍCIE. MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO SEM DETALHAMENTO SUFICIENTE PARA O PLANEJAMENTO DO PROGRAMA DE SONDAgens.



**> No. DE SONDAgens NÃO IMPLICA EM > SEGURANÇA**



# 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



Carlos Henrique Medeiros



3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS,  
HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

OBRA + ADEQUAÇÃO DO  
PROJETO EXECUTIVO





### 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



### OBRA + ADEQUAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO





### 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



Carlos Henrique Medeiros



### 3.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



Carlos Henrique Medeiros



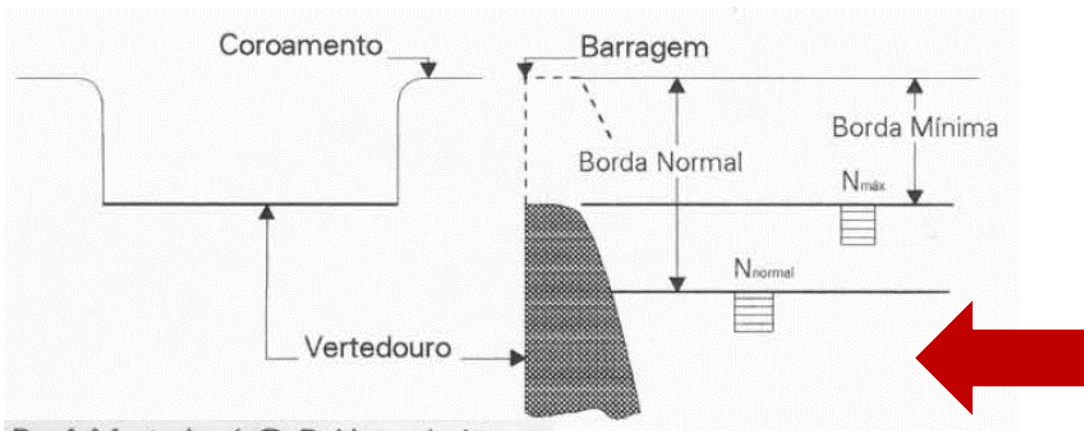
## 3.1 ELEMENTOS GERAIS

### 3.5 BORDA LIVRE NORMAL E MÍNIMA

#### 3.5.1 Definição

A borda livre normal em barragens tem sido definida como a diferença entre a cota da crista e o nível máximo normal do reservatório (ICOLD, 1978). Pode, no entanto,

definir-se uma borda livre mínima (diferença entre a cota da crista e o nível de máxima cheia, ou nível *maximum maximorum*).



#### 3.5.4 Valores da borda livre recomendados

Para as barragens construídas no Brasil, tem-se considerado adequado adotar os valores mínimos, a seguir indicados (ELETROBRAS, 2003):

- A borda livre normal deve ser limitada ao mínimo de 3,0 m para as barragens de aterro (terra ou enrocamento), e de 1,5 m para as barragens de concreto;
- As bordas livres normais das ensecadeiras e das casas de força devem ser limitadas ao mínimo de 1,0 m;
- A borda livre mínima deve ser de 1,0 m acima do nível de máxima cheia do reservatório em barragens de aterro, e de 0,5 m acima do nível de máxima cheia do reservatório em barragens de concreto.

Distância vertical entre o nível do coroamento da barragem e cada um dos níveis característicos do armazenamento d'água, tais como nível máximo de cheia e nível normal de retenção, denominados, respectivamente, **Borda Livre Mínima e Borda Livre Normal**.



A borda livre pode ser dada pela expressão:

$$B = 0,75 H_0 + \frac{V_0^2}{2g} \quad (1)$$

em que  $H_0$  é a altura da onda  $V_0$  a sua velocidade de propagação.

A altura das ondas  $H_0$  é geralmente estimada através fórmulas empíricas em função da velocidade do vento e do fetch.

As fórmulas de Stevenson, modificadas por Molitor, usadas há muitos anos, e têm as expressões:

$$H_0 = 0,032 \sqrt{UF} + 0,76 - 0,26 \sqrt[4]{F} \quad (2)$$

onde:  $H_0$  - altura da onda (m)       $F$  - fetch (km)       $U$  - velocidade do vento, segundo o fetch (km/h)

Quando o fetch excede 20 km a fórmula pode ser simplificada para

$$H_0 = 0,032 \sqrt{UF} \quad (3)$$

Recomenda-se a instalação de um anemômetro no local da obra, colocado a uma altura de 10m acima do futuro nível do reservatório e exposto ao máximo fetch.

Só se deve levar em conta os ventos com ocorrência provável durante o período de águas máximas no reservatório.

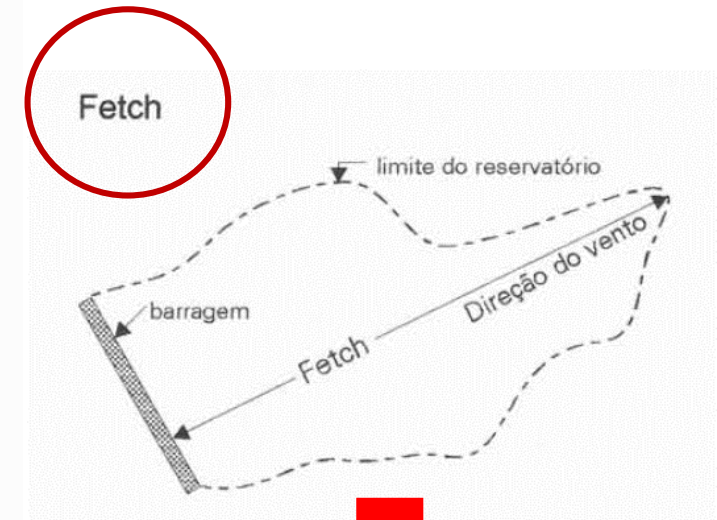
A direção do vento e do fetch adotado também devem se correlacionar.

Para ondas com altura de 0,3 a 2m, a velocidade de propagação pode ser determinada pela fórmula de Gaillard:

$$V = 1,5 + 2H_0 \quad (4)$$

em que  $V$  é expressa em m/s e  $H_0$  em metro.

Prof. Maria José C. P. Alves de Lima

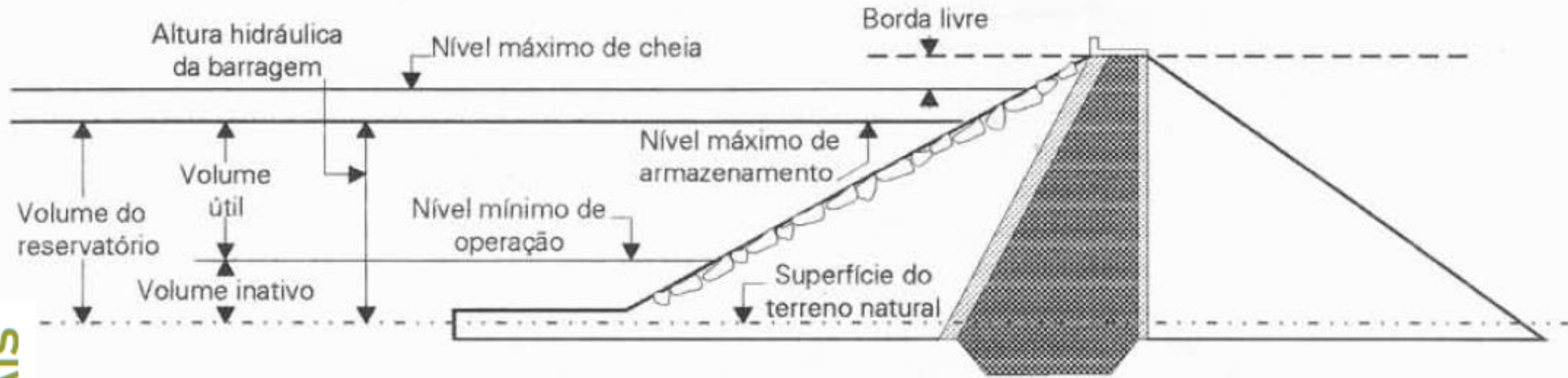


É a distância na qual o vento pode atuar sobre as águas. Geralmente é definida pelo ponto mais a montante até a estrutura, na direção do vento.

"Fetch" (km)	Folga Normal (metro)	Folga Mínima (metro)
< 1,6	1,2	0,9
1,6	1,5	1,2
4,0	1,8	1,5
8,0	2,4	1,8
16,0	3,0	2,1

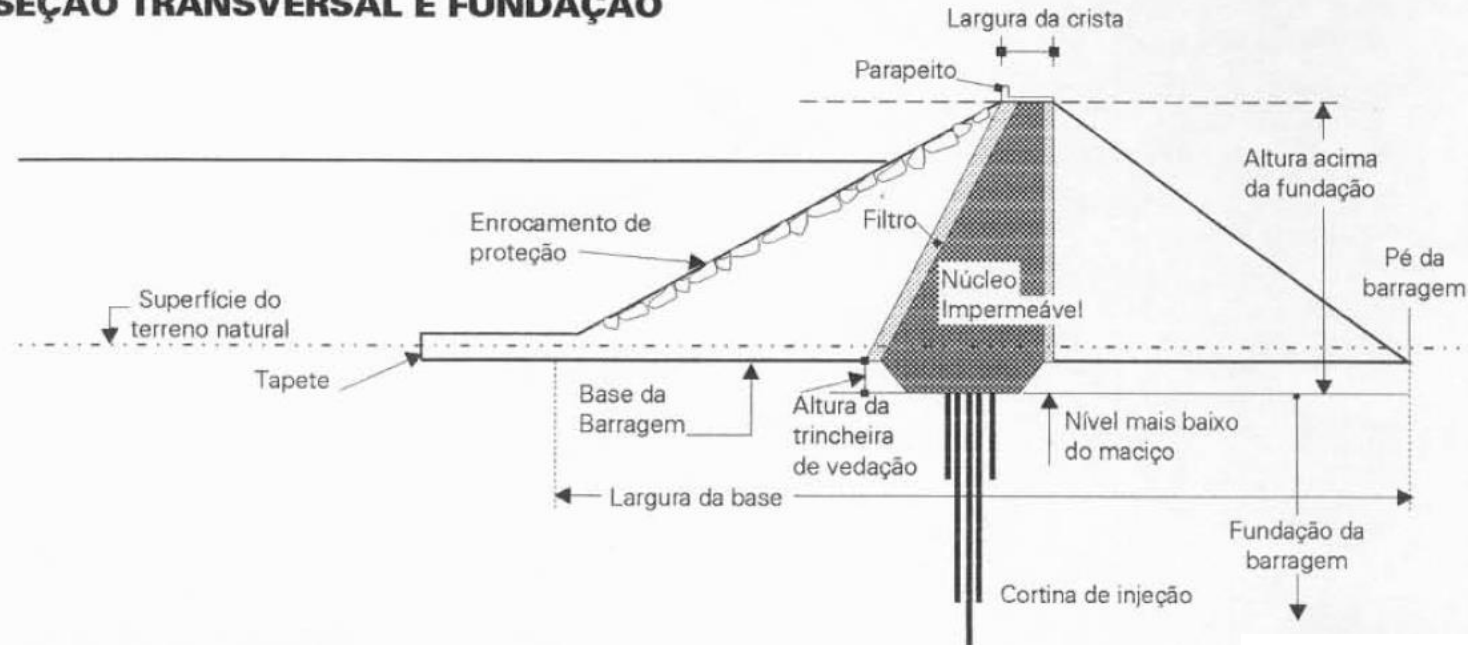
Carlos Henrique Medeiros

# NÍVEIS D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO

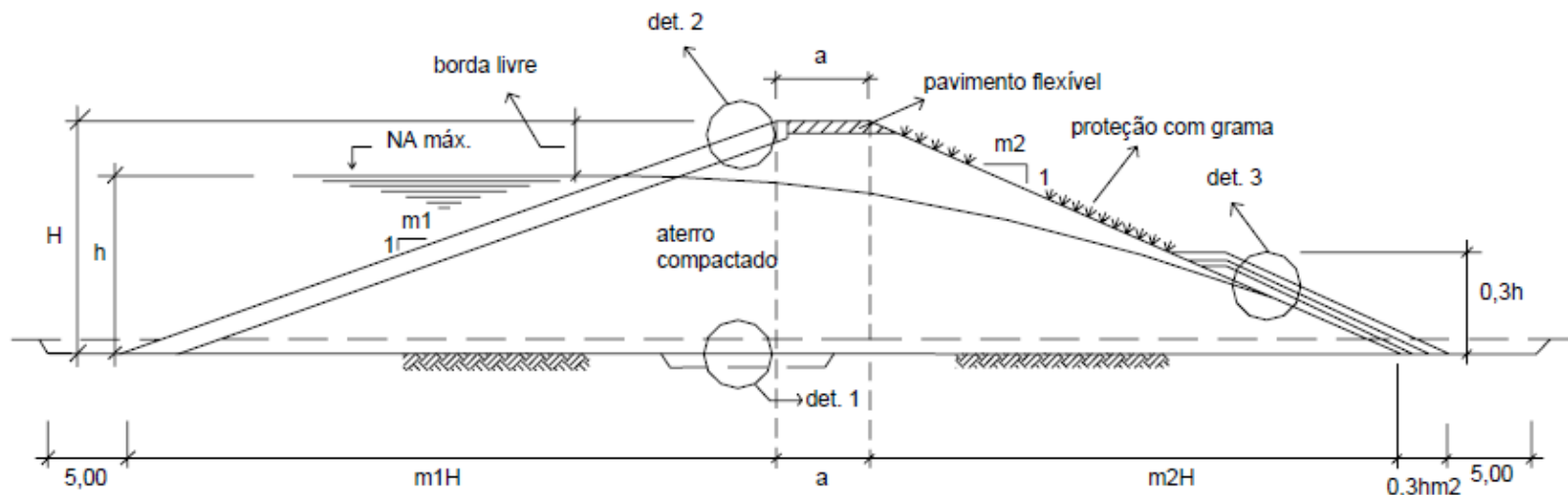


3.1 ELEMENTOS GERAIS

## SEÇÃO TRANSVERSAL E FUNDAÇÃO

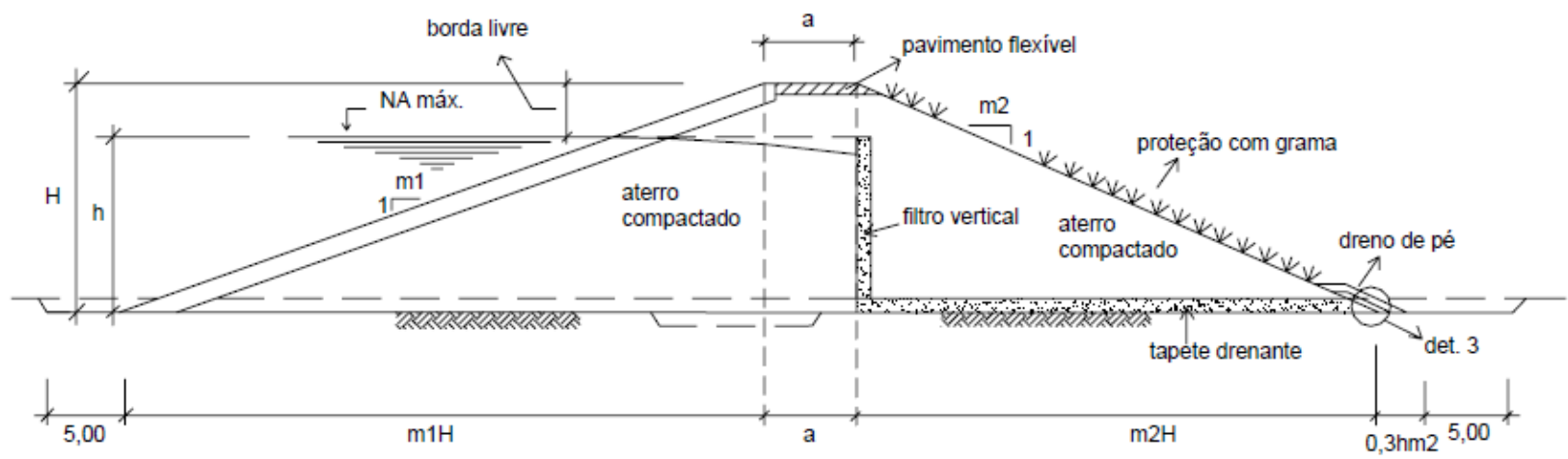




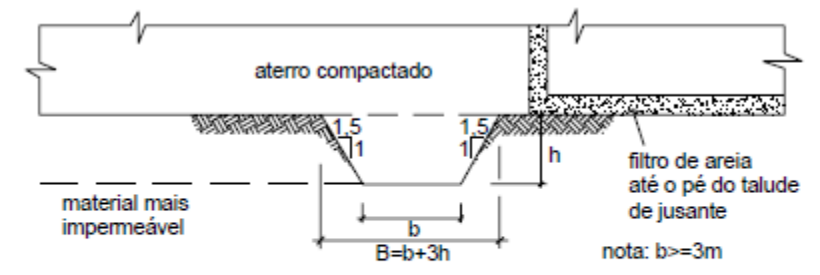


BARRAGEM HOMOGÊNEA ( $H \leq 10m$ )

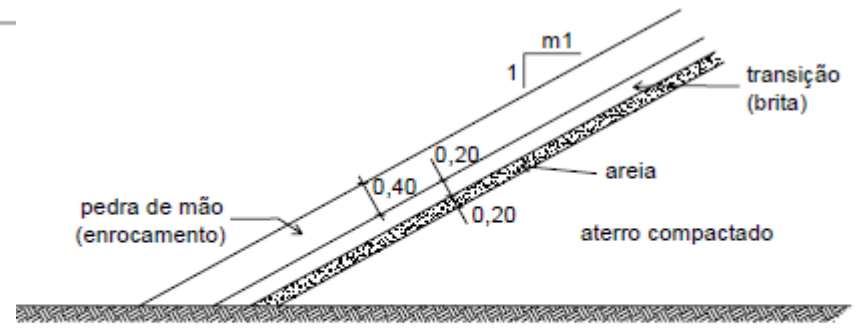
Figura 1-a



BARRAGEM HOMOGÊNEA

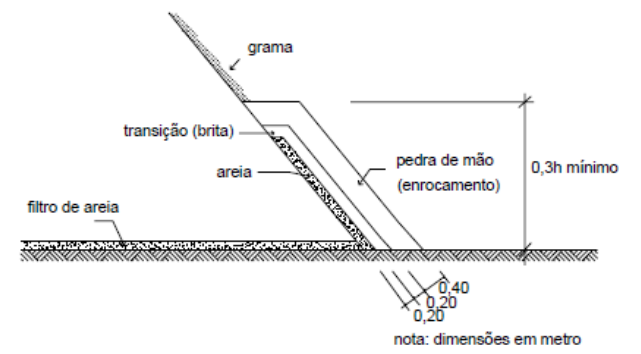


DETALHE 1 - TRINCHEIRA EM FUNDAÇÃO MUITO PERMEÁVEL



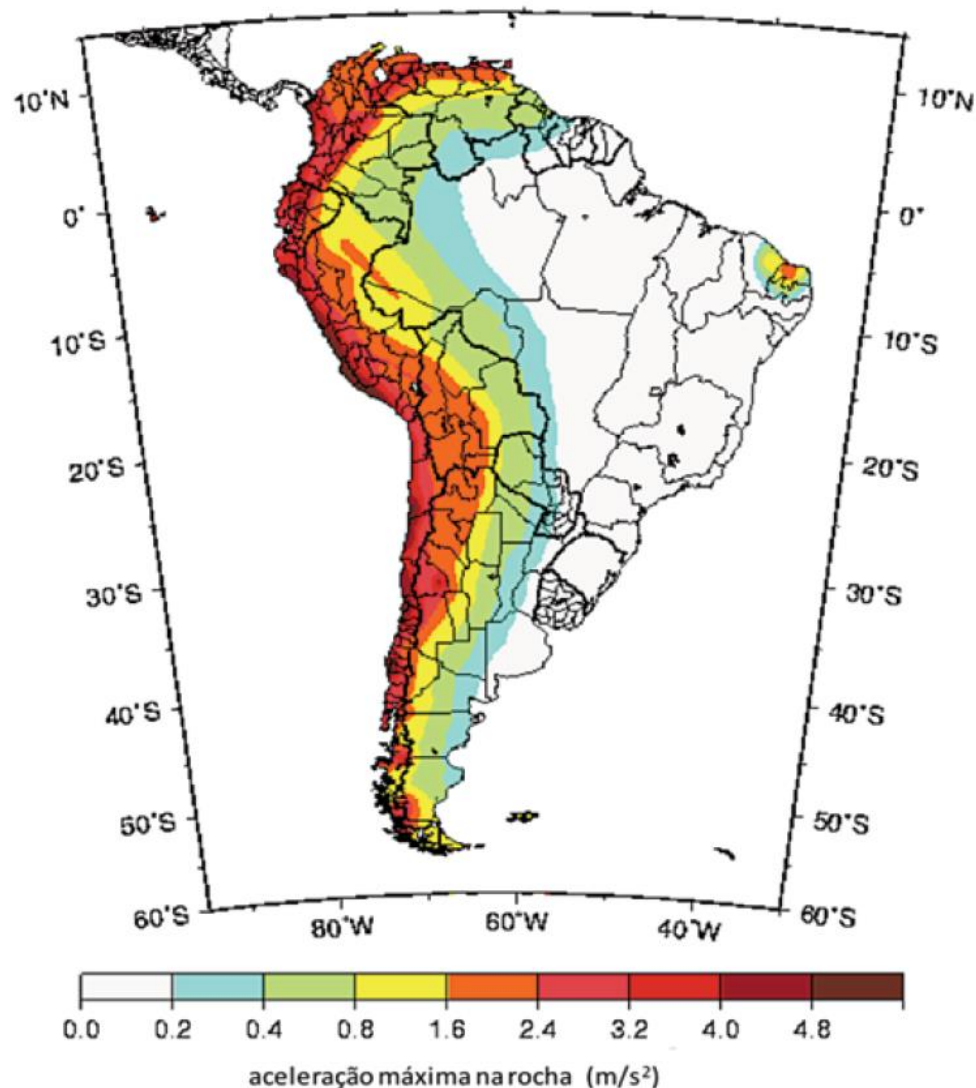
nota: dimensões em metro

DETALHE 2 - PROTEÇÃO DO TALUDE DE MONTANTE



DETALHE 3 - PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

## 3.4 ESTUDOS SISMOLÓGICOS



Os principais sismos de barragem que ocorreram no Brasil e as respectivas magnitudes foram os seguintes: Volta Grande (MG/SP, 1974), magnitude 4,2; Nova Ponte (MG, 1998), magnitude 4,0; Cajuru (MG, 1972), magnitude 3,7; Capivara (PR/SP, 1979), magnitude 3,7; Tucuruí (PA, 1998), magnitude 3,6; Balbina (AM, 1990), magnitude 3,4; Miranda (MG, 2000), magnitude 3,3; Paraibuna (SP, 1977), magnitude 3,0; Igaratá (SP, 1985), magnitude 3,0; Capivari-Cachoeira (PR), magnitude 3,0; Açú (RN, 1994), magnitude 3,0.

**Quadro 2.** Sismo máximo de projeto das barragens.

Dano potencial associado	Sismo máximo de projeto (SMP)	
	Avaliação determinística	Avaliação probabilística (tempo de recorrência mínimo, anos)
Alto	SMC	1/10.000
Médio	De 50% a 100% do SMC	1/1.000 a 1/10.000
Baixo		1/100 a 1/1.000

**Figura 2.** Mapa de risco sísmico na América do Sul. Aceleração máxima na rocha com a probabilidade de 90% de não ser excedida, para um período de 50 anos.

Fonte: GSHAP



## 3.6 DESVIO DO RIO

A definição do tempo de recorrência da cheia, a considerar nos estudos da derivação provisória do rio, deve considerar a especificidade de cada situação e os tipos de barragem e de ensecadeira, e deve ser devidamente justificada, recomendando-se a adoção de tempos de recorrência não inferiores a 5 e a 20 anos, respectivamente, para barragens de concreto e de aterro.

# GALGAMENTO DURANTE A CONSTRUÇÃO

Determinação da Cheia de Desvio do Rio (TR=20 ou 25 anos)





**RISCO DE GALGAMENTO  
DURANTE A CONSTRUÇÃO**

**BARRAGEM DE GASPARINO – Cel. João Sá / BA**





**ASPECTOS CONSTRUTIVOS:  
Obras de Desvio do Rio**





# ASPECTOS CONSTRUTIVOS: Obras de Desvio do Rio



# 3.7 ESCAVAÇÕES

## 3.7.2 Escavação a céu aberto

### Estabilidade dos taludes

INCLINAÇÃO DOS TALUDES DE BARRAGENS HOMOGÊNEAS SOBRE FUNDAÇÕES ESTÁVEIS

Sujeitas a esvaziamento rápido	Símbolo do grupo do solo	Montante	Jusante
Não	<i>GW, GP, SW, SP</i>	Não adequado	(permeável)
	<i>GC, GM, SC, SM</i>	2,5 : 1	2 : 1
	<i>CL, ML</i>	3 : 1	2,5 : 1
	<i>CH, MH</i>	3,5 : 1	2,5 : 1
Sim	<i>GW, GP, SW, SP</i>	Não adequado	(permeável)
	<i>GC, GM, SC, SM</i>	3 : 1	2 : 1
	<i>CL, ML,</i>	3,5 : 1	2,5 : 1
	<i>CH, MH</i>	4 : 1	2,5 : 1

BUREAU OF RECLAMATION

### Quadro 4. Inclinações máximas dos taludes de escavação.

(Baseado em ELETROBRAS, 2003, quadro da página 225)

Descrição	Talude máximo
Rocha sã - permanentemente exposta	10V:1H a 5V:1H
Rocha sã - temporariamente exposta	10V:1H a Vertical
Rocha decomposta - permanentemente exposta, submersa	1V:1H
Rocha decomposta - permanentemente exposta, não submersa	1V:1,5H
Rocha decomposta - permanentemente exposta	1V:1,5H
Capeamento - permanentemente exposto	1V:2,0H a 1V:1,50H
Capeamento - permanentemente exposto, submerso, sujeito a rebaixamento	1V:2,50H a 1V:2,0H
Capeamento - temporariamente exposto	1V:1,50H



- Para os taludes que interferem diretamente na segurança e operação da barragem (cortes em escavação de vertedouro e na casa de força, canais de adução, aproximação e restituição, etc.), os coeficientes de segurança para a condição de regime permanente (situação que não seja a de chuvas intensas nem a de rebaixamento rápido), devem ser maiores que 1,5. Para a condição de chuvas intensas, os coeficientes de segurança devem ser maiores que 1,3, sendo os mesmos requisitos aplicados no caso de existir uma subestação, aos taludes desta cuja ruptura eventual atinja os equipamentos eletromecânicos. Em casos excepcionais em que os danos decorrentes de um eventual deslizamento sejam muito elevados, caso de canais de aproximação de vertedouro, cujas rupturas comprometam a extravasão de cheias, o coeficiente de segurança mínimo para a condição de chuvas intensas deve ser superior a 1,3.
- Para os taludes de escavações e aterros de obras complementares, tais como estradas, subestações, cuja ruptura não atinja equipamentos, etc., os coeficientes de segurança para a condição de regime permanente devem ser maiores que 1,3. Para a condição de chuvas intensas os coeficientes de segurança devem ser superiores a 1,1.

## 3.8 TRATAMENTOS DE FUNDAÇÕES

### 3.8.1 Aspectos gerais

Assegurar adequadas condições de contato da estrutura com a sua fundação;

Melhorar as propriedades mecânicas do maciço de fundação, designadamente, a resistência e a deformabilidade;

Reduzir a permeabilidade do maciço e/ou homogeneizar os fluxos da água, através da fundação;

Controlar as subpressões; e

Evitar o carreamento de solos pela fundação (*piping*).

### 3.8.2 Tratamento superficial

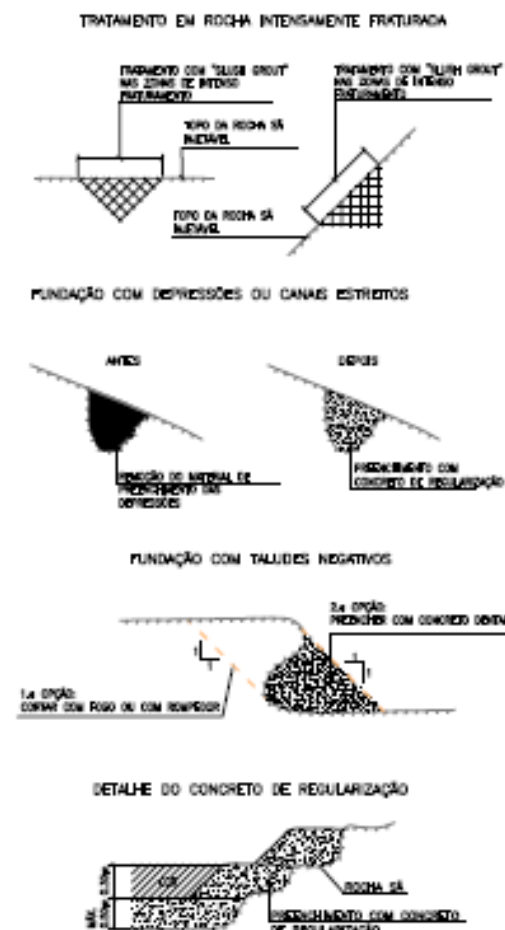
### 3.8.3 Tratamentos profundos



## 3.8.2 Tratamento superficial

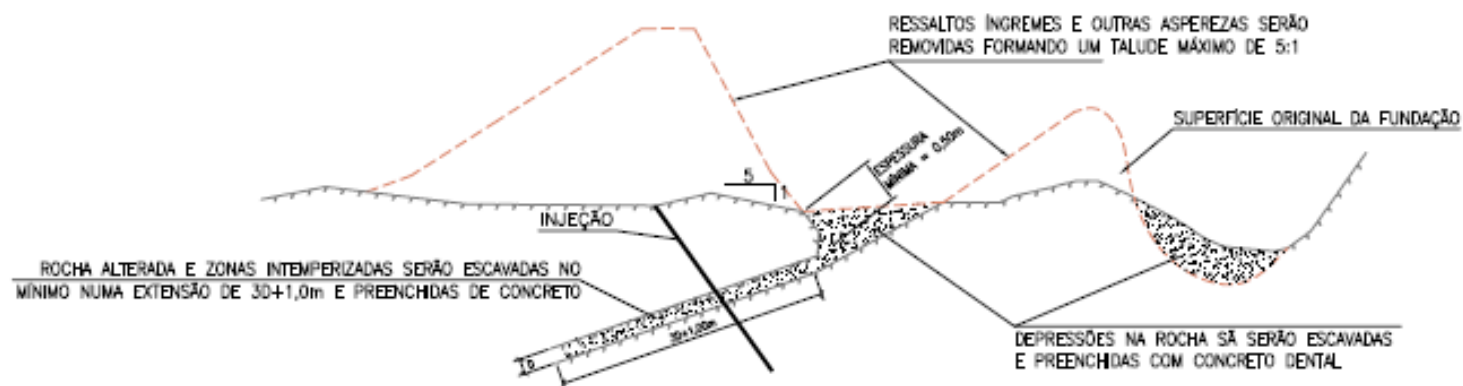
TRATAMENTOS DAS FUNDAÇÕES			
CONDIÇÕES DO MACIÇO ROCHOSO DE ABAIXO	ANTES DO TRATAMENTO	APÓS TRATAMENTO	TRATAMENTO
VERTICAIS	<p>TOPO RECUBERTO ABERTURAS</p>	<p>LAJE CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA</p>	<p>LIMPEZA (ARROS DE AR E AGUA) PREENCHIMENTO COM CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA LAJES PLANAS EVENTUAIS</p>
	<p>INCLINAÇÕES OU SUB-HORIZONTALIDADES</p>	<p>LAJES MACIÇO</p>	<p>LIMPEZA (ARROS DE AR E AGUA) PREENCHIMENTO COM CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA LAJES VERTICAIS EVENTUAIS</p>
CÂMBIAS DE INCLINAÇÕES	<p>FRAGMENTAÇÃO</p>	<p>ARGAMASSA OU CONCRETO EVENTUAL ABERTURAS</p>	<p>REMOÇÃO DA ZONA FRAGMENTADA PREENCHIMENTO COM ARGAMASSA OU CONCRETO</p>
	<p>FRAGMENTAÇÃO ASSOCIADA COM ABERTURA</p>	<p>ARGAMASSA OU CONCRETO EVENTUAL CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA</p>	<p>REMOÇÃO DA ZONA FRAGMENTADA LIMPEZA (ARROS DE AR E AGUA) PREENCHIMENTO DA DESCONTINUIDADE COM CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA PREENCHIMENTO COM ARGAMASSA OU CONCRETO MACIO</p>

TRATAMENTOS DAS FUNDAÇÕES			
CONDIÇÕES DO MACIÇO ROCHOSO DE ABAIXO	ANTES DO TRATAMENTO	APÓS TRATAMENTO	TRATAMENTO
REMOÇÃO DE CAMA DE FUNDAÇÃO INTENSAMENTE FRTURADA FRAGMENTAÇÃO E PRESENÇA DE SOLO	<p>FISSURAS</p>	<p>LAJE MACIÇO</p>	<p>QUALIFICAÇÃO COM CALDA OU ARGAMASSA FLUIDA LAJE DE CONCRETO LAJES PLANAS EVENTUAIS</p>
	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>SERVIÇO TIPO DE TRATAMENTO</p>
	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>MACIÇO</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>REMOÇÃO DE CAMA DE 30cm. QUALIFICAÇÃO COM ARGAMASSA OU CONCRETO LAJES PLANAS EVENTUAIS</p>
	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>CONCRETO</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>REMOÇÃO DE CAMA DE UMA VEZ A LARGURA DA DESCONTINUIDADE PREENCHIMENTO DA CÂMBIA COM ARGAMASSA OU CONCRETO</p>
DIFUSÃO DE 1m A 2m FRENTEAL	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>CONCRETO</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>REMOÇÃO DE CAMA DE UMA VEZ A LARGURA DA DESCONTINUIDADE PREENCHIMENTO DA CÂMBIA COM ARGAMASSA OU CONCRETO</p>
	<p>LAJE</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>CONCRETO</p> <p>ZONA DESALINHADA FISSURAS SELADAS</p>	<p>REMOÇÃO DE CAMA DE UMA VEZ A LARGURA DA DESCONTINUIDADE PREENCHIMENTO DA CÂMBIA COM ARGAMASSA OU CONCRETO</p>

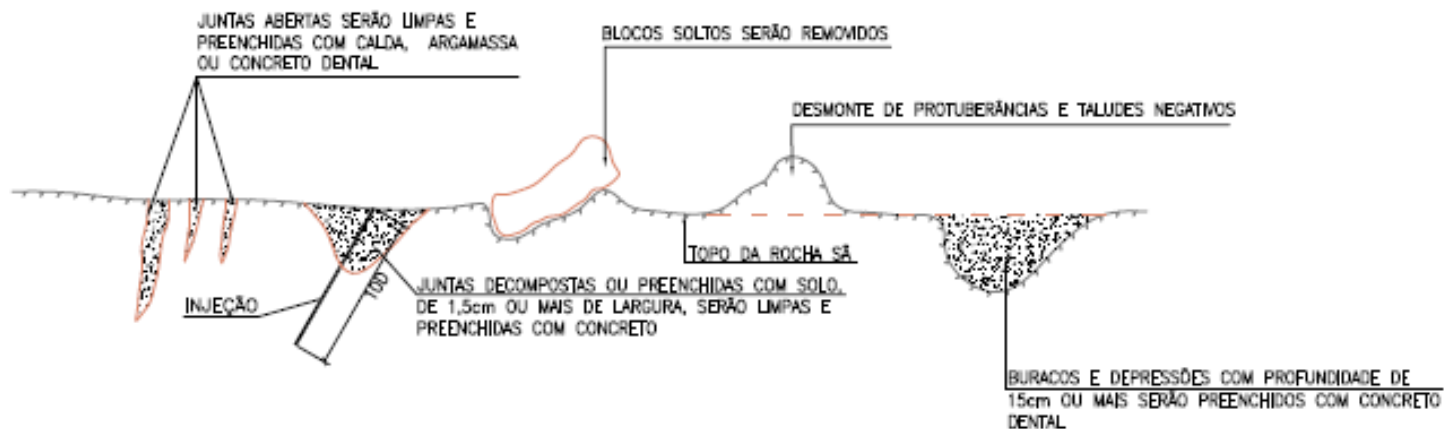


## 3.8.2 Tratamento superficial

### TRATAMENTO EM ROCHAS ALTERADAS E INTEMPERIZADAS



### FUNDAÇÃO MUITO IRREGULAR EM ROCHA





## 3.8.2 Tratamento superficial

# TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO / LIMPEZA





## 3.8.2 Tratamento superficial





### 3.8.2 Tratamento superficial





## 3.8.2 Tratamento superficial

# TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO / LIMPEZA





## 3.8.2 Tratamento superficial

# TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO / LIMPEZA





# TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO / LIMPEZA



CONCRETO DE  
REGULARIZAÇÃO  
(BERÇO)





# 3.8.2 Tratamento superficial





## 3.8.3 Tratamentos profundos

### FINALIDADES DAS INJEÇÕES COM CALDA DE CIMENTO P/A TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO DE BARRAGENS

- OBTURAR FISSURAS E DESCONTINUIDADES (INJEÇÕES DE IMPERMEABILIZAÇÃO),
- AUMENTAR A COMPACIDADE OU GRAU DE CONSOLIDAÇÃO DAS ROCHAS (INJEÇÕES DE CONSOLIDAÇÃO),
- AUMENTAR A ADERÊNCIA NA INTERFACE: BARRAGEM E FUNDAÇÃO (INJEÇÕES DE COLAGEM).

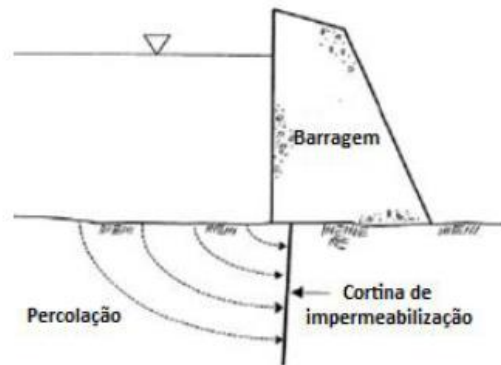


Figura 2.1 - Cortina de impermeabilização e o seu papel em diminuir o gradiente hidráulico (adaptado de Warner, 2004)

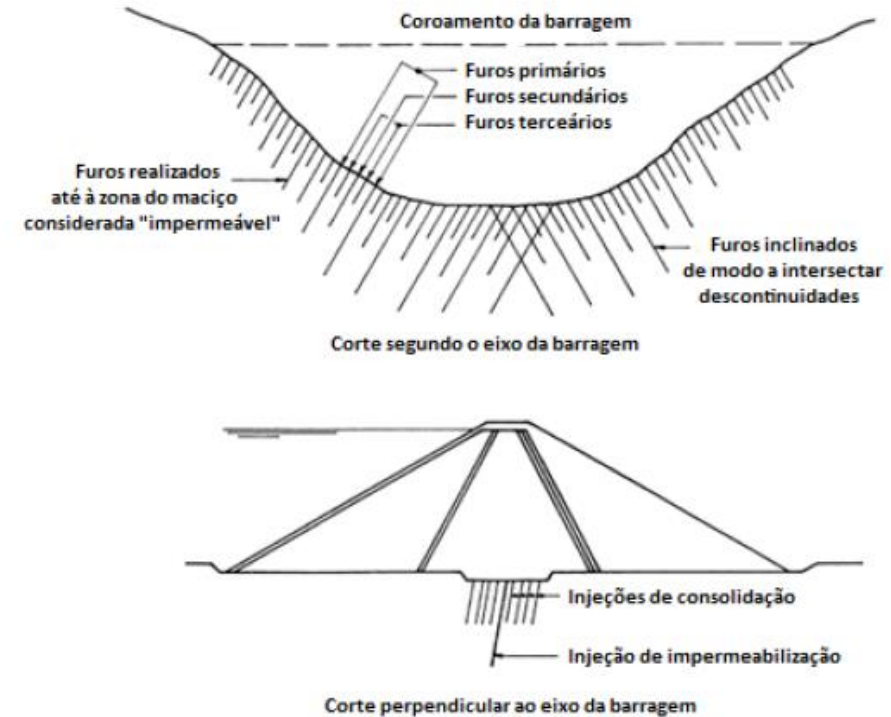


Figura 1.1 - Exemplo do tratamento por injeções de permeação na fundação de barragens de aterro em maciços rochosos (adaptado de Fell *et al.*, 2005)



### 3.8.3 Tratamentos profundos

PERFIL LONGITUDINAL - FACE DE MONTANTE DA BARRAGEM - CORTINA DE INJEÇÃO E CORTINA DE DRENAGEM

ESCALA V: 1/2000 H: 1/2000

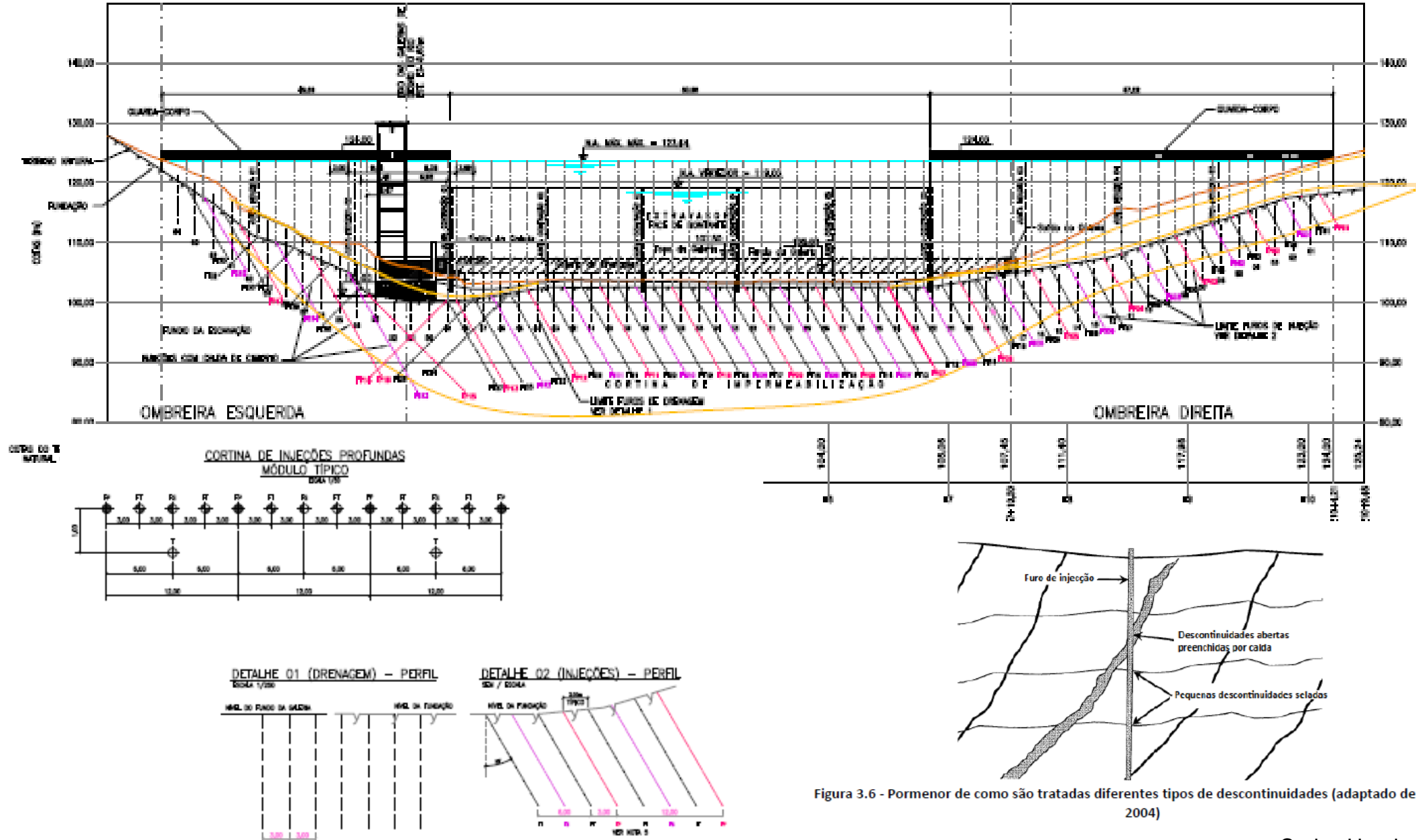


Figura 3.6 - Pormenor de como são tratadas diferentes tipos de descontinuidades (adaptado de Warner, 2004)

# 4 BARRAGENS DE ATERRO (TERRA E ENROCAMENTO)

## 4.3 ESTUDOS DOS MATERIAIS

O projeto deve incluir os estudos dos materiais e das suas condições de colocação na obra, a saber (NPB,1993):

- Definição das jazidas dos materiais com a respectiva localização, zoneamento, avaliação dos volumes disponíveis, informação sobre níveis freáticos, sazonais ou resultantes do enchimento parcial do reservatório, e condições de escavação dos solos e de desmonte dos materiais rochosos;
- Balanço de materiais, visando à sua utilização, de acordo com os locais de origem e aplicabilidade, compatível com as etapas de construção e o cronograma executivo;
- Compartimentação do maciço das pedreiras, de modo a adotar o processo de desmonte mais adequado à obtenção da granulometria desejada;
- Características físicas, propriedades fundamentais e composição mineralógica dos materiais (solos e enrocamentos), devendo ter-se presente que, em princípio, todos esses materiais são adequados para a construção de barragens de aterro, com exceção dos solos com teor inconveniente em matéria orgânica, das argilas muito sobreconsolidadas e dos solos e rochas alteráveis ao contato com o ar ou com a água, em especial os que contenham minerais solúveis;
- Determinação sobre amostras, representativas do solo das jazidas, das características de compactação (teor em umidade ótimo e peso específico aparente seco) para energias de compactação específicas previstas para a construção;



## 4.3 ESTUDOS DOS MATERIAIS

- Ensaios de laboratório sobre amostras com compacidade e teor em umidade previsíveis nas várias fases da obra, para determinação de características de cisalhamento, deformabilidade e permeabilidade;
- Tipo e modalidade de realização dos ensaios, referidos na alínea anterior, de modo a permitir uma caracterização em termos de tensões totais e efetivas e medição dos parâmetros de poropressão ou grandezas, que permitam obter informação equivalente;
- Tensões e deformações a impor nos ensaios de laboratório, de modo a representarem, na medida do possível, as trajetórias de tensão e deformação na obra;
- Previsões de aterros experimentais a executar com os materiais e os equipamentos que irão ser efetivamente usados na construção, para aprovação das características mecânicas e hidráulicas determinadas em laboratório e para estudo da compactabilidade dos materiais, eficiência de equipamentos, umidificação e rendimentos; esses aterros experimentais são em geral executados pela empreiteira no início das obras;
- Sistemas de escavação, transporte, colocação, umidificação e compactação dos materiais dos aterros;
- Investigação geotécnica de materiais para filtros, drenos e transições, caracterização da granulometria e permeabilidade e estudos sobre a alterabilidade granulométrica e mineralógica, durante o período de vida da barragem;

## 4.3 ESTUDOS DOS MATERIAIS

- Materiais para filtros, drenos e transições, obtidos por lavagem de finos, peneiramento ou britagem, quando tenha havido dificuldade em encontrar materiais naturais suscetíveis de utilização direta;
- Especificações sobre geotêxteis, que poderão ser utilizados em certos tipos de barragem em diversas funções;
- Estudos e especificações para proteção dos paramentos e da crista;
- Estudos e especificações, relativos aos concretos, aços, caldas de injeção, materiais betuminosos, materiais a utilizar em paredes diafragmas e geomembranas.



# ENSAIOS LABORATORIAIS

**Quadro 6.** Ensaios de caracterização de materiais para filtros, drenos e transições.

Tipo de ensaio	Objetivo (Norma de ensaio)
Granulometria por peneiramento	Diâmetros das diversas partículas existentes no material (ABNT NBR 7181)
Ensaio de permeabilidade	Obtenção do coeficiente de permeabilidade (podem ser realizados em permeâmetro de carga constante)
Densidade mínima	Determinação da densidade mínima, de simples derramamento de material (ABNT NBR 12004)
Densidade máxima	Determinação da densidade máxima, através utilizando a compactação vibratória (ABNT NBR 12051)
Matéria orgânica e torrões de argila	Determinação do teor em matéria orgânica (ABNT NBR 13600) e de teor de argila em torrões (ABNT NBR 7218)
Peso específico real dos grãos	Relação entre o peso e o volume de uma partícula individual de solo (ABNT NBR 6508)
Índice de forma	Média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do material, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe (ABNT NBR 7809)
Análise mineralógica	Determinação dos minerais, por exemplo, por difração de raios X

**Quadro 7.** Ensaios de caracterização de materiais de enrocamento.

Tipo de ensaio	Objetivo (Norma de ensaio)
Análise petrográfica	Análise macroscópica de amostras (ABNT NBR 12768)
Massa específica	Obtenção das massas específicas seca e saturada (ABNT NBR 12766)
Velocidade ultrassônica	Obtenção de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (ASTM 2845/00)
Ciclagem natural, ciclagem água/estufa	Verificar a velocidade dos efeitos da alteração intempérica sobre amostras de rochas, função de sua mineralogia (norma da CESP: MCA-14- Sanidade do Agregado através da ciclagem natural; ABNT NBR 12696)
Abrasão Los Angeles	Determinar qual o desgaste que o material sofre quando submetido ao método de abrasão Los Angeles (ABNT NBR 6465)
Índice de forma	Média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do material, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe (ABNT NBR 7809)
Resistência à compressão pontiforme (Point Load Test)	Obter índice de resistência pontiforme, correlacionável à resistência à compressão uniaxial (proposta de padronização, ISRM, 1985)
Resistência à compressão uniaxial	Determinar a carga de ruptura e examinar a superfície de ruptura de uma amostra de rocha sujeita a compressão uniaxial (ABNT NBR 12767)

# ENSAIOS LABORATORIAIS

**Quadro 5.** Ensaios de caracterização de solos para zonas impermeáveis.

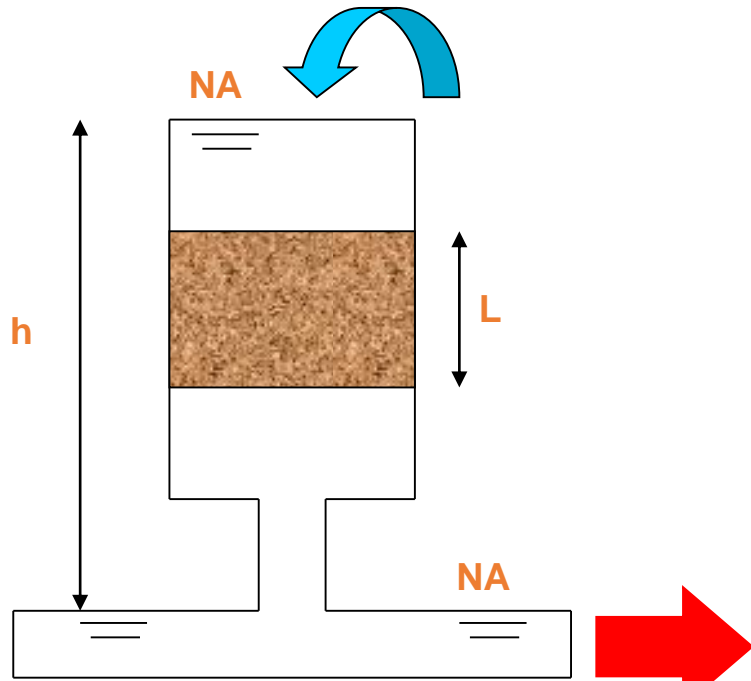
Tipo de ensaio	Objetivo (Norma de ensaio)
<b>Ensaios de caracterização</b>	
Umidade Natural	Umidade é a diferença entre o peso úmido e o peso seco do solo “in situ”, sendo o teor de umidade o quociente, expresso em percentagem, da umidade do solo pelo seu peso seco (ABNT NBR 6457)
Densidade Natural	Peso total do solo (P) dividido pelo seu volume total (V). O ensaio mais comum para determinação do peso específico natural do solo “in situ” é o método do cilindro de cravação (ABNT NBR 09813)
Granulometria por peneiramento e sedimentação	Diâmetros das diversas partículas existentes no solo (ABNT NBR 7181)
Limites de consistência	Teores em umidade para os quais a consistência do solo muda de um estado para o outro
Limite de plasticidade	Teor em umidade a partir do qual um solo passa a exibir plasticidade (ABNT NBR 7180)
Limite de liquidez	Teor em umidade acima do qual o solo perde as características de plasticidade, passando a comportar-se como um fluido viscoso (ABNT NBR 6459)
Peso específico real dos grãos	Relação entre o peso e o volume de uma partícula individual de solo (ABNT NBR 6508)
Ensaios de Compactação	Determinação da umidade ótima do solo, para uma dada energia de compactação, e do peso específico aparente seco máximo associada à umidade ótima (ABNT NBR 7182)
Ensaios de Permeabilidade	Obtenção do coeficiente de permeabilidade de uma amostra de solo (podem ser realizados em permeâmetro de carga variável, em células de adensamento edométrico ou em câmaras triaxiais, sendo estes últimos os mais fiáveis)



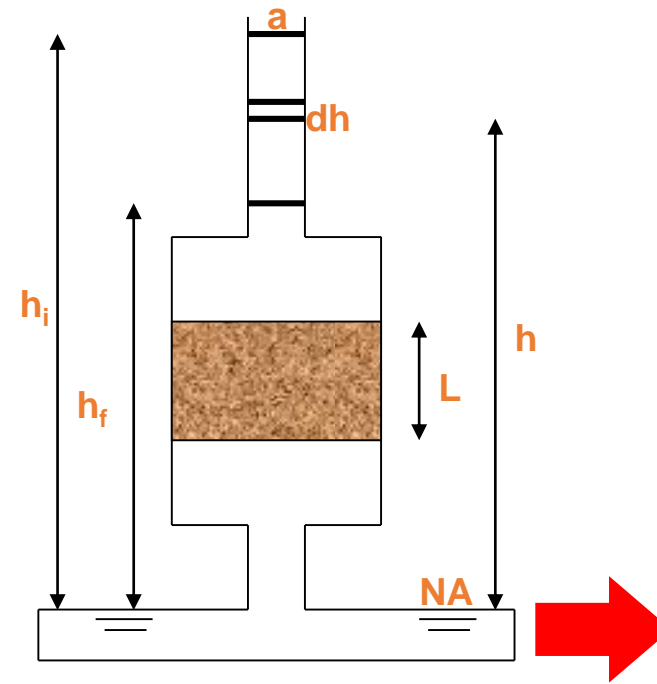
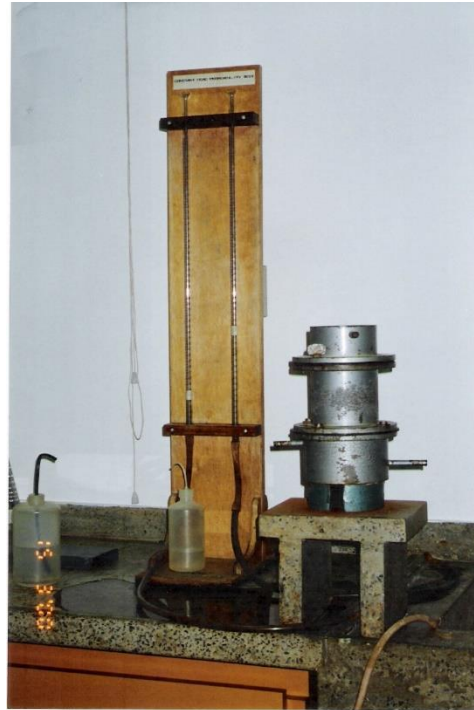
# ENSAIOS LABORATORIAIS



# ENSAIOS DE PERMEABILIDADE



CARGA  
CONSTANTE:  
SOLOS ARENOSOS /  
SILTOSOS



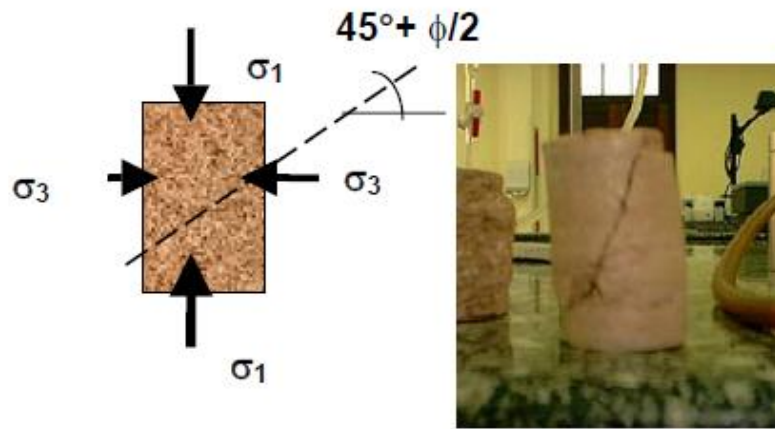
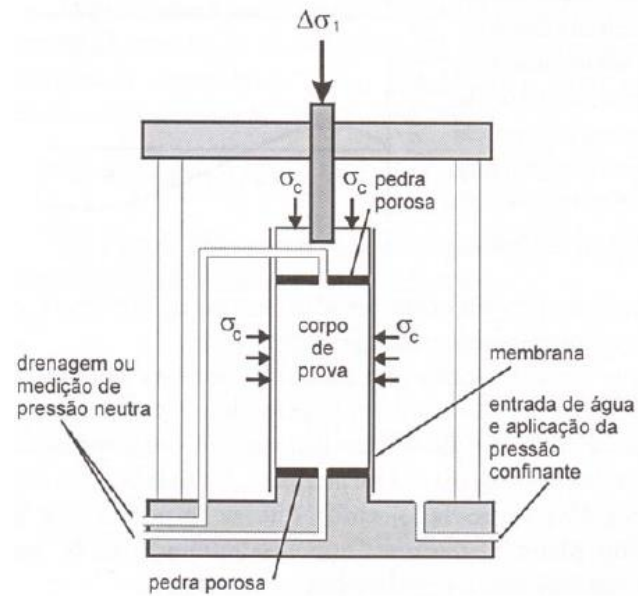
CARGA VARIÁVEL:  
SOLOS ARGILOSOS





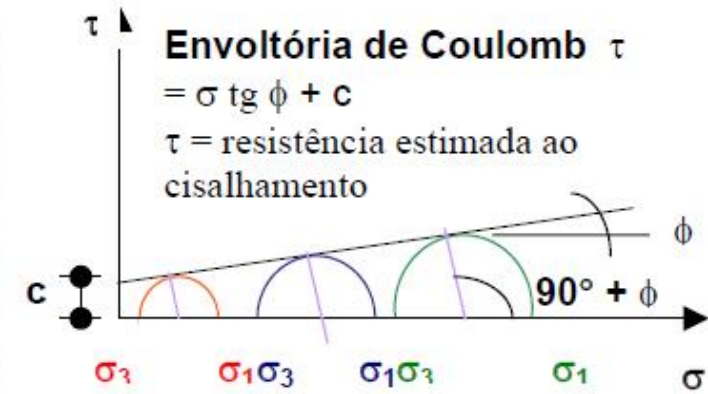
Tipo de ensaio	Objetivo (Norma de ensaio)
<b>Ensaio de resistência e deformabilidade</b>	
Cisalhamento direto	Determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo (coesão e ângulo de atrito)
Compressão triaxial	Determinar os parâmetros de resistência e de deformabilidade do solo. Dependendo das condições de drenagem, seja na fase de adensamento sob a tensão confinante, seja na fase de aplicação da tensão desviadora, o ensaio pode ser classificado como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adensado drenado (CD)</li> <li>• Adensado não drenado, com ou sem medição de poro-pressões, e saturados, ou não (CU ou CUsat)</li> <li>• Não adensado não drenado, com medição ou não de poropressões (UU)</li> </ul>
Adensamento edométrico	Visa a determinar as características de compressibilidade dos solos sob a condição de confinamento lateral (ABNT NBR 12007)
<b>Especiais</b>	
Ensaio de expansibilidade	Caracterizar o solo quanto à sua expansibilidade (ensaio de expansibilidade com determinação da pressão de expansão nula em câmara edométrica, difração de raios-X, absorção de azul de metileno, análise térmico diferencial e espectrometria infravermelha)
Ensaio de colapsibilidade	Indicado no caso de solos não saturados que possam apresentar colapso com o aumento de umidade
Ensaio de dispersividade	Caracterizar solos que sofrem erosão interna por via coloidal, ou seja, devido a um processo de dispersão que ocorre quando as forças repulsivas entre as partículas de argila excedem as atrativas, de tal forma que quando a argila fica em contato com a água, as partículas de argila destacam-se e entram em suspensão e são arrastadas (ensaio de dupla sedimentação, SCS; sais solúveis, Crumb test, Pinhole test)

# ENSAIOS TRIAXIAIS



(a)

(b)



(c)

Figura 1.4 – (a) Aplicação da tensão principal  $\sigma_1$  e da tensão de confinamento  $\sigma_3$ ; (b) corpo de prova rompido; (c) Circulos de Mohr e envoltória de Coulomb (Cernica, 1995).

Figura 1.2 – Aparelho de compressão triaxial (Souza Pinto, 2000).



Figura 46 – Detalhe do Corpo de prova



## ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO



# ENSAIOS TRIAXIAIS (ESPECIAIS)

As análises de estabilidade de barragens de terra, devem ser verificadas para as condições de:

- **Final de construção,**
- **Condição normal de operação e,**
- **Rebaixamento rápido.**

Essas análises serão inócuas se não forem utilizados parâmetros de resistência ( $c'$  e  $\phi'$ ), obtidos em ensaios de cisalhamento que simulem com a máxima fidelidade possível, as condições de solicitações previstas para o maciço.

- Ensaio **Q** (**quick**), rápido ou **UU** (**unconsolidated-undrained**), não consolidado-não drenado, nos quais não é permitida a consolidação do corpo de prova (CP) no ensaio triaxial, sob a ação da tensão de confinamento ( $\sigma_3$ ), sendo o teor de umidade do CP, mantido constante ao longo do ensaio. É utilizado em ensaios de amostras de material compactado e “impermeável”, para simular as condições de carregamento (solicitações) e condição de ruptura por cisalhamento que espera, ocorra, no final da construção do aterro.

# ENSAIOS TRIAXIAIS (ESPECIAIS)

- Os ensaios **R** (**rapid**), rápido ou **CU** (**consolidated-undrained**), consolidado drenado, são aqueles em que é permitida a consolidação do CP sob a ação de  $\sigma_3$ , mantendo o seu teor de umidade constante. A diferença entre o ensaio R e o CU é que no CU, é medida a pressão neutra ( $u$ ) durante todo o ensaio. Os testes se aplicam para condição em que o material semi-impermeável ou “impermeável” do aterro, seja consolidado completamente, e rompido sem que as pressões neutras ( $u$ ) se dissipem.

- Os ensaio **S** (**slow**), lento ou **CD** (**consolidated-drained**), consolidado-drenado, permitem a consolidação da amostra (CP) sob a ação das tensões iniciais ou de confinamento ( $\sigma_3$ ) e para cada incremento da tensão vertical ( $\sigma_1$ ) ou *deviatórica* ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) durante o ensaio, até a ruptura.



# FATORES DE SEGURANÇA P/ TIPO DE SOLICITAÇÃO COM BASE NOS ENSAIOS TRIAXIAIS (ESPECIAIS)

TIPO DE SOLICITAÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA MÍNIMO FS <sub>mín</sub>	ENSAIO TRIAXIAL RECOMENDADO	OBSERVAÇÃO
Final de Construção	1,3	Q ou S	Taludes de Montante e Jusante
Rebaixamento Rápido a partir do NA máx normal	1,0	R ou S	Talude de Montante (usar envoltória composta)
Reservatório parcialmente cheio com fluxo permanente	1,5	(R+S)/2 para R<S e S para R>S	Talude de Montante (usar envoltória intermediária)
Reservatório cheio com fluxo permanente	1,5	(R+S)/2 para R<S e S para R>S	Talude de Montante (usar envoltória intermediária)
Sísmos	1,0	-	Taludes de Montante e Jusante

Fonte: U.S. Corps of Engineers

## 4.4 FUNDAÇÕES

Nas fundações em maciços rochosos, os principais aspectos a se ter em consideração são (NPB, 1993):

- Estudo da percolação, para o que se torna necessário caracterizar a permeabilidade dos maciços e as condições de fronteira;
- Estudo da resistência ao cisalhamento e da deformabilidade, nos casos de terrenos de muito fraca qualidade, fundações de galerias ligadas a órgãos de vedação no paramento de montante e estudos de estabilidade dos encontros, durante a fase de construção;
- Ações resultantes da percolação, tendo em conta as cortinas de injeção;
- Consideração de cortinas de drenagem, dispositivos que só são normalmente

utilizados, quando associados às fundações dos órgãos extravasores e de adução em maciços rochosos;

Se o aterro se apoiar diretamente sobre a fundação rochosa, o contato deve ser objeto de tratamento para evitar fenômenos de erosão interna provocados por percolações, através das descontinuidades do maciço rochoso, devendo-se prever, no caso de fundações de vedações (núcleos), a regularização da superfície da rocha e o preenchimento de descontinuidades, e, nas fundações de um espaldar, a necessidade de recorrer a filtros, drenos e transições;



## 4.4 FUNDAÇÕES

- Se entre o aterro e o maciço rochoso ocorrer solo ou rocha branda muito alterada e fraturada, a fundação deve ser submetida apenas a tratamentos muito localizados e relacionados com eventuais órgãos de vedação, que atravessem a fundação de má qualidade, tais como diafragmas e cortinas de injeções.

No caso de fundações em solos, os principais aspectos a considerar são (NPB, 1993):

- Um adequado conhecimento da permeabilidade, importante para estimar as vazões, através do maciço de fundação e que pode revelar-se decisivo na escolha do sistema a adotar para dominar esses fluxos, incluindo na fase de construção, por razões de eficiência e de economia;
- Nos solos arenosos, raramente a permeabilidade pode ser medida em laboratório, dada a extrema dificuldade em colher amostras indeformadas, devendo-se, por isso, realizar ensaios “*in situ*”, interessando volumes representativos do maciço;

## 4.4 FUNDAÇÕES

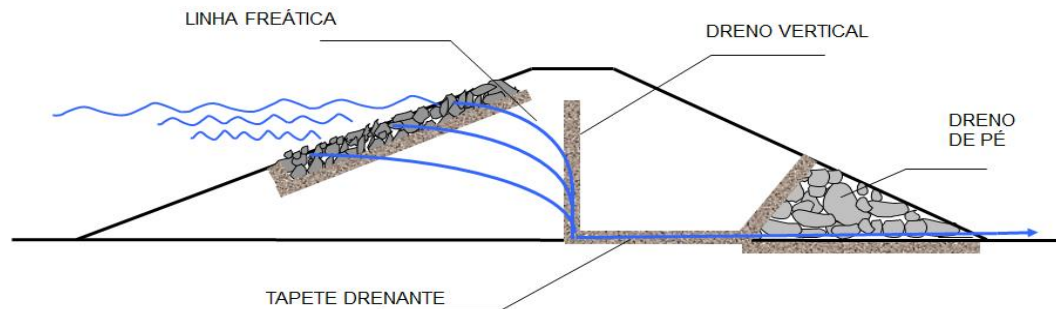
- Nos maciços com permeabilidade elevada, o domínio total ou parcial dos fluxos percolados e dos gradientes hidráulicos pode efetuar-se, recorrendo a tapetes impermeáveis, trincheiras de vedação, paredes diafragma, filtros e poços de alívio;
- Os maciços de solos drenantes podem ser suscetíveis de liquefação, devido a ações sísmicas ou sofrer colapso por alterações da sua estrutura;
- Nos maciços em solos relativamente impermeáveis, deve-se considerar os efeitos dos gradientes hidráulicos e das deformações e assegurar a estabilidade mecânica;
- A caracterização dos maciços referidos na alínea anterior pode ser efetuada em laboratório ou “*in situ*”;
- Nas fundações em solos, os efeitos prejudiciais dos gradientes hidráulicos são normalmente evitados por sistemas de filtros e drenos;
- O controle dos efeitos das deformações e a obtenção de adequada resistência mecânica podem ser conseguidos por conveniente definição geométrica da barragem e melhoria das propriedades mecânicas dos solos (vibroflutuação, compactação dinâmica, saturação prévia, pré-carregamento e drenagem).



## 4.5.2 Análises de percolação

### Modelo hidrogeotécnico

#### Dimensionamento de sistemas de filtros, drenos e transições



O controle dos fluxos de percolação nas barragens de terra de seção homogênea ou as barragens com núcleo vedante (sejam os espaldares em terra ou enrocamento) é feito pelo sistema de filtros, drenos e transições. No seu dimensionamento, poderão ser utilizados, a princípio, os critérios convencionais de transição granulométrica dos materiais adjacentes, a apresentados no **Quadro 8**, onde “d” é o diâmetro das partículas dos materiais a serem protegidos (base) e “D” é o diâmetro das partículas dos materiais de filtro. Na definição de faixas, pode-se considerar para “d” o valor médio da faixa e “D” o limite superior da faixa.

**Quadro 8.** Critérios para os filtros. (Fonte: ICOLD, 1994; USDA SCS, 1986; USBR, 1987; USACE, 1994)

Categoria do solo de base	Descrição do solo de base e % de material passado na Peneira Nº 200 (0,074mm) (nota 1)	Critério de filtro (nota 2)
1	Argilas e siltes finos; mais de 85%	$D_{15} \leq 9d_{85}$ (nota 3)
2	Areias, siltes, argilas e areias argilosas e siltosas; 40 a 85%	$D_{15} \leq 0,7 \text{ mm}$
3	Areias siltosas e argilosas; 15 a 39%	$D_{15} \leq 0,7 \text{ mm}$ (notas 4 e 5)
4	Areias e cascalhos; menos de 15%	$D_{15} \leq 4d_{85}$ (nota 6)

# MODELAGEM COMPUTACIONAL

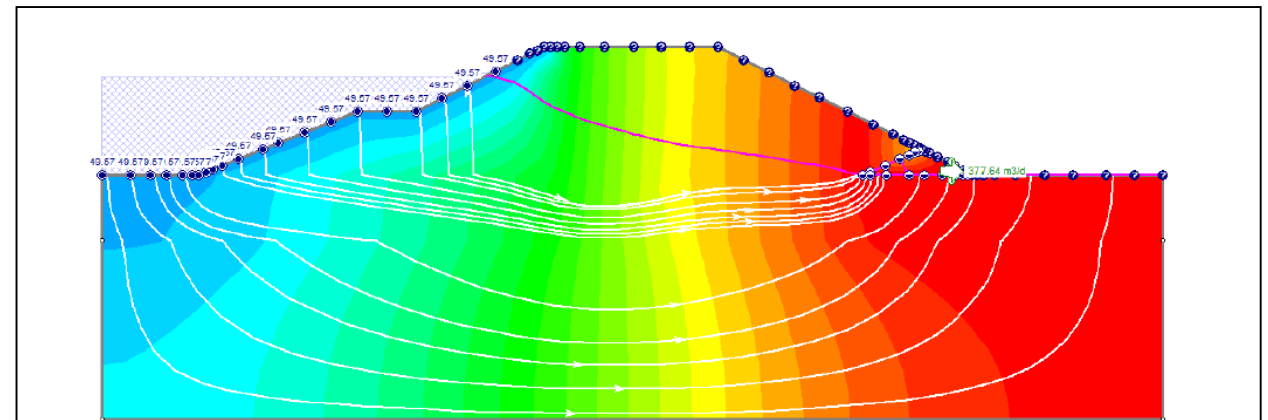
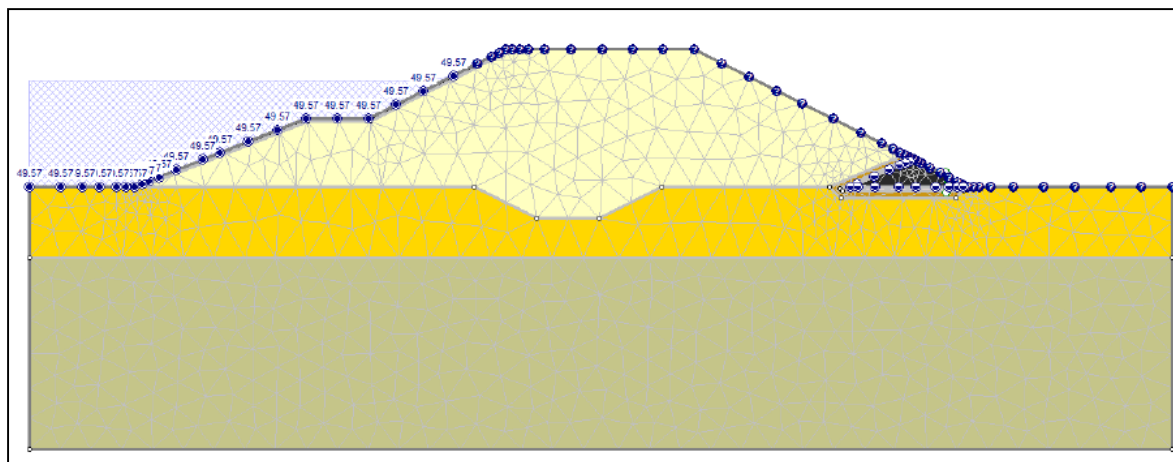
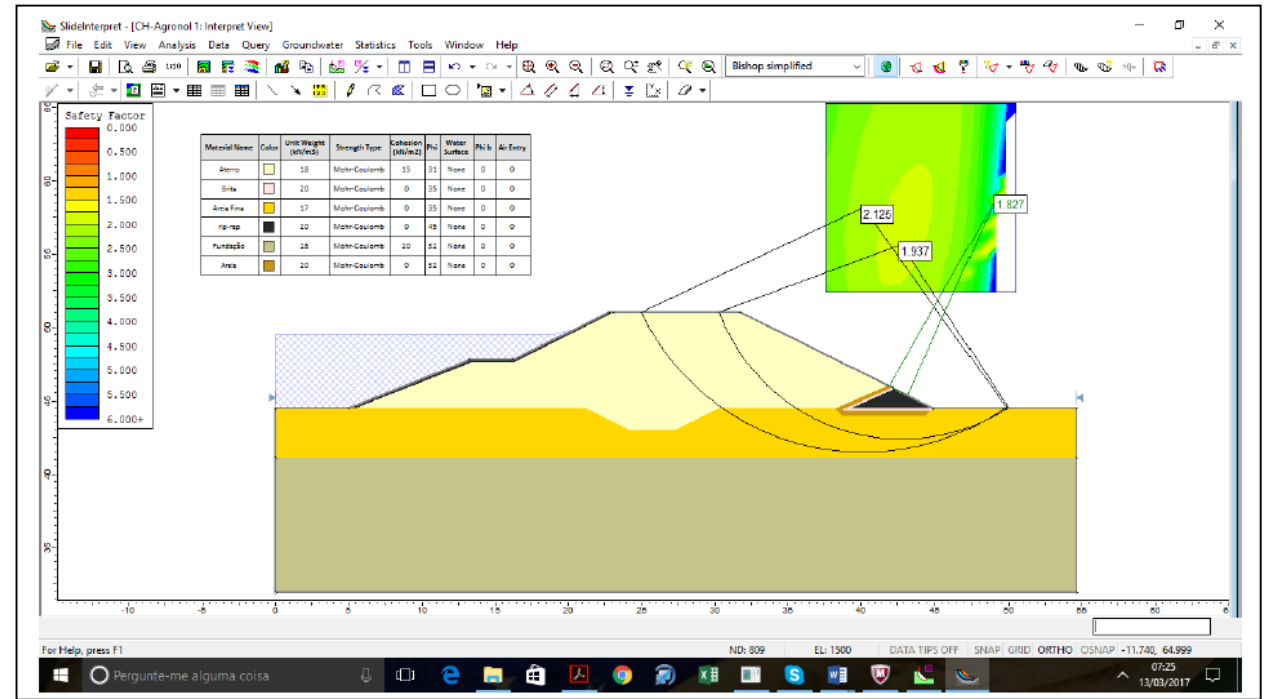
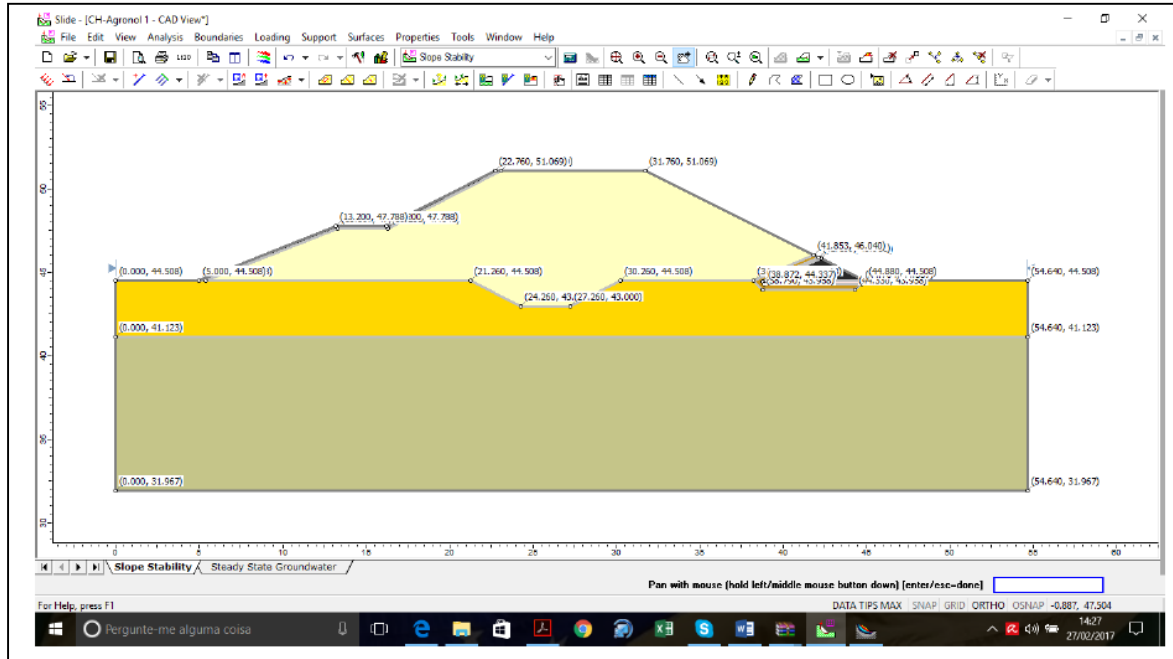


FIGURA 18 - Traçado das linhas de fluxo e delimitação da “linha freática”, utilizando o software SLIDE 6.0. Observa-se a diferença entre a “linha freática” delimitada no relatório da consultoria anterior e, principalmente, a condição geométrica diferente, com a “trincheira de vedação” ou “cut-off”, posicionada muito abaixo da linha de base do aterro (vide seta, indicada na FIGURA 15).



# CRITÉRIOS DE FILTRO

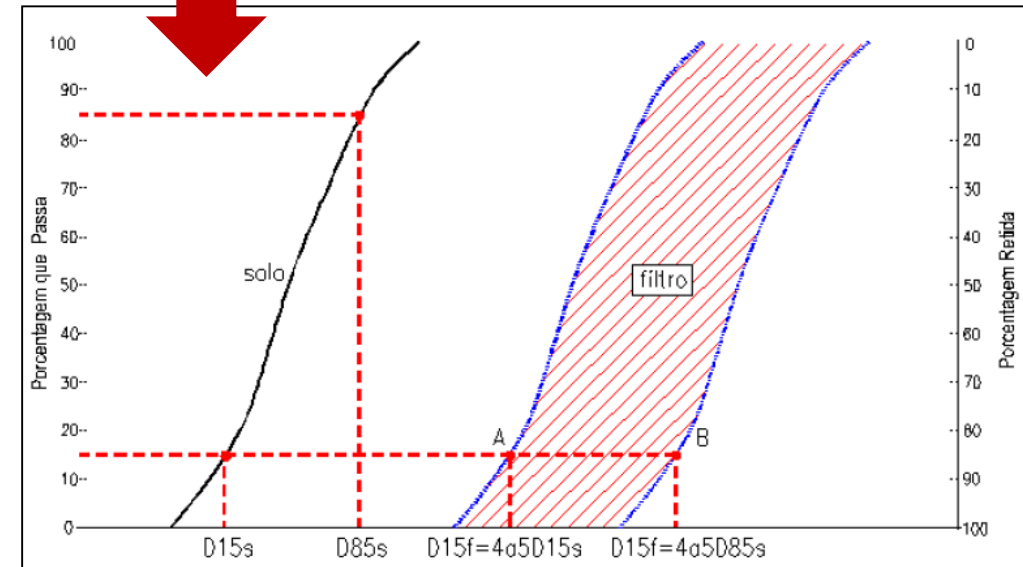
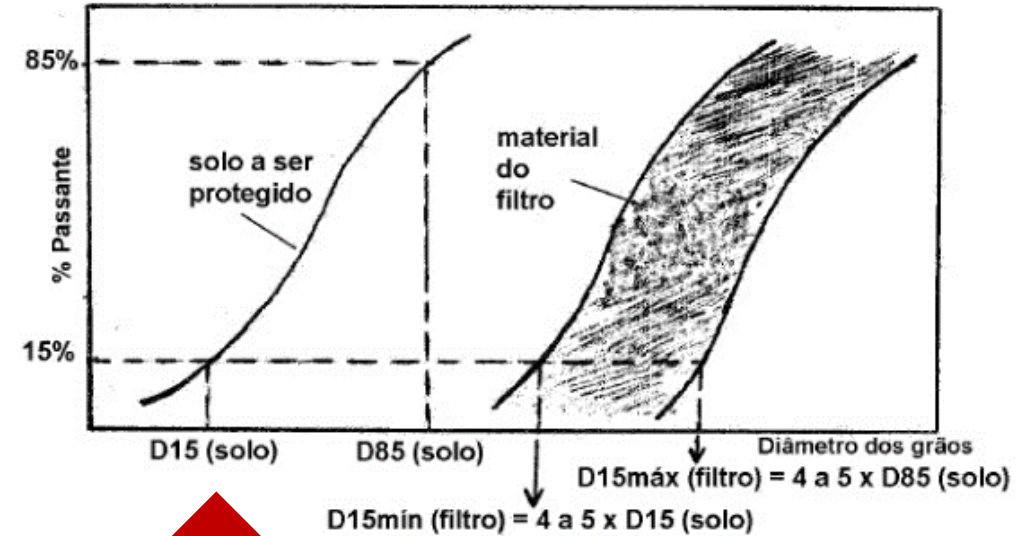
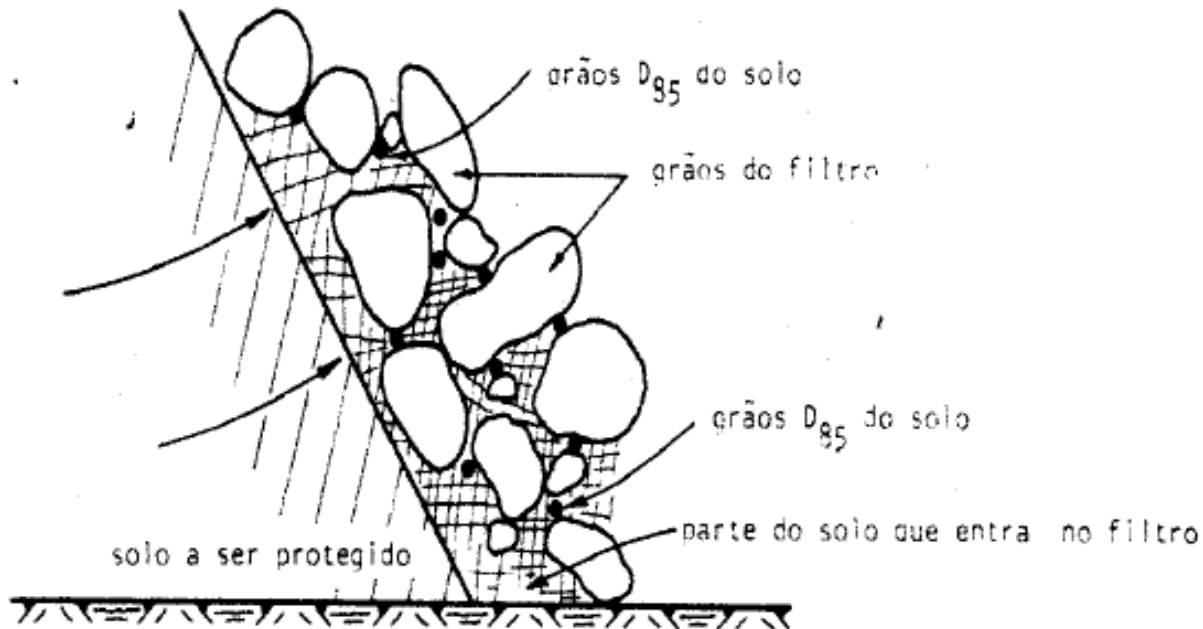
- a) Deve ser suficientemente fino para evitar a passagem das partículas do solo adjacente pelos seus vazios e
- b) Deve ser suficientemente grosso de modo a reduzir a perda de carga.

Terzaghi propôs **critérios para projetos de filtro** ainda hoje muito aceitos:

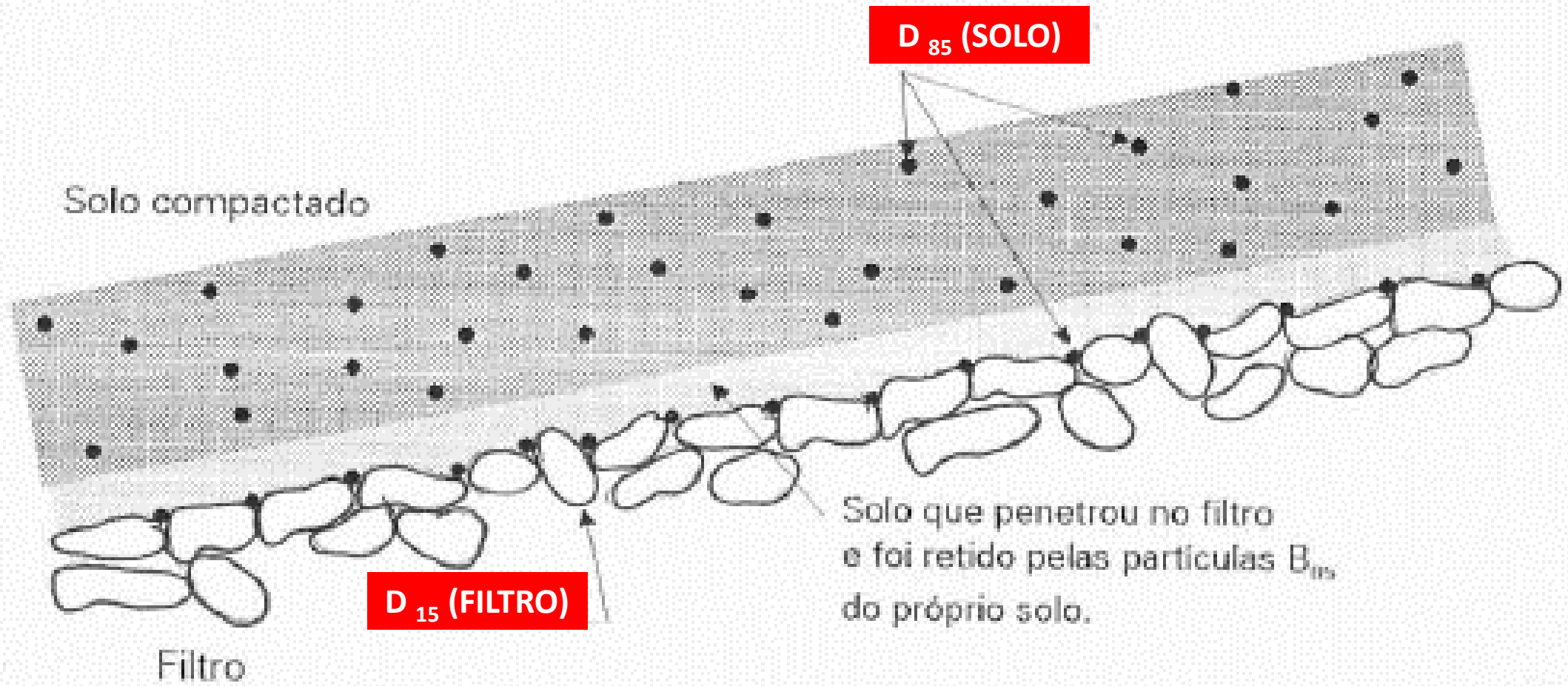
- 1.  $D_{15}(\text{filtro}) < 4 \text{ a } 5 \times D_{85}(\text{solo})$  → para evitar a erosão interna
- 2.  $D_{15}(\text{filtro}) > 4 \text{ a } 5 \times D_{15}(\text{solo})$  → para garantir menor perda de carga

Outra recomendação devido ao U.S. Corps of Engineers para garantir redução de perda de carga:

$$D_{50}(\text{filtro}) > 25 \times D_{50}(\text{solo})$$



O mecanismo de funcionamento do filtro está representado na figura abaixo





# CRITÉRIOS DE FILTRO

## ETAPAS UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS FILTROS EM BARRAGENS DE TERRA

1. CÁLCULO DA DESCARGA DE ÁGUA PERCOLADA ATRAVÉS DO CORPO DA BARRAGEM E/OU FUNDAÇÃO,
2. DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES E TIPO DO FILTRO,
3. CÁLCULO DA ESPESSURA DO FILTRO,
4. CÁLCULO DA GRANULOMETRIA DO FILTRO

### 4.1 CRITÉRIO DE TERZAGHI,

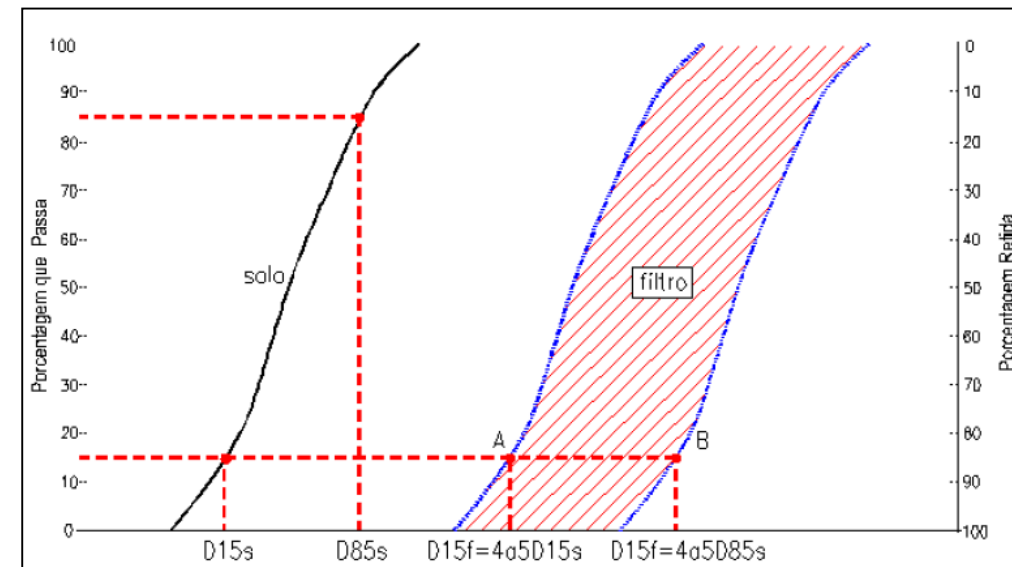
$$D_{15} \text{ filtro} < 4 \text{ a } 5 D_{85} \text{ solo}$$

$$D_{15} \text{ filtro} > 5 D_{15} \text{ solo}$$

### 4.2 CRITÉRIO DO U.S. CORPS OF ENGINEERS (EEUU), ETC.

$$D_{50} \text{ filtro} \leq 25 D_{50} \text{ solo}$$

$$D_{15} \text{ filtro} < 20 D_{15} \text{ solo}$$



### NOTAS:

#### CRITÉRIOS BÁSICOS P/A PROTEÇÃO CONTRA RISCO DE PIPING:

OS VAZIOS DO FILTRO EM CONTATO COM O SOLO, DEVEM SER SUFICIENTEMENTE PEQUENOS PARA EVITAR QUE AS PARTÍCULAS DO SOLO SEJAM CARREADAS ATRAVÉS DO FILTRO.

#### CRITÉRIOS BÁSICOS P/A GARANTIA DA PERMEABILIDADE:

OS VAZIOS DO FILTRO EM CONTATO COM O SOLO A SER PROTEGIDO, DEVEM SER SUFICIENTEMENTE GRANDES PARA QUE A PERMEABILIDADE DO FILTRO SEJA MAIOR QUE A DO MATERIAL A SER PROTEGIDO A FIM DE PERMITIR O LIVRE ESCOAMENTO DAS ÁGUAS DE PERCOLAÇÃO.

A % QUE PASSA NA # No. 200  $\leq$  5 %

Local	Condição	Consequência possível	Tipo de filtro necessário
Corpo	Núcleo impermeável composto por materiais não plásticos	Erosão das partículas e sua quebra	Filtro chaminé, tapete drenante e dreno de pé
Corpo e ou fundação	Composto por argilas dispersivas	Erosão das partículas	Filtro chaminé, tapete drenante e dreno pé
Fundação sem corte	Composto por materiais erosíveis	Erosão das partículas	Tapete drenante e dreno de pé
Corpo e/ou fundação	Potencial de assentamento diferencial no núcleo impermeável	Rotura vertical do núcleo impermeável	Filtro chaminé, tapete drenante e dreno de pé
Corpo	Fatura hidráulica do núcleo impermeável	Rotura horizontal do núcleo impermeável	Tapete drenante e dreno de pé
Fundação	Pressão	Erosão das partículas e rebentamento do pé	Tapete drenante e dreno de pé
Corpo	Penetração na estrutura	Rotura e erosão das partículas	Diafragma da conduta de drenagem
Fundação	Materiais permeáveis	Erosão das partículas	Tapete drenante e dreno de pé
Fundação	Material angular ou rocha esmagada	Erosão das partículas	Tapete drenante e dreno de pé
Corpo e/ou fundação	Cargas sistemáticas em zonas de possível rotura	Rotura	Filtro chaminé, tapete drenante e dreno de pé
Fundação	Zonas de tração perto da superfície de fundo	Rotura	Filtro chaminé, tapete drenante e dreno de pé
Corpo	Fundada em materiais permeáveis da fundação	Erosão das partículas	Filtro invertido

Tabela 2.2: Condições, consequências e tipo de filtro necessário, baseado em (FEMA, 2011)



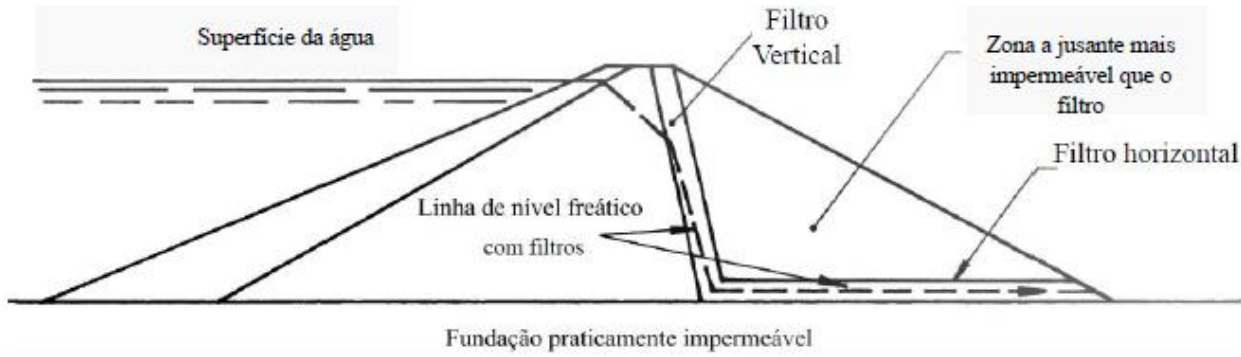


Figura 2.4: Nível freático numa barragem de aterro com permeabilidade adequada (Fell et al., 2005)

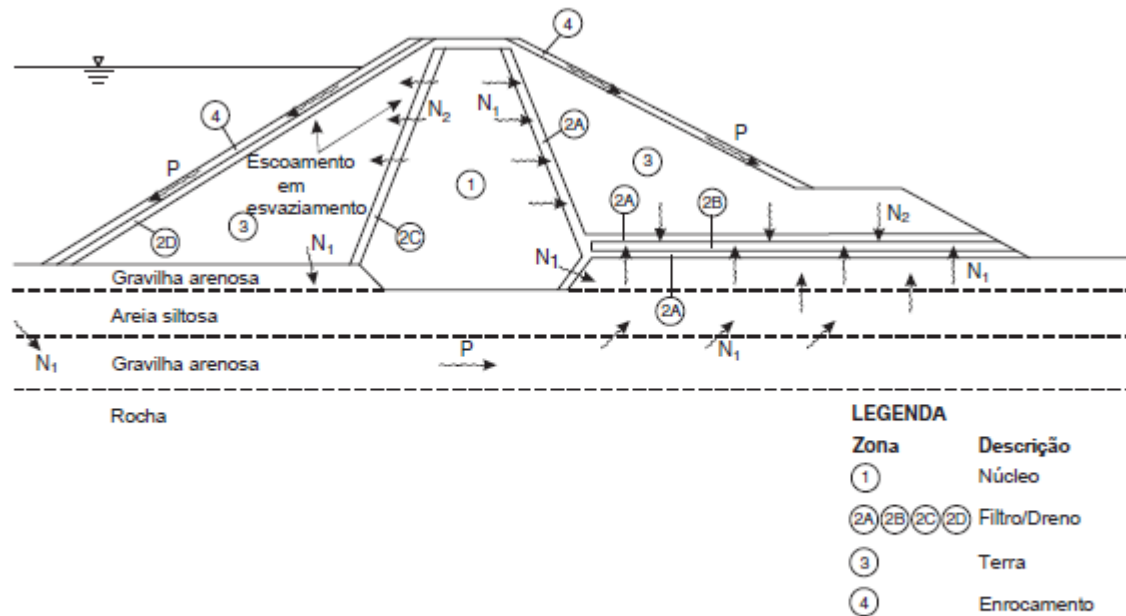
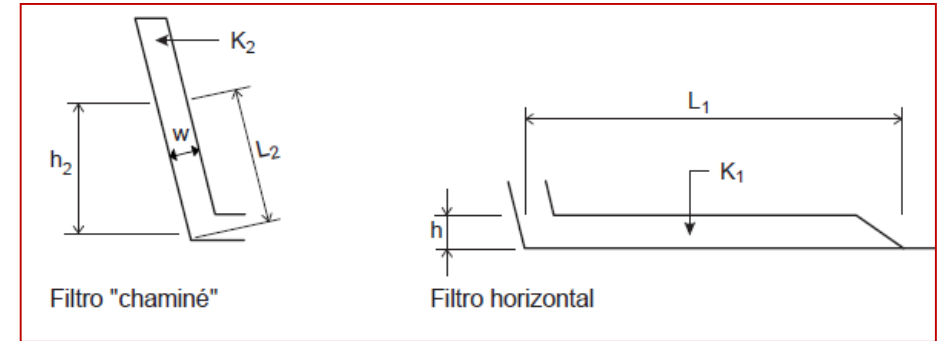


Figura 2.6: Mecanismos usuais de percolação através de uma barragem de aterro (Fell et al., 2005)



- Filtro horizontal

$$q_1 = \frac{k_1 h^2}{2L_1}$$

$k_1$  representa a permeabilidade do material  $-(m/s)$ ;

$h$  espessura vertical do filtro  $-(m)$ ;

$L_1$  comprimento do filtro  $-(m)$ ;

$q$  descarga por metro de espessura  $-(m^3/m/sec)$ .

- Filtro chaminé

$$q_2 = \frac{k_2 h_2 w}{L_2}$$

$k_2$  permeabilidade do filtro vertical  $-(m/s)$ ;

$w$  largura do filtro  $-(m)$ ;

$L_2$  comprimento diagonal do filtro  $-(m)$ .







Por razões construtivas, devem ser considerados os seguintes valores mínimos para a espessura dos dispositivos de drenagem (ELETROBRAS, 2003):

- Filtro vertical ou inclinado: 0,60m
- Filtro sub-horizontal: espessura de 0,25m
- Trincheira drenante de fundação: largura 0,60m
- Poços de alívio: diâmetro mínimo de 0,10m
- Transições a jusante de núcleo: largura de 0,60m
- Drenos de pé: largura de 0,40m





# EXECUÇÃO DE FILTRO E DRENO / TRANSIÇÕES





## 4.5.5 Aspectos relativos à crista da barragem e aos taludes de montante e de jusante

### Crista da barragem

A largura da crista, em geral, não inferior a 3 m, deve ser justificada, em função da altura e importância da obra, do risco sísmico do local, da natureza dos materiais a empregar, da configuração da linha de saturação com o reservatório cheio, das condições de construção e das exigências de circulação viária prevista. De um modo geral (com exceção de barragens de pequeno porte), situa-se entre 6 e 10m.

Podem também utilizar-se fórmulas empíricas, como a de Preece, no dimensionamento da largura da crista:

$$L = 1,1\sqrt{H} + 1$$

onde H é a altura máxima da barragem, em metros.

## 1.5.4 Barragem - Ações de projeto e condições de carregamento

As principais ações a considerar no projeto de barragens (barragem de aterro, barragem de concreto, estruturas de concreto dos órgãos extravasores, dos órgãos de operação ou da casa de força), estabelecidas de acordo com as normas brasileiras da ABNT, como referido no item 1.4, são as seguintes (ELETROBRAS, 2003):



As principais ações a considerar no projeto de barragens (barragem de aterro, barragem de concreto, estruturas de concreto dos órgãos extravasores, dos órgãos de operação ou da casa de força), estabelecidas de acordo com as normas brasileiras da ABNT, como referido no item 1.4, são as seguintes (ELETROBRAS, 2003):

- Ações permanentes

- Peso próprio
- Cargas diversas

---

- Cargas acidentais

- Sobrecargas
- Cargas devidas à presença de equipamentos eletromecânicos
- Cargas devidas à operação de equipamentos de construção e ações temporárias dos equipamentos durante a operação

---

- Pressões hidrostáticas

---

- Pressões hidrodinâmicas

- Devido a esforços hidráulicos

- Devido a ações sísmicas

---

- Pressões Intersticiais

- Análises com traçado de redes de fluxo
- Análises simplificadas, de acordo com diretrizes gerais como:
  - Subpressões no contato das estruturas de concreto com a fundação
  - Subpressões em seções de concreto
  - Subpressões em planos inferiores ao contato concreto/fundação

---

- Pressão dos sedimentos transportados

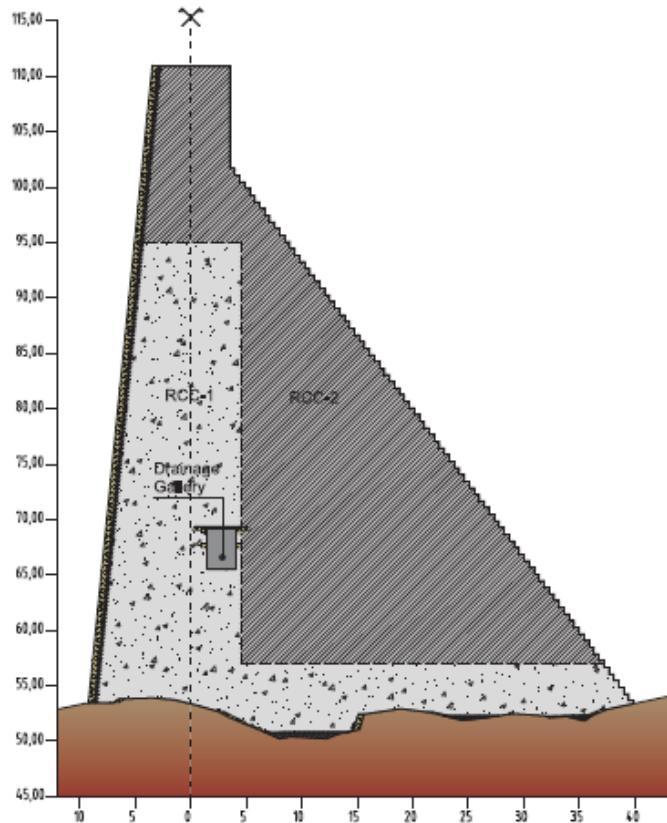
---

- Empuxo de terraplenos

---

- Ações devidas ao vento

- 
- Dilatação, retração e deformação lenta de estruturas de concreto



### ***Cargas primárias:***

- Peso Próprio,
- Pressão de água a montante e jusante,
- Forças de percolação e subpressão.

### ***Cargas secundárias:***

- Empuxo e pressões devido ao acúmulo de sedimentos, no paramento de montante (assoreamento),
- Pressão devido ao acúmulo de gelo,
- Forças devido a ação do vento,
- Pressão devido as ondas geradas no reservatório,
- Forças de reação da fundação.
- Tensões de origem térmica (internas)

### ***Cargas excepcionais:***

- Forças sísmicas (terremotos e sísmos induzidos)



## 5.5.2 Análise de estabilidade global

As situações de projeto consideradas para as análises de estabilidade devem ser definidas, tendo em consideração:

- as conformações topográficas do local, principalmente na região das ombreiras;
- os resultados das investigações geológicas e geomecânicas;
- as tensões de confinamento pré-existente e as pressões de água do subsolo, nas análises de estabilidade envolvendo maciços rochosos;
- as subpressões, no corpo das estruturas, as pressões intersticiais, caso representem a condição mais severa;
- as cargas acidentais de projeto (exceto cargas de equipamento permanente) não devem ser consideradas, sempre que as forças verticais atuarem como fatores de estabilidade.

### Segurança ao deslizamento

Considera-se que a segurança ao deslizamento está verificada se

$$FSD = \frac{\sum N_i \tan(\phi_i)}{FSD\phi} + \frac{\sum C_i A_i}{FSDc} \geq 1,0$$

Nesta expressão, representa-se por: FSD – o coeficiente de segurança ao deslizamento; por  $FSD\phi$  – o fator de redução da resistência ao atrito; por  $FSDc$  – o fator de redução da resistência à coesão; por  $\sum T_i$  e  $\sum N_i$  – o somatório das forças tangenciais normais nos diferentes trechos da superfície de deslizamento; por  $C_i$  e  $\phi_i$  – os valores característicos da coesão e do ângulo de atrito em cada trecho da superfície de deslizamento, em análise; e por  $A_i$  – a área efetiva comprimida de cada trecho da superfície em análise.

## Segurança ao Tombamento

O coeficiente de segurança ao tombamento, em qualquer direção, é definido como a relação entre o momento estabilizante e o momento de tombamento, em relação a um ponto ou uma linha efetiva de rotação,

$$FST = \Sigma Me / \Sigma Mt$$

Nesta expressão, representa-se por: FST – o coeficiente de segurança ao tombamento;  $\Sigma Me$  – o somatório dos momentos estabilizantes sobre a estrutura, devido ao peso próprio da estrutura e às cargas permanentes mínimas, bem como ao peso próprio dos equipamentos permanentes, se instalados;  $\Sigma Mt$  – o somatório dos momentos de tombamento, devido à atuação de cargas desestabilizantes, tais como a pressão hidrostática, a subpressão, os empuxos de terra e as forças devido aos sismos.

## Coeficientes de segurança – valores mínimos admissíveis

Para a segurança ao deslizamento, os fatores de redução do coeficiente de atrito (tangente do ângulo de atrito) e da coesão (FSD $\phi$  e FSDc), para as situações de carregamento normal (CCN), excepcional (CCE), limite (CCL) e de construção (CCC), são indicados no **Quadro 12**.

### Quadro 12. Fatores de redução das resistências de atrito e coesão.

(Fonte: ELETROBRAS, 2003, Quadro 7.4)

Fatores de redução	Casos de carregamento			
	CCN	CCE	CCL	CCC
FSDc	3,0 (4,0)	1,5 (2,0)	1,3 (2,0)	2,0 (2,5)
FSD $\phi$	1,5 (2,0)	1,1 (1,3)	1,1 (1,3)	1,3 (1,5)



## Segurança à flutuação

O coeficiente de segurança à flutuação é definido como a relação entre o somatório das forças gravitacionais e o somatório das forças de subpressão,

$$FSF = \Sigma V / \Sigma U$$

Nesta expressão, representa-se por: FSF – coeficiente de segurança à flutuação;  $\Sigma V$  – somatório das forças gravitacionais; e  $\Sigma U$  – somatório das forças de subpressão.

### Quadro 13. Coeficientes de segurança ao tombamento e à flutuação.

(Fonte: ELETROBRAS, 2003, Quadro 7.5)

Coeficientes de segurança	Casos de carregamento			
	CCN	CCE	CCL	CCC
Flutuação - FSF	1,3	1,1	1,1	1,2
Tombamento - FST	1,5	1,2	1,1	1,3

## Tensões admissíveis nas fundações

A tensão normal máxima admissível na fundação ( $\sigma$ ) não deve ultrapassar a capacidade de carga da fundação ( $R_f$ ) minorada por um coeficiente de segurança  $\lambda$ .

$$\sigma_f \leq \frac{R_f}{\lambda}$$

### Quadro 15. Coeficientes de segurança recomendados nas fundações.

(Fonte: ELETROBRAS, 2003, Quadro 7.3)

Caso de carregamento	Coeficiente de segurança
CCN	3,0 (4,0)
CCC	2,0 (3,0)
CCE	1,5 (2,0)
CCL	1,3 (1,5)



# CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO A ADOTAR NOS ESTUDOS DE ESTABILIDADE GLOBAL E DE AVALIAÇÃO DOS ESFORÇOS INTERNOS (TENSÕES) PARA AS ESTRUTURAS CIVIS DOS APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (ELETROBRÁS, 2003).

- Condição de Carregamento Normal (CCN)

Corresponde às combinações de ações, com grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, que ocorrem durante a operação normal ou a manutenção de rotina da obra, em condições hidrológicas normais.

- Condição de Carregamento Excepcional (CCE)

Corresponde a uma combinação de ações, com baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, em geral, considerando a ocorrência de uma ação excepcional (condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos, etc.) e as ações correspondentes à condição de carregamento normal.

- Condição de Carregamento Limite (CCL)

Corresponde a uma combinação de ações, com muito baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, considerando a ocorrência de mais de uma ação excepcional (condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos, etc.) e as ações correspondentes à condição de carregamento normal.

- Condição de Carregamento de Construção (CCC)

Corresponde a todas as combinações de ações que podem ocorrer durante a execução da obra (em períodos curtos em relação à sua vida útil), devido a carregamentos de equipamentos de construção, a estruturas executadas apenas parcialmente, carregamentos anormais durante o transporte de equipamentos permanentes, e quaisquer outras condições semelhantes.

### 3.1.2 Características dos Materiais

#### CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)

Peso específico ( $\gamma_c$ ) = 23,5 kN/m<sup>3</sup>

Resistência característica à compressão (fck) = 6 MPa

Resistência característica à tração (ftk) = 0,1 fck

#### FUNDAÇÃO – PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Ângulo de atrito no contato concreto/rocha = 35°

Coesão média efetiva = 250 kN/m<sup>2</sup>

### 3.1.3 Cargas de Projeto

#### 3.1.3.1 Peso Próprio

Calculado com base no peso específico de 23,5 kN/m<sup>3</sup>

#### 3.1.3.2 Cargas Hidrostáticas

Calculadas a partir dos níveis de água

N.A. máximo de montante = 125,85 m

N.A. máximo de jusante = 107,64 m

N.A. max. max. de montante = 126,71 m

N.A. max. max. de jusante = 108,70 m

N.A. normal de montante = 123,00 m

N.A. normal de jusante = 102,95 m

#### 3.1.3.3 Subpressão

Foram considerados dois casos:

*Sistema de drenos operante* – cargas correspondentes à variação da altura do N.A. na face de jusante até a altura do N.A. na face de montante, considerando-se uma redução na linha de drenos de 33,3% da diferença entre essas alturas;

*Sistema de drenos inoperante* – variação linear entre a altura do N.A. do reservatório na face de montante até a altura do N.A. na face de jusante.

#### 3.1.3.4 Cargas Sísmicas

Aceleração horizontal aplicada ao peso da estrutura e à água

$\alpha = 0,05 g$  , onde  $g$  é a aceleração da gravidade,

gerando uma força horizontal na barragem e um acréscimo das pressões hidrodinâmicas.

Para considerar o efeito do sismo no empuxo de água, foi adotada a fórmula de Zanger, conforme apresentada no Capítulo 8 do livro “Design of Small Dams” do U.S. Bureau of Reclamation.

#### 3.1.3.5 Cargas de Assoreamento

Desprezadas por terem valores muito pouco significativos em barragens com essa ordem de altura.



### 3.1.3.6 Condições de carregamento

#### CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO NORMAIS (CCN)

Foram consideradas quatro condições:

CCN1 – Níveis de água normais a montante e a jusante

Drenos operantes

CCN2 – Níveis de água normais a montante e a jusante

Drenos operantes

Sismo

CCN3 – Níveis de água normais a montante e a jusante

Drenos inoperantes

CCN4 – Níveis de água normais a montante e a jusante

Drenos inoperantes

Sismo

#### CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL (CCE)

CCE – Níveis de água máximos a montante e a jusante

Drenos operantes

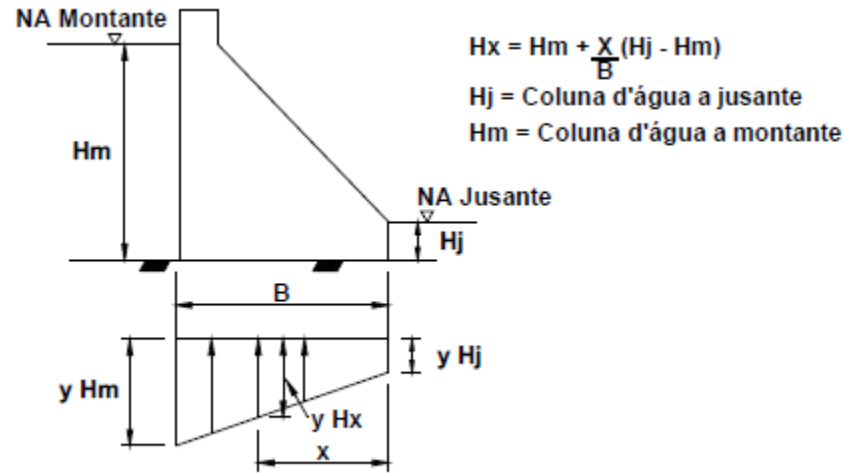
Sismo

#### CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO LIMITE (CCL)

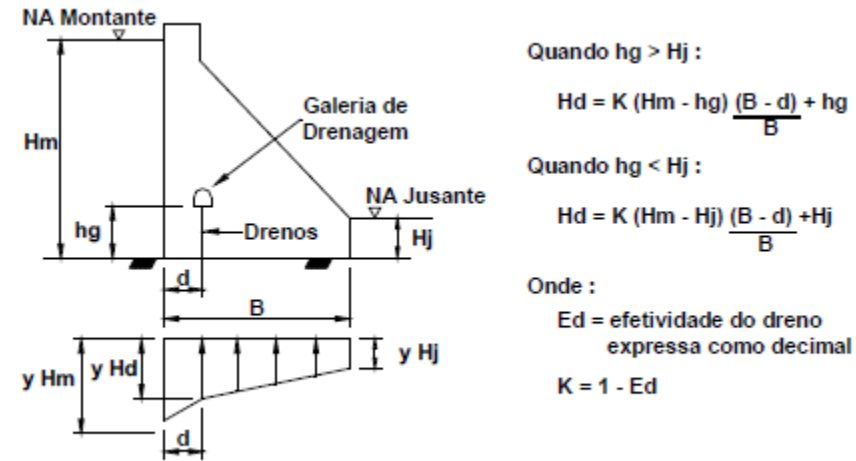
CCL – Níveis de água máximos maximorum a montante e a jusante

Drenos inoperantes

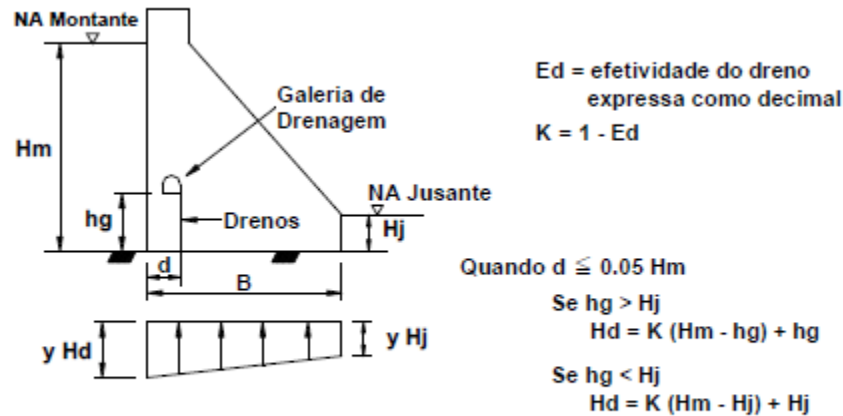
# AÇÕES QUE FICAM SUBMETIDOS ESTRUTURA E FUNDAÇÕES



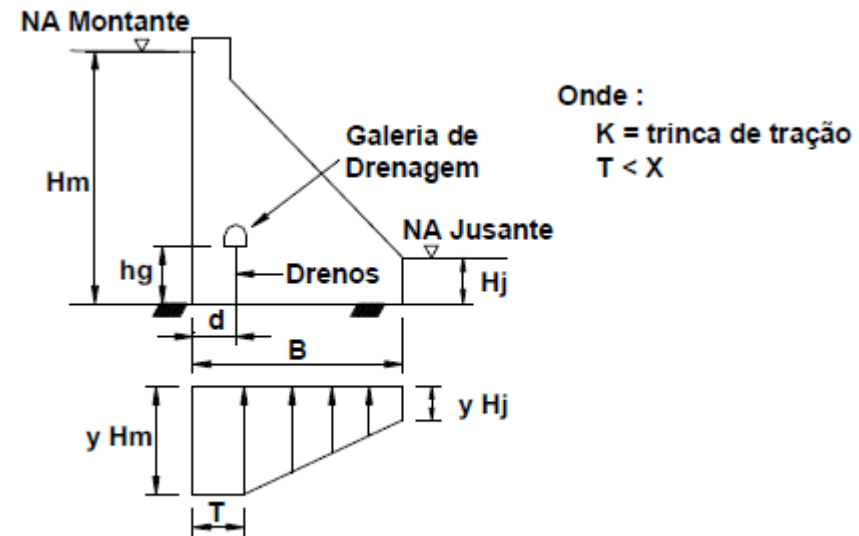
(a) Distribuição da subpressão sem galeria de drenagem



(b) Distribuição da subpressão com galeria de drenagem



(c) Distribuição da subpressão com drenos próximos à face de montante



(d) Distribuição da subpressão em base com trinca de tração estendida além dos drenos



### 3.1.4 Análise de Estabilidade:

A segurança da estabilidade global foi avaliada através da resistência da estrutura ao deslizamento, tombamento e flutuação.

#### 3.1.4.1 Verificação da Segurança ao Deslizamento

A estrutura da barragem é considerada segura quando as forças resistentes no contato com a fundação, provenientes do atrito e da coesão, minoradas pelos respectivos coeficientes, forem superiores às forças horizontais solicitantes:

$$\Sigma F_{Hres} > \Sigma F_{Hsol}$$

Os coeficientes de minoração adotados para o atrito e para a coesão são os mostrados abaixo:

COEF.	CCN1	CCN2	CCN3	CCN4	CCE	CCL
atrito	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,1
coesão	3,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,2

#### 3.1.4.2 Verificação da Segurança ao Tombamento

A segurança ao tombamento é definida pela relação entre o momento estabilizador e o momento de tombamento, referente à linha de rotação que passa pelo pé do talude de jusante, ou seja:

$$CST = Mest / Mtomb$$

Os coeficientes de estabilidade global são apresentados abaixo, para cada condição de carregamento:

COEF.	CCN1	CCN2	CCN3	CCN4	CCE	CCL
CST	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2

#### 3.1.4.3 Verificação da Segurança à Flutuação

A segurança ao tombamento é definida pela relação entre a soma das forças gravitacionais e a força de subpressão, através do seguinte coeficiente de segurança:

$$CSF = \Sigma V / U$$

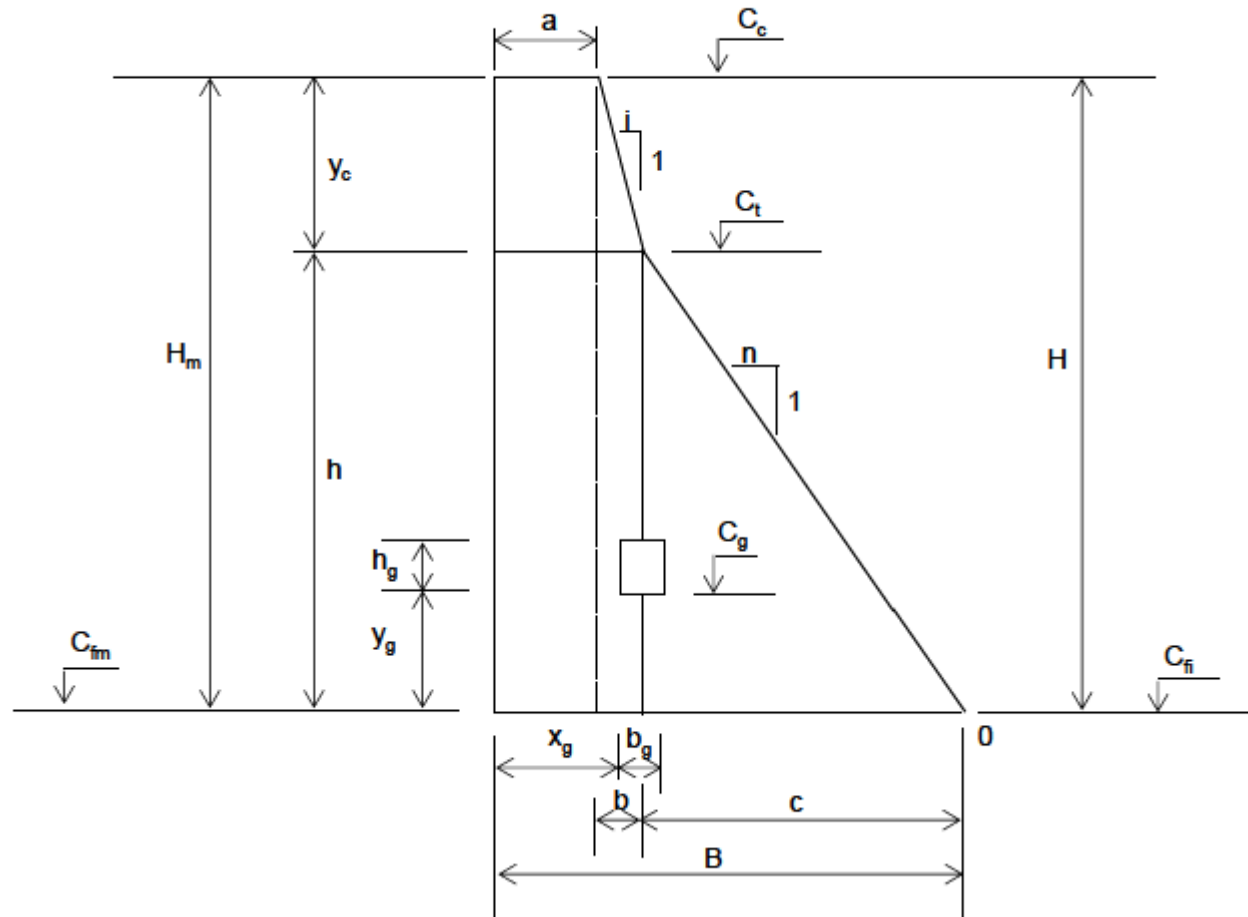
Os coeficientes de estabilidade global são apresentados abaixo, para cada condição de carregamento:

COEF.	CCN1	CCN2	CCN3	CCN4	CCE	CCL
CSF	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0





## 1. GEOMETRIA



### 1.1. DADOS

Cota altimétrica da fundação (mont)	$C_{fm} =$	101,95 m
Cota altimétrica da fundação (jus)	$C_{fj} =$	101,95 m
Cota altimétrica do coroamento	$C_c =$	128,00 m
Cota altimétrica da trans. param. jus.	$C_t =$	125,38 m
Cota altimétrica do fundo da galeria	$C_g =$	105,00 m
Largura da crista	$a =$	4,00 m
Inclinação do paramento sup. jusante	$i =$	0,00
Inclinação de jusante	$n =$	0,75
Dimensões da galeria	$b_g =$	2,00 m
	$h_g =$	2,50 m
Dist. da galeria ao paramento mont.	$x_g =$	2,00 m
Dist. dos drenos ao paramento mont.	$x_d =$	3,50 m

### 1.2. CÁLCULOS

Altura da barragem - jusante	$H =$	26,05 m
Altura da barragem - montante	$H_m =$	26,05 m
Desnível fund montante/jusante	$h'_m =$	0,00 m
Altura da parte superior (inclinação i)	$y_c =$	2,62 m
Altura da parte inferior (inclinação n)	$h =$	23,43 m
Altura até a base da galeria	$y_g =$	3,05 m
Largura base equiv a inclinação i	$b =$	0,00 m
Largura base equiv a inclinação n	$c =$	17,57 m
Largura da base	$B =$	21,57 m



# TALUDE DE MONTANTE / JUSANTE



Material do Aterro	H ≤ 5,00 metros	5,00 < H ≤ 10 metros
Solos Argilosos	Montante - 1 : 2 Jusante – 1 : 1,75	Montante – 1 : 2,75 Jusante – 1 : 2,25
Solos Arenosos	Montante - 1 : 2,25 Jusante – 1 : 2,00	Montante - 1 : 3,00 Jusante – 1 : 2,25
Areias e Cascalhos	Montante - 1 : 2,75 Jusante – 1 : 2,25	Montante - 1 : 3,00 Jusante – 1 : 2,50
Pedras de mão (barragens mistas)	Montante – 1 : 1,35 Jusante – 1 : 1,30	Montante – 1 : 1,50 Jusante – 1 : 1,40

Tabela IV.3.1- Inclinação de taludes ( Vertical : Horizontal ) em função do tipo de solo e altura da barragem (Eletrobrás, 2000 ).



**MUITO OBRIGADO  
PELA ATENÇÃO!**

Eng. Carlos Henrique Medeiros

[chmedeiros@terra.com.br](mailto:chmedeiros@terra.com.br)