UTILIZAÇÃO DO GUIA DE DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DE BARRAGENS E REVISÃO PERIÓDICA

Instrumentação de Barragens e Revisão Periódica

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E REVISÃO PERIÓDICA DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

- Módulo 1 – Instrumentação 84
- Módulo 2 – Guia de Inspeções 46
- Módulo 3 – Geológico e geotécnicos 13
- Módulo 4 – Sismológicos 16
- Módulo 5 – Hidrológicos 33
- Módulo 6 – Verificação do comportamento estrutural 19

TOTAL 211

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS

OBJETIVO:

A instrumentação de auscultação de uma barragem constitui um elemento de fundamental importância na supervisão de suas condições de segurança, pois somente através da mesma pode-se saber se está ocorrendo um aumento das subpressões na fundação e pressões neutras no aterro, quais as reais causas de alguns tipos de fissuras que ocorrem no concreto, etc.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LOCAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

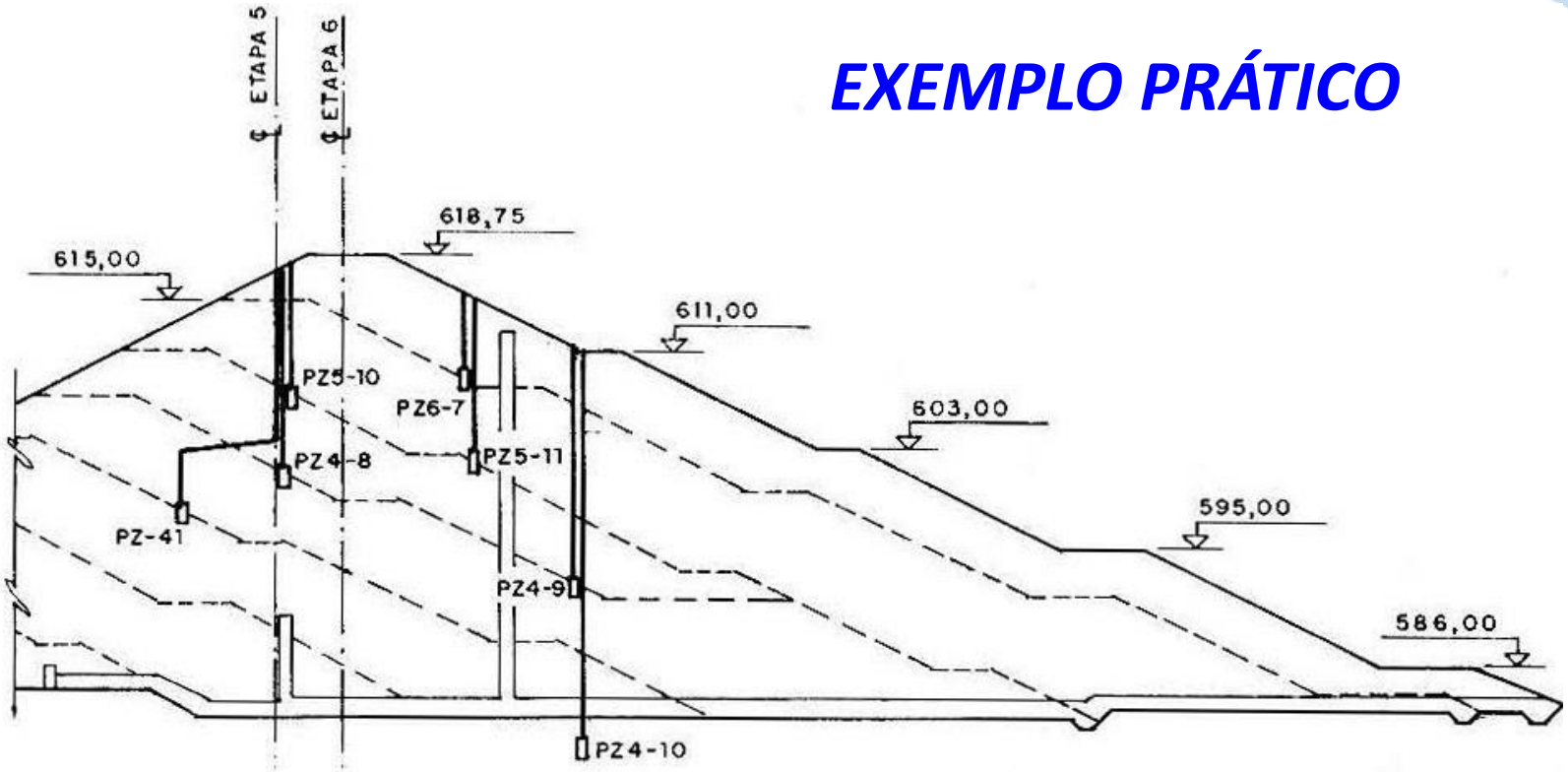
A seleção da localização dos instrumentos deve refletir os comportamentos previsíveis da barragem e de sua fundação, devendo ser compatível com os resultados das investigações de campo, das hipóteses de projeto e dos cálculos teóricos.

A seção de maior altura é importante de ser instrumentada, em função das maiores tensões internas à barragem, assim como da maior pressão hidrostática. Outras seções, com anomalias geológicas na fundação, também devem ser instrumentadas.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LOCAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

EXEMPLO PRÁTICO



LOCAÇÃO DOS PIEZÔMETROS NA SEÇÃO DA EST. 63+00 NA BARRAGEM "*MORRO DO OURO*"

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

AUSCULTAÇÃO DAS BARRAGENS DE TERRA

Grandezas a serem medidas :

- ✓ Recalque da fundação e do aterro
- ✓ Deslocamentos horizontais
- ✓ Tensões na interface solo-concreto
- ✓ Poro-pressões no aterro e interface S/R
- ✓ Subpressões na fundação
- ✓ Vazões de drenagem e infiltração

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

AUSCULTAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONCRETO

Grandezas medidas pela instrumentação:

- ✓ **Deslocamentos “absolutos” e relativos**
- ✓ **Deslocamentos diferenciais entre blocos**
- ✓ **Recalque da fundação**
- ✓ **Temperatura do concreto**
- ✓ **Tensões no concreto ou armadura**
- ✓ **Subpressões na fundação**
- ✓ **Vazões de drenagem e infiltração**

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

FREQUÊNCIA DE LEITURAS - CBDB

CBDB – II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS – Volume I AGOSTO/96

"AUSCULTAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS NO BRASIL"

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume IV - Guia de Orientação e Formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE

FREQUÊNCIA DE LEITURAS - CBDB

ESTRUTURAS DE TERRA-ENROCAMENTO

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do Reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos superficiais (topografia)	mensal	semanal	mensal	semestral
Deslocamentos internos (verticais e horizontais)	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Deformação	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Pressão total/ efetiva	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Poro-pressão	semanal	2 semanais	semanal	quinzenal
Subpressão	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Nível d'água	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal

(*) Estas frequências poderão se estender por 1 a 5 anos, dependendo do comportamento e aparente estabilização das leituras.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

FREQUÊNCIA DE LEITURAS - CBDB

ESTRUTURAS DE CONCRETO

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do Reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos "absolutos" (geodesia)	ao final da construção	mensal	trimestral	semestral
Deslocamentos angular	quinzenal	semanal	mensal	trimestral
Deslocamentos relativos	2 semanais	3 semanais	semanal	quinzenal
Deslocamentos entre blocos/ monolitos	semanal	2 semanais	quinzenal	mensal
Deformação interna	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Tensão	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Cargas (cabos de protensão)	diárias no período de protensão	2 semanais	semanal	mensal
Pressão intersticial no concreto	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Subpressão	semanal	3 semanais	2 semanais	semanal a quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal
Temperatura do concreto	semanal	semanal	semanal	mensal

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

DEFINIÇÃO: Para barragens de concreto o instrumento é concebido para medir a pressão da água no contato concreto/rocha ou em camadas mais permeáveis da fundação, e são normalmente instalados em furos de sondagem executados a partir das galerias de drenagem.

Esquema de um piezômetro *Standpipe* em sondagem

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

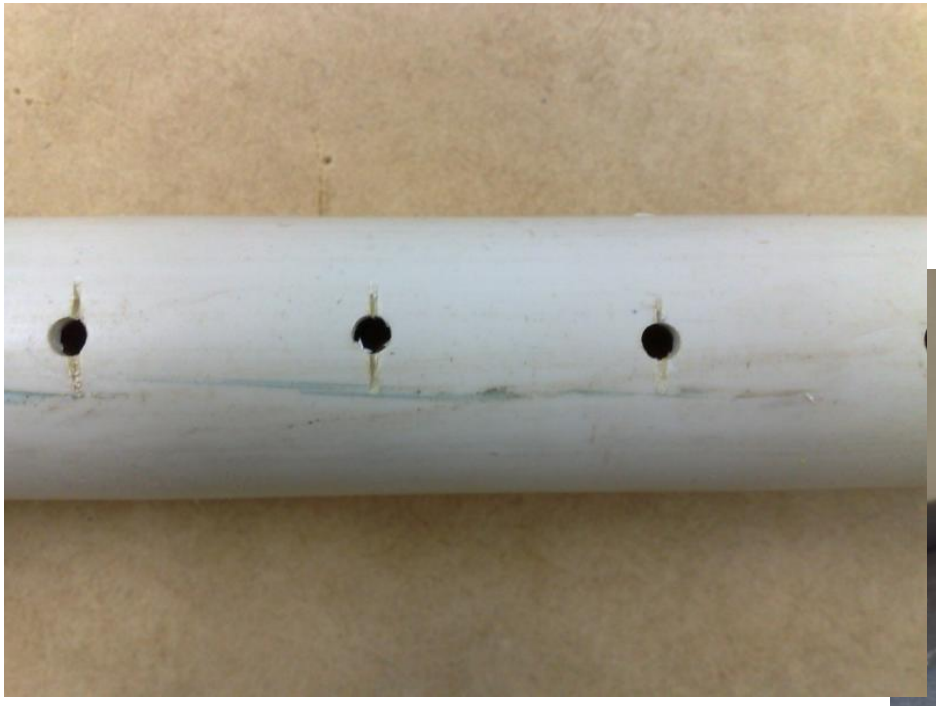
CUIDADOS NA INSTALAÇÃO:

- Os instrumentos devem ser instalados antes da construção, a partir de furos de sondagem executados até o nível de interesse, preenchidos posteriormente com calda de cimento ou bentonita.

Também podem ser instalados após a construção do barramento, caso seja necessária uma melhoria no plano de instrumentação.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)



Confecção: Tubo perfurado com 4 linhas de furos no trecho do bulbo

Bulbo protegido por camada de BIDIM no trecho perfurado

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

Areia peneirada e lavada instalada na região do bulbo

Piezômetros prontos para instalação

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

Perfuração de sondagem para instalação de PZ em galeria de drenagem

Ensaio de perda d'água a cada 3 m durante a perfuração da sondagem

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

Instalação do PZ em uma galeria de drenagem

Colocação de areia no trecho do bulbo

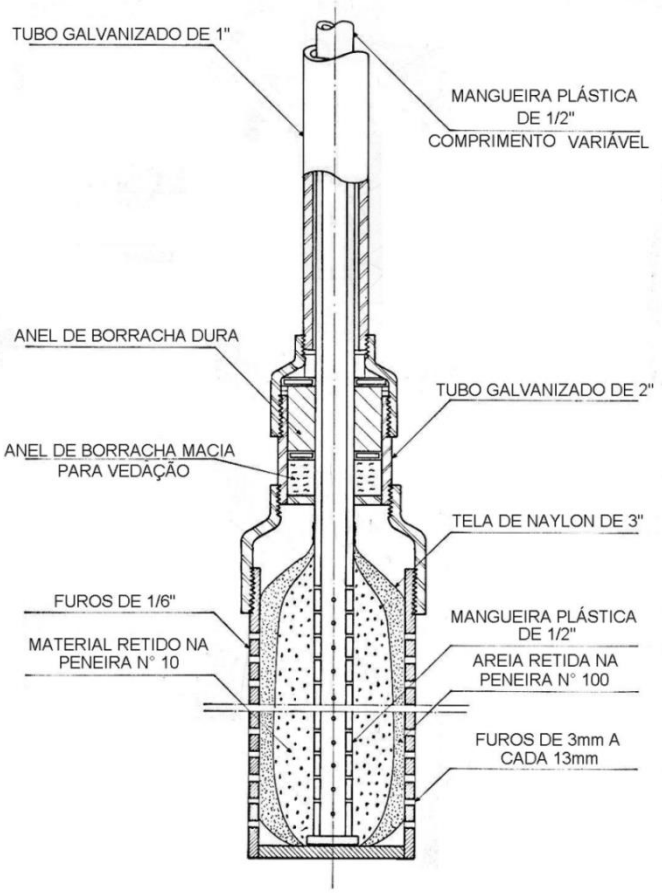
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO (Tipo Standpipe)

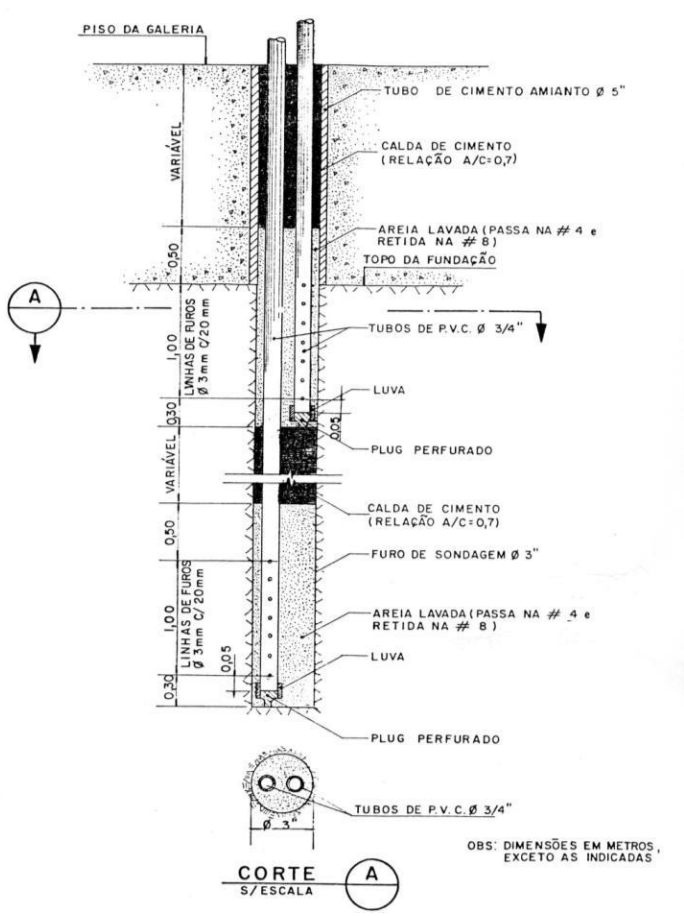
PZ instalado em uma barragem de concreto, bem protegido

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO



Piezômetro tipo Casagrande modificado



Esquema de instalação de dois PZ's em um mesmo furo de sondagem

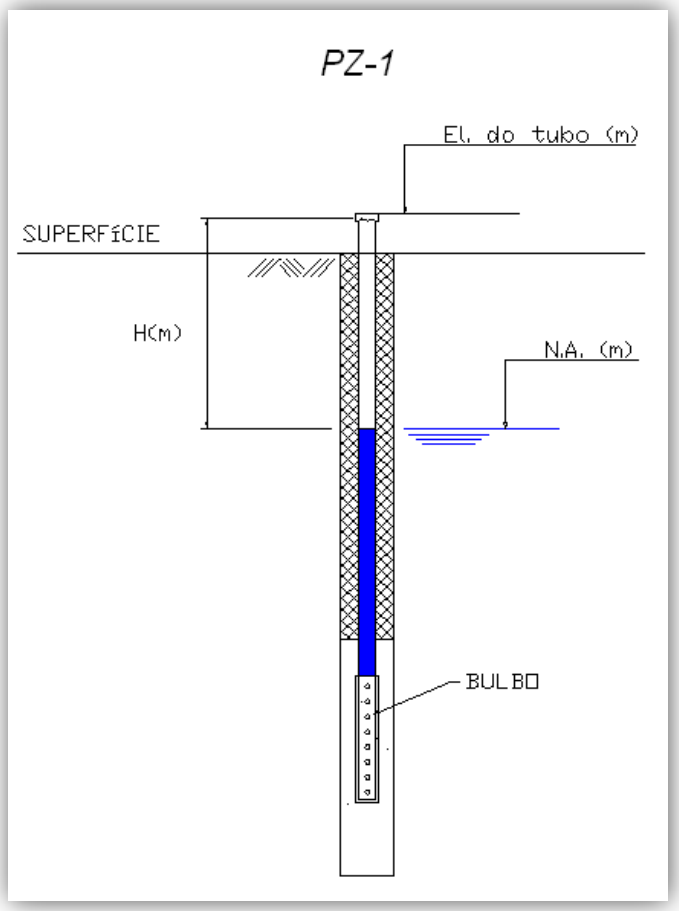
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

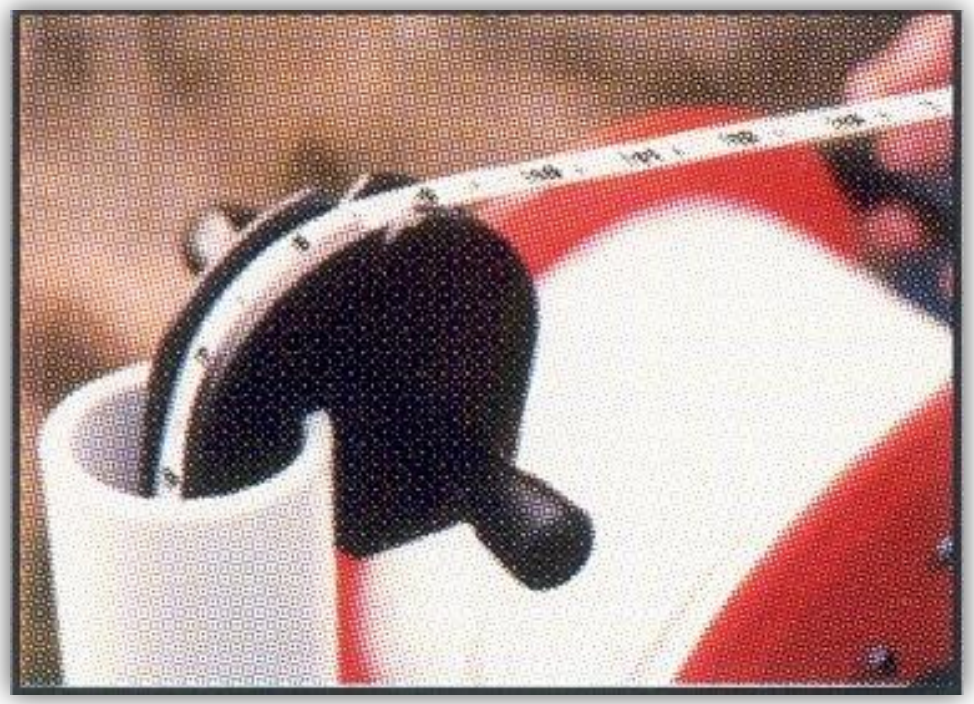
LEITURA DO PZ COM PIO

Nível Piezométrico = El. Tubo – H

Onde:

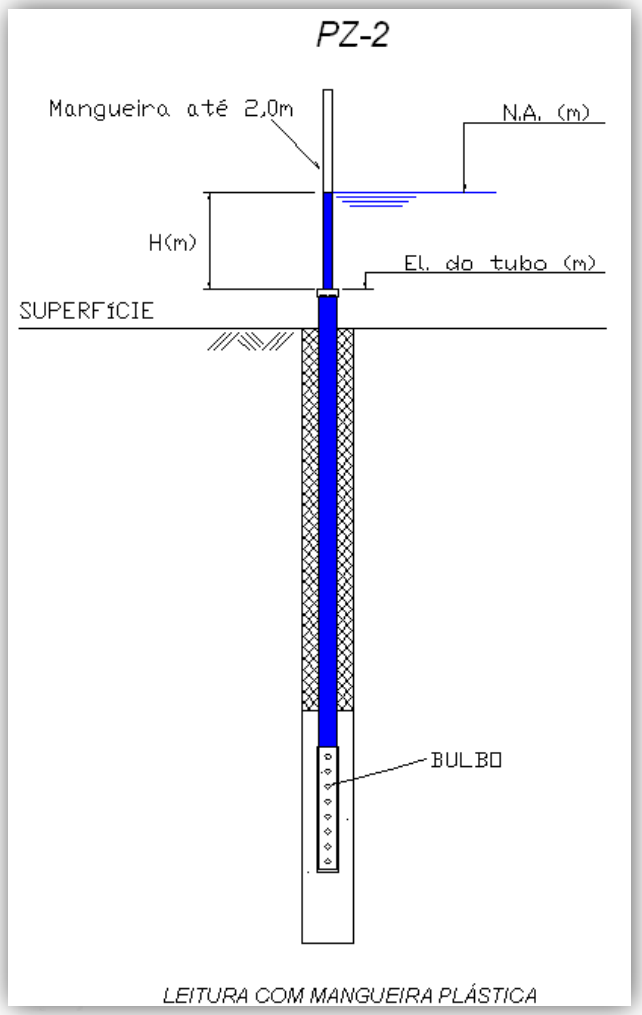
H = Leitura com pio (metros)





Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LEITURA DO PZ COM PIO



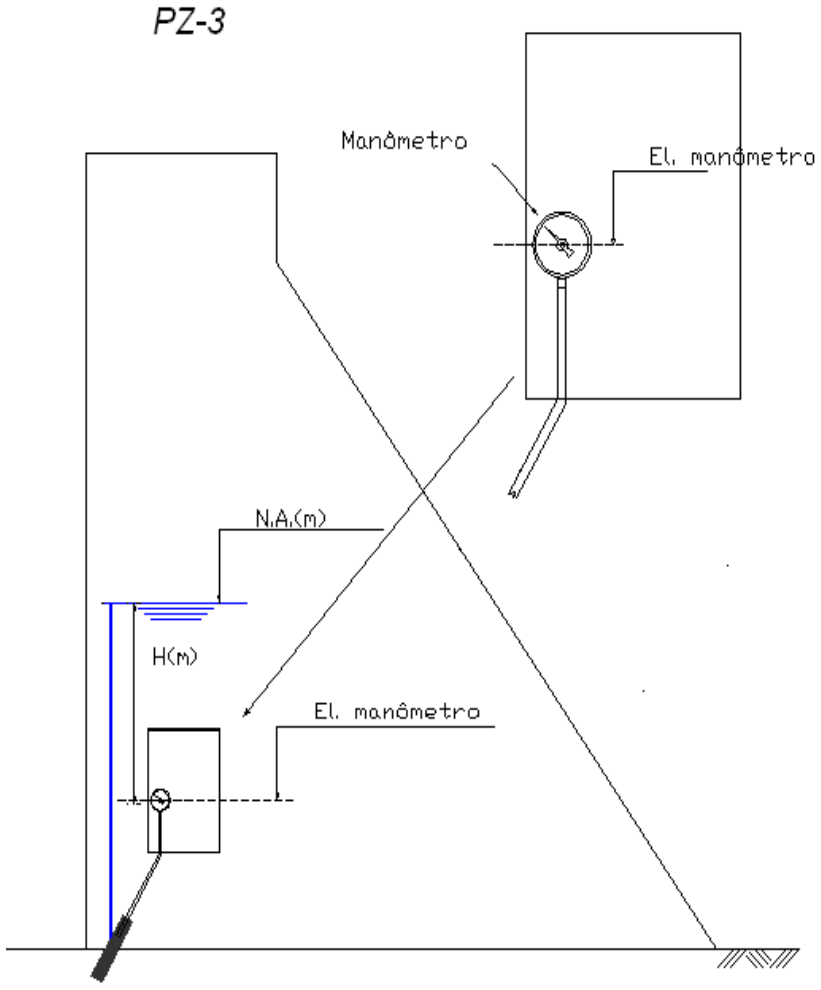
Nível Piezométrico = El. tubo + H

Onde:

H = Medição com trena (metros)

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LEITURA DO PZ COM MANÔMETRO



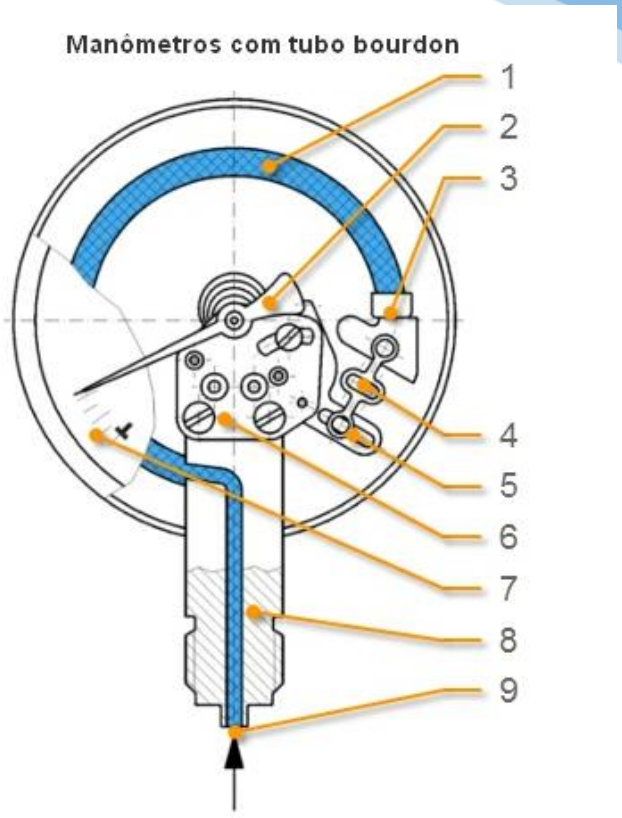
Nível Piezométrico = El. Manômetro + H

Onde:

H = Leitura com o Manômetro em m.c.a.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LEITURA DO PZ COM MANÔMETRO



Leitura do manômetro:

1) **m.c.a.**
2) **1kgf/cm² = 10 m.c.a.**
3) **100kPa = 10 m.c.a.**

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

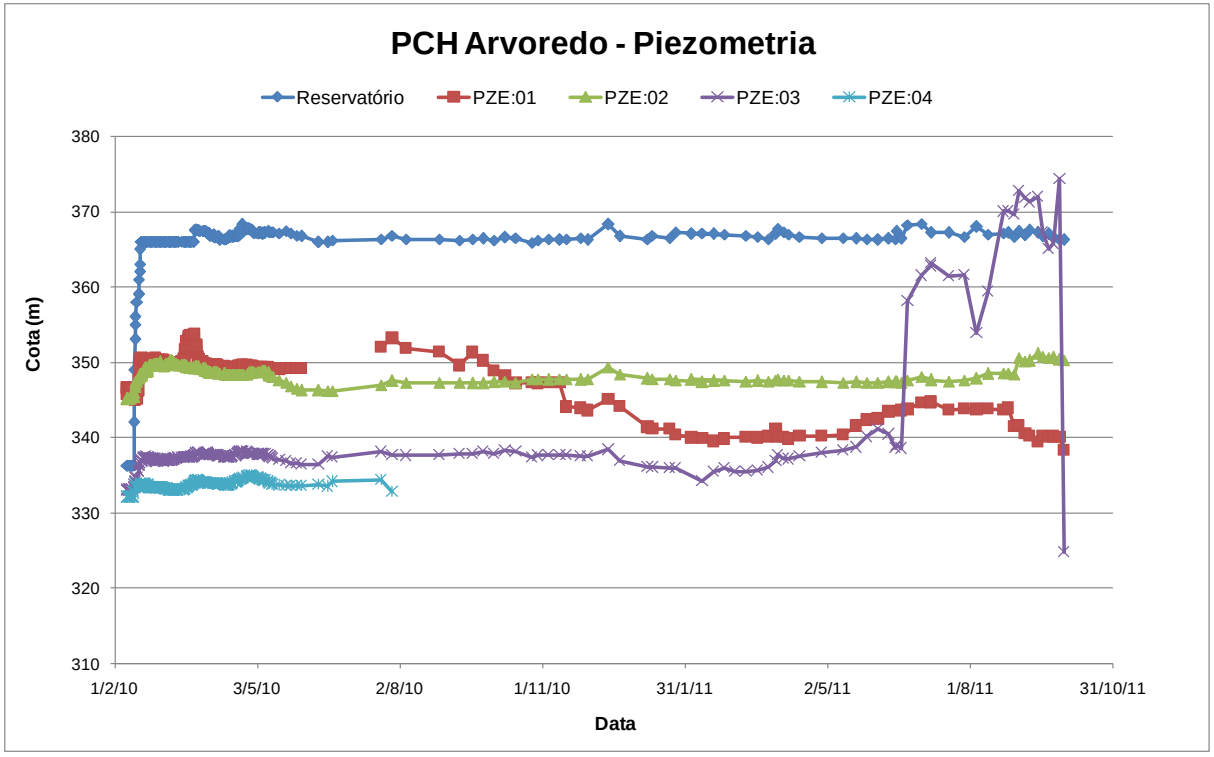
PIEZÔMETRO ELÉTRICO

DEFINIÇÃO: São instrumentos com sensor elétrico, onde não é possível a instalação de PZ's *Standpipe*, como em barragens sem galeria ou com soleira vertente.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO ELÉTRICO

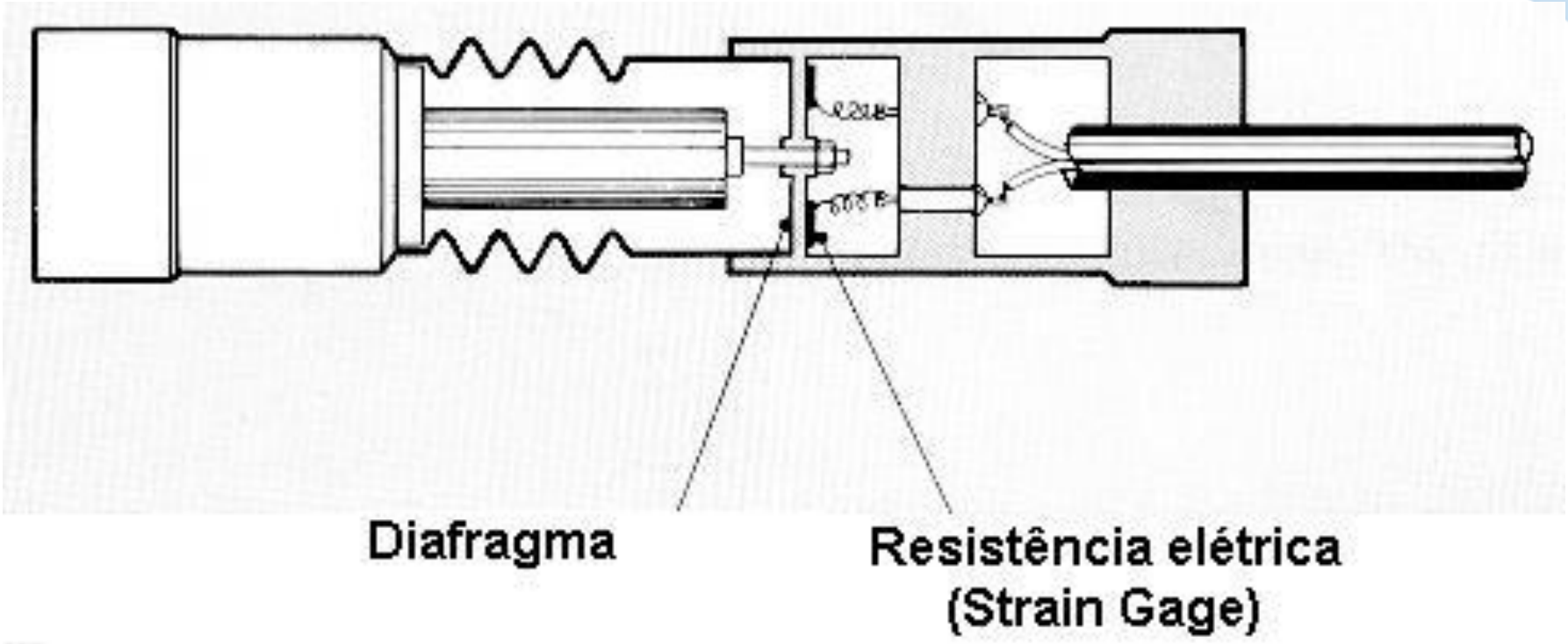
✓ VIDA ÚTIL CURTA:



- Níveis piezométricos na fundação da B.P. da PCH Arvoredo
- PZE-3 com vida útil ultrapassada após 1,5 anos do enchimento do reservatório e PZE-4 danificado após cerca de 6 meses.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

PIEZÔMETRO ELÉTRICO



Esquema de funcionamento de um piezômetro de resistência Kyowa

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

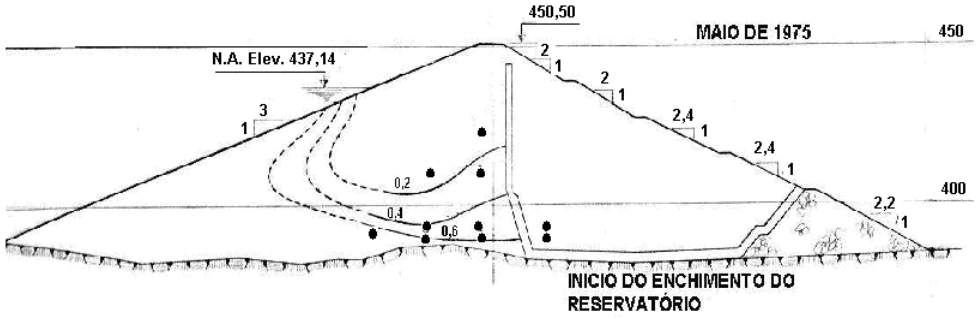
PIEZÔMETRO ELÉTRICO

Painel de leitura dos PZE's na crista da barragem

PZE's a serem instalados

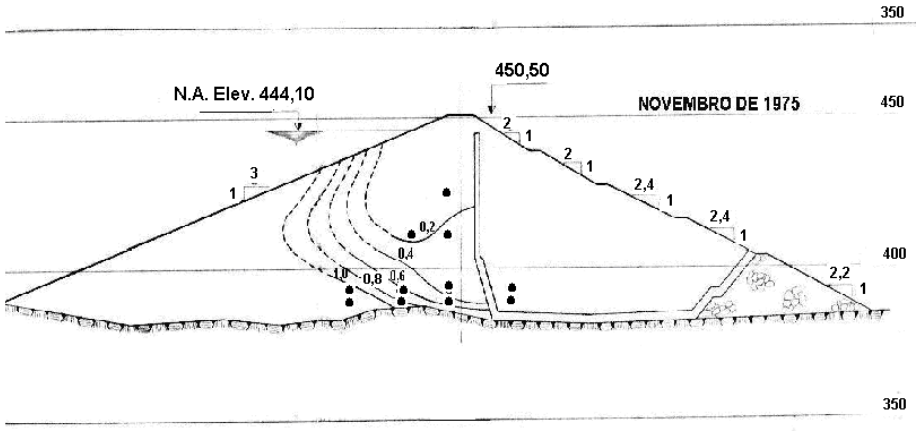
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

EVOLUÇÃO DAS LINHAS ISOPIEZOMÉTRICAS

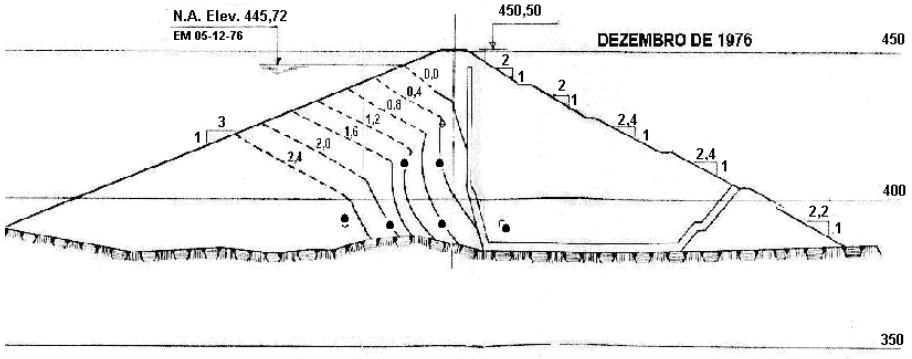


Maio 1975

Barragem de Marimbondo



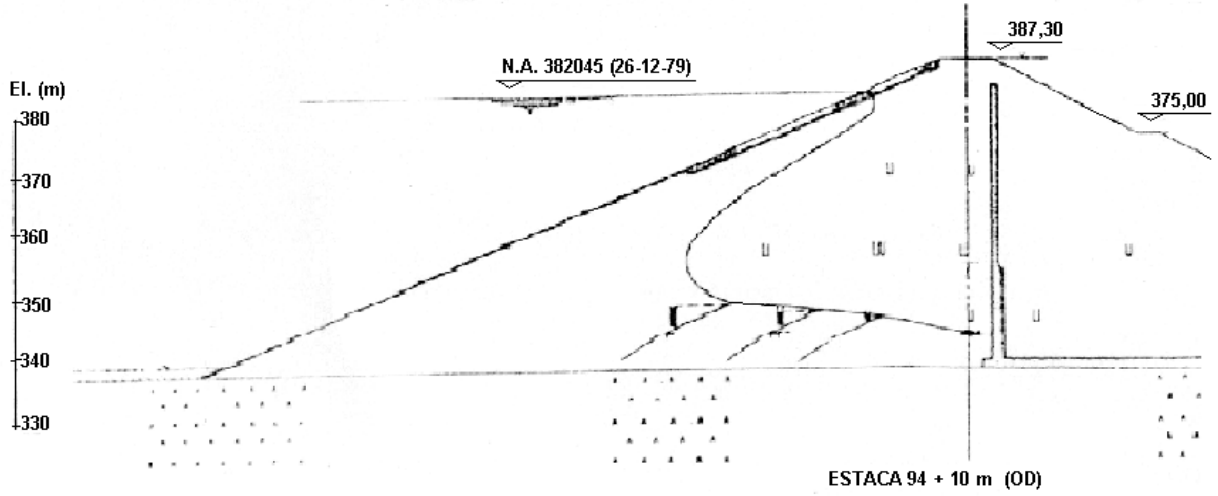
Novembro 1975

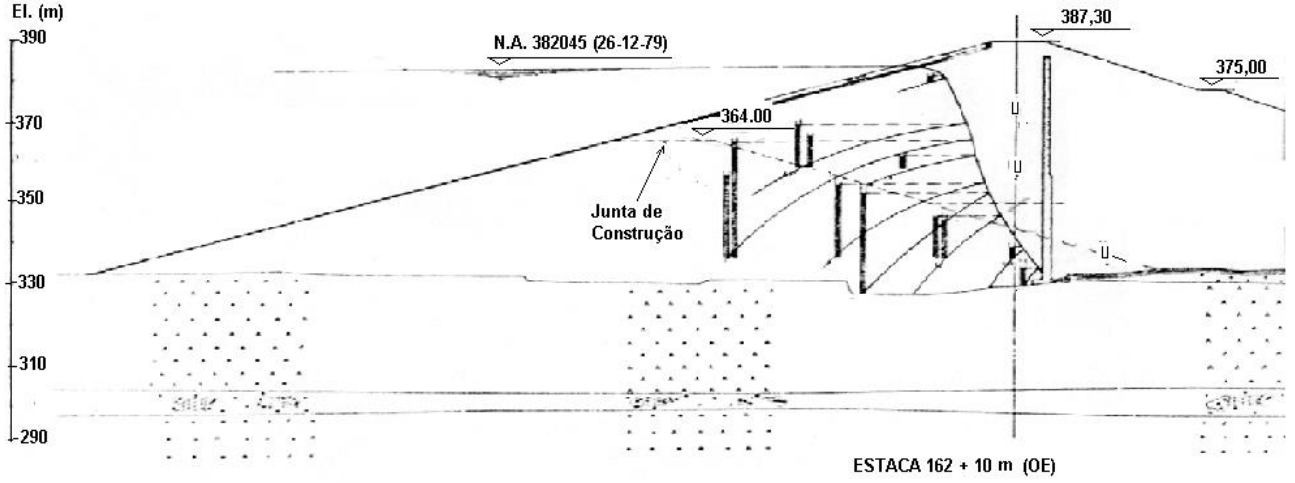


Dezembro 1976

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

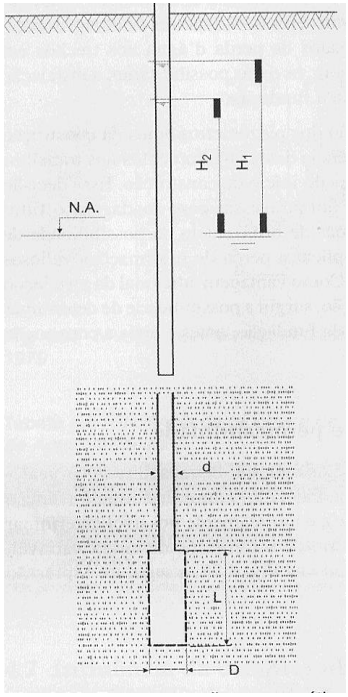
EVOLUÇÃO DA LINHA FREÁTICA NO ATERRO DE UMA BARRAGEM





Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

TESTE DE RECUPERAÇÃO N.A.



Representação do ensaio de recuperação de nível d'água em um piezômetro standpipe.

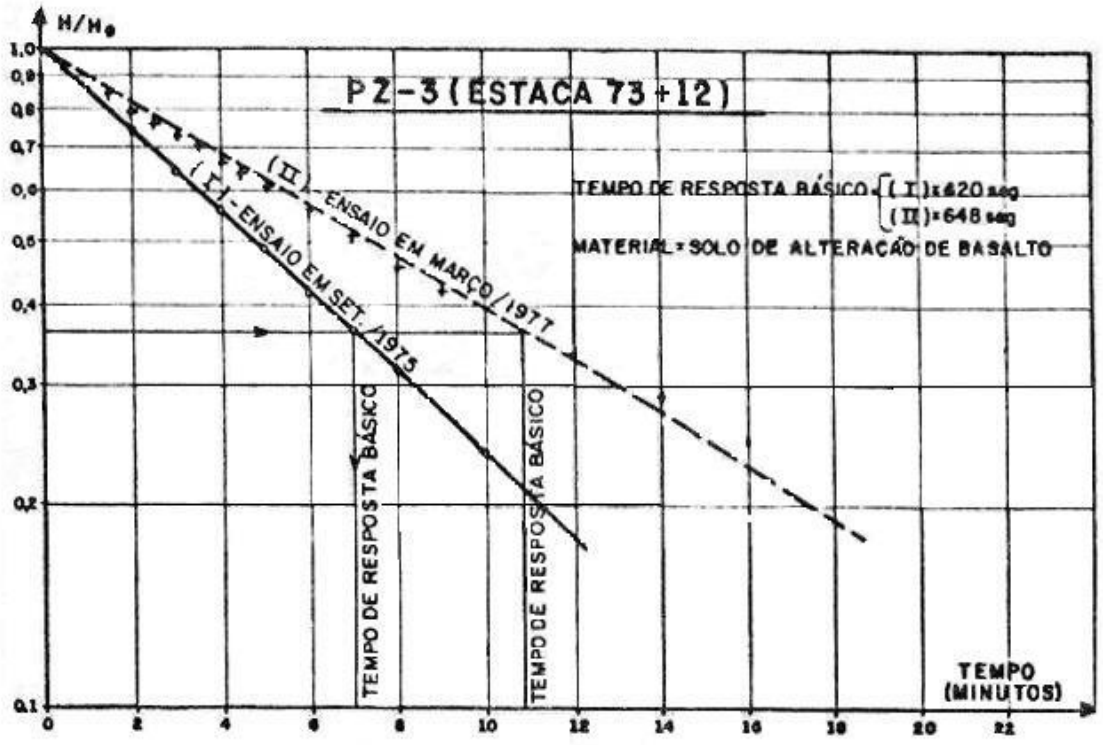


Gráfico log (relação carga) versus tempo, para determinação do coeficiente de permeabilidade.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

FRATURAMENTO HIDRÁULICO

Barragem Jaguara: fraturamento hidráulico com profundidade da sondagem < ¾ H

Barragem Ilha Solteira (Est. 65 + 0,0): perda de lama bentonítica a 13 m de profundidade. Foram injetados depois 27.000 l d'água, sem formação de coluna de água.

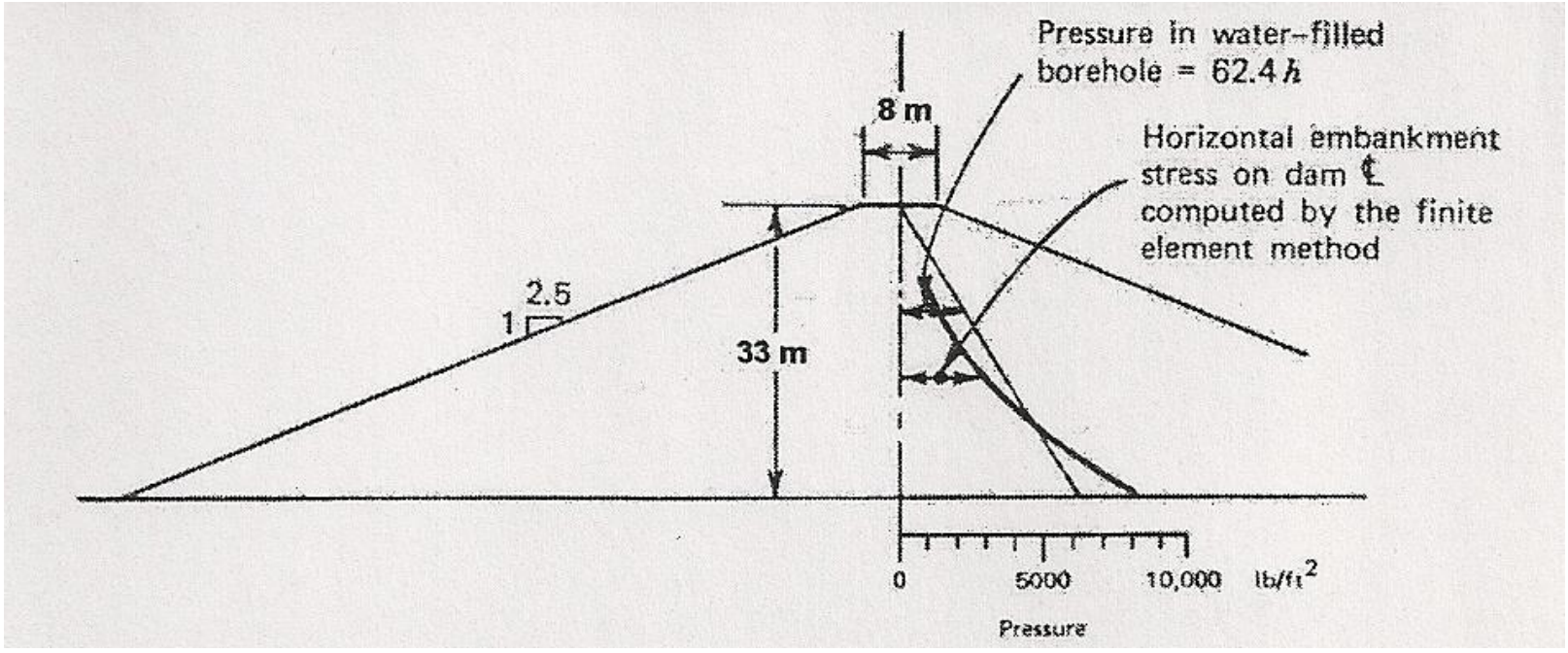
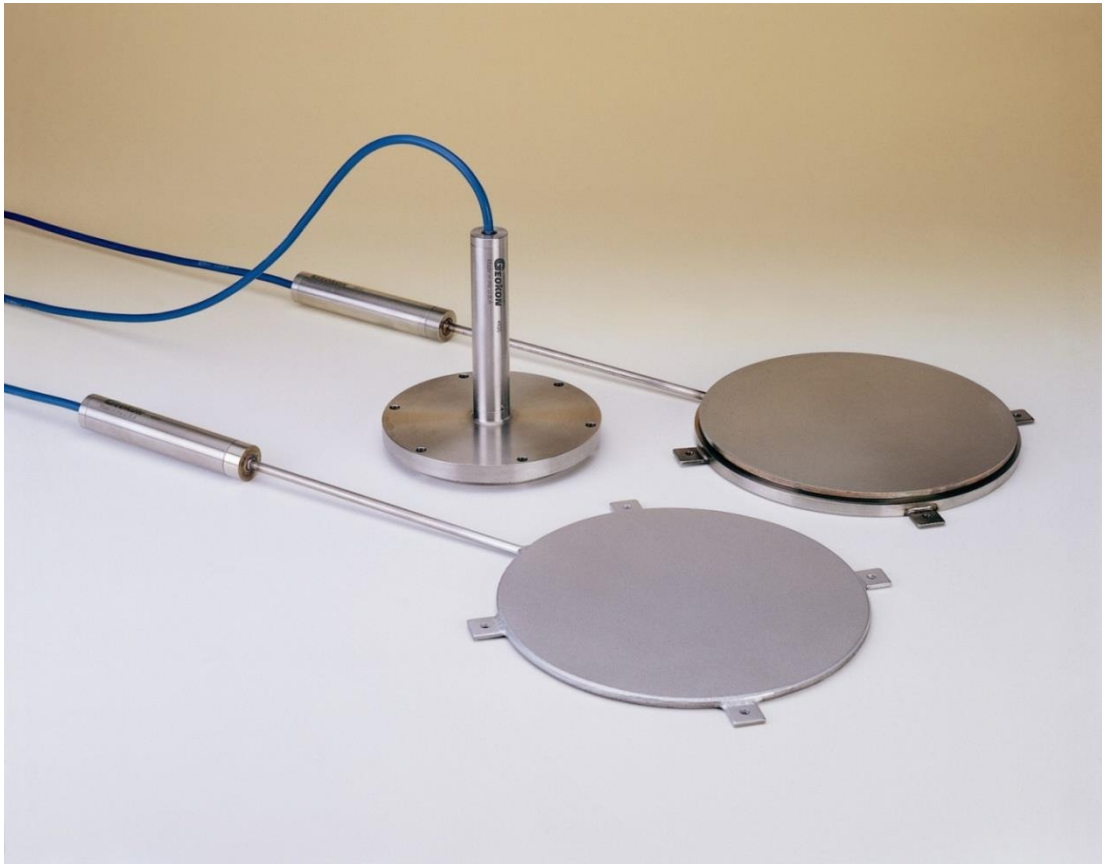


Gráfico Sherard/73 utilizando resultados MEF de Clough e Woodward (1967)

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

CÉLULA DE PRESSÃO TOTAL

- **Definição:** Instrumento inserido no interior do aterro ou interface concreto-solo, para medir a pressão total do solo.

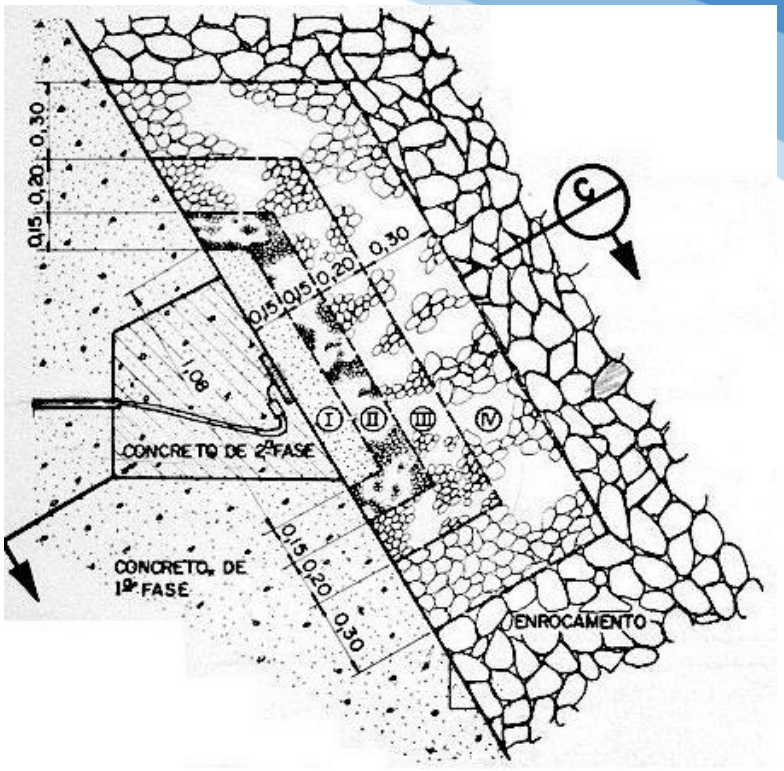


Células de pressão total tipo Geokon, para instalação no contato C/S.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTRUMENTAÇÃO INTERFACE

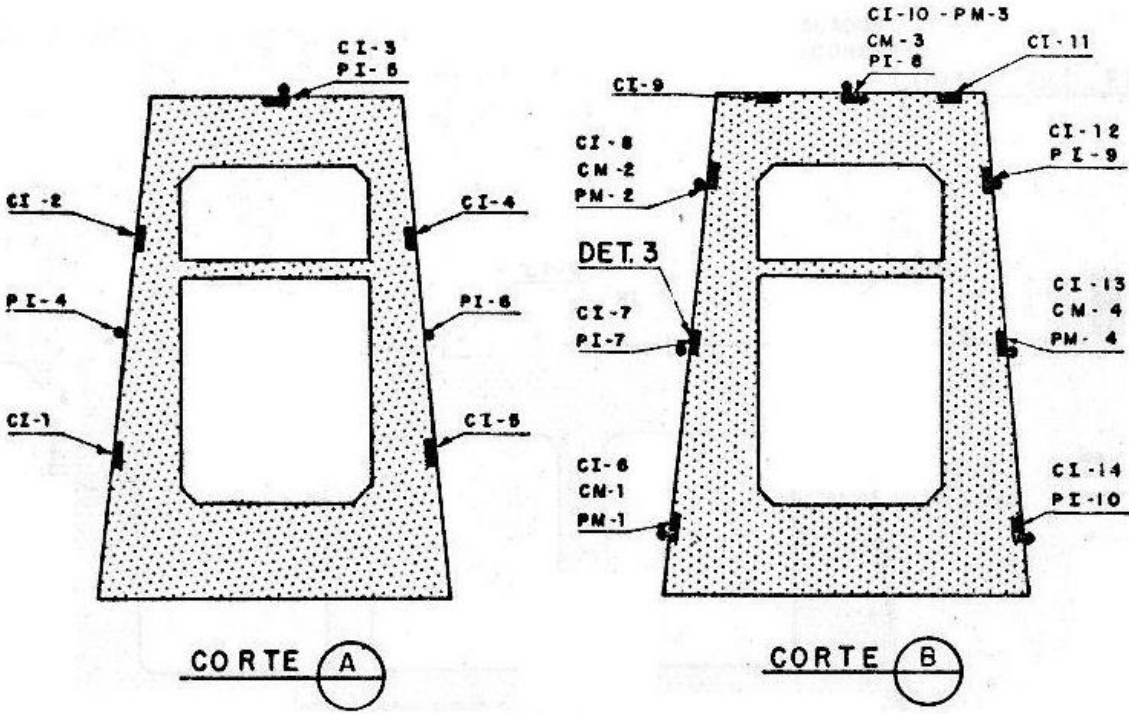
Detalhe da instalação de uma roseta de células de pressão total, na interface concreto/enrocamento da barragem de Água Vermelha.



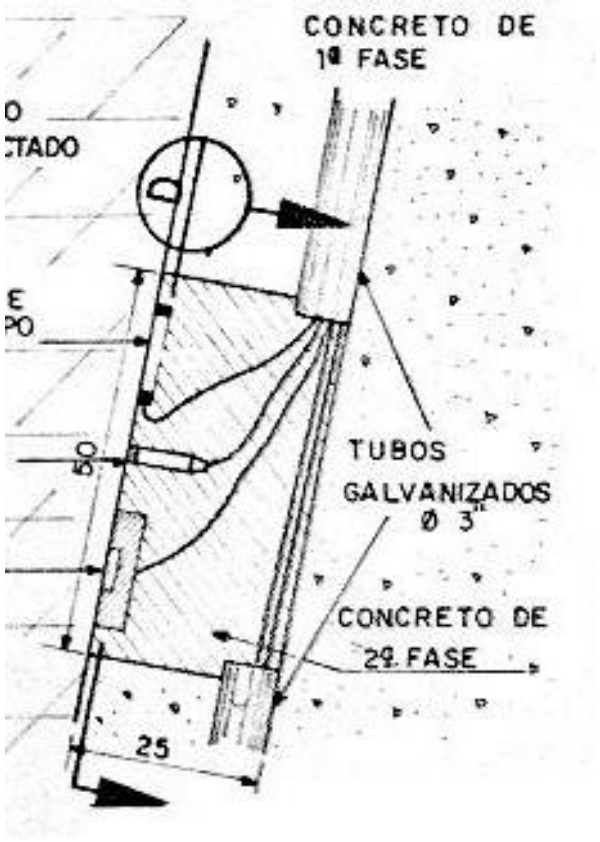
Detalhe da transição executada no local de instalação dessas células, na face de jusante do muro de ligação de Água Vermelha.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTRUMENTAÇÃO INTERFACE



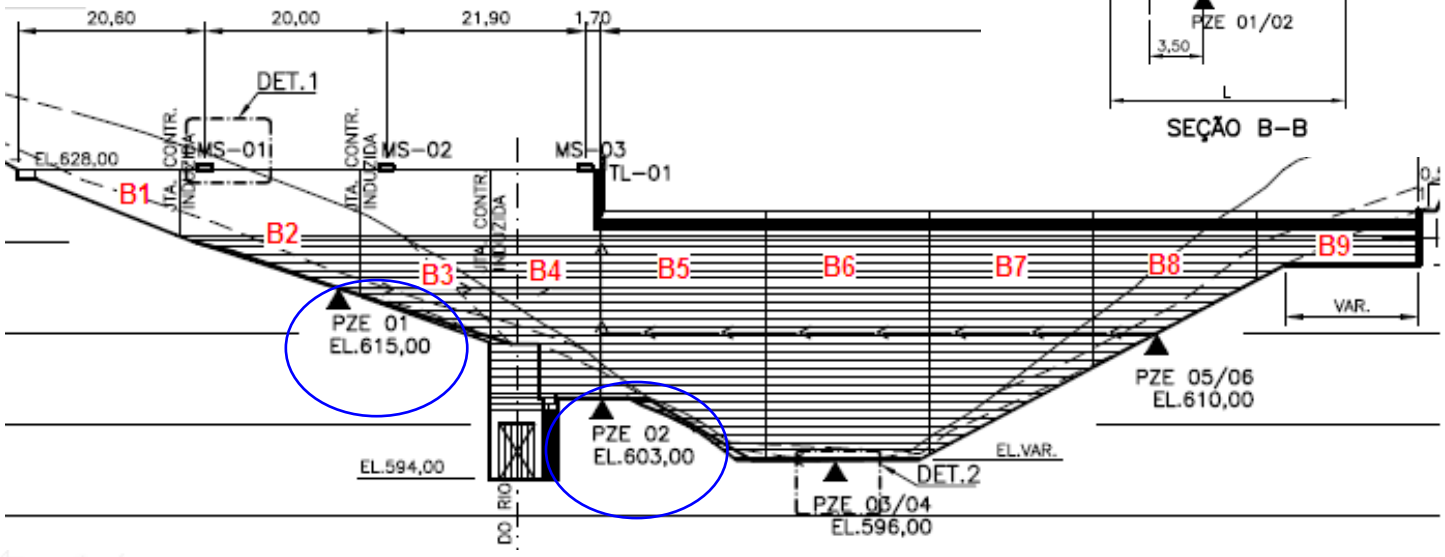
Células de pressão total instaladas em duas seções da galeria de desvio da barragem do Jacareí, SABESP.

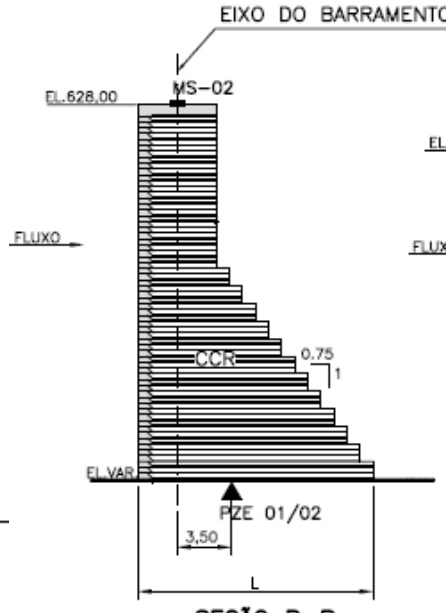


Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

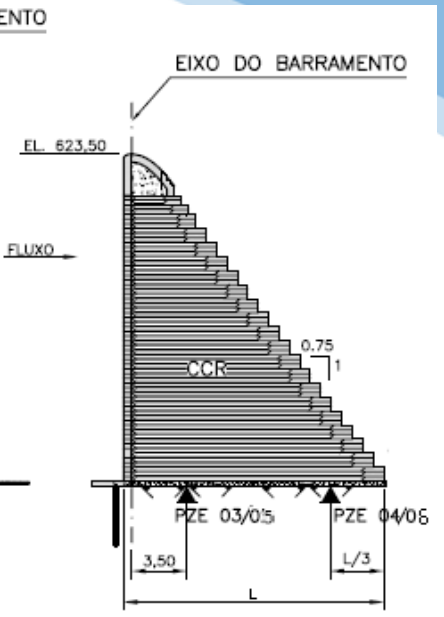
PIEZÔMETROS

Instalação de piezômetros elétricos onde deveriam ser do tipo tubo (*standpipe*)





SEÇÃO B-B

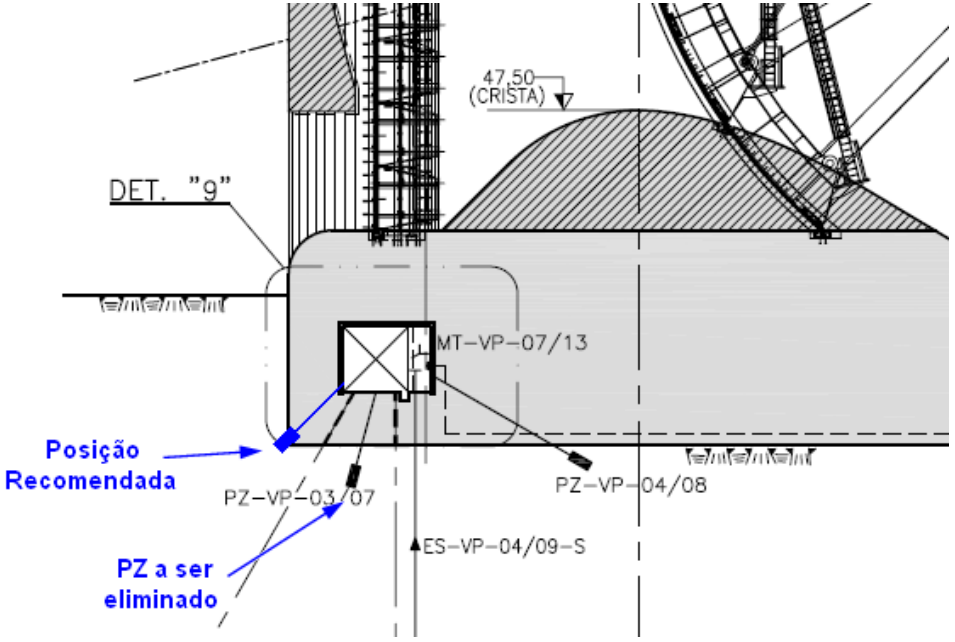


SEÇÃO C-C

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

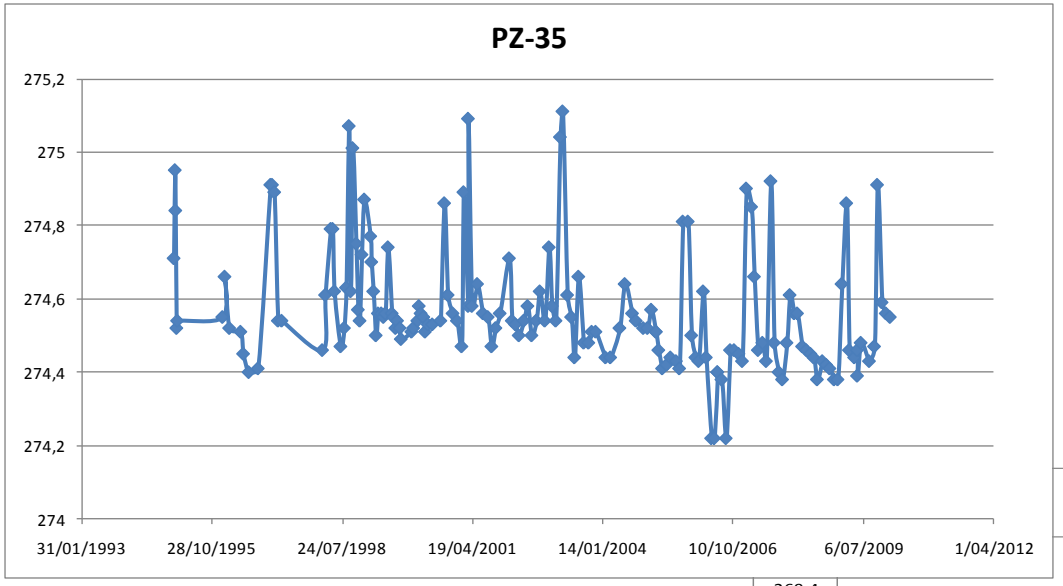
FALHAS NA EXECUÇÃO

Locação de Piezômetros na parte central da galeria de drenagem

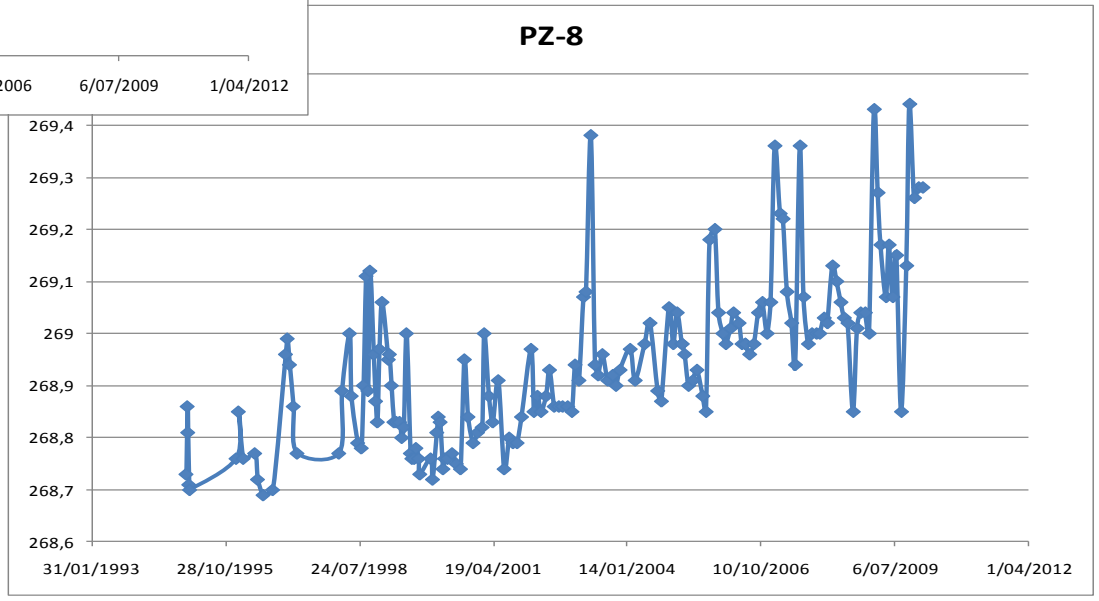


Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPORTAMENTO TÍPICO DE PZ'S



Piezômetro praticamente estabilizado

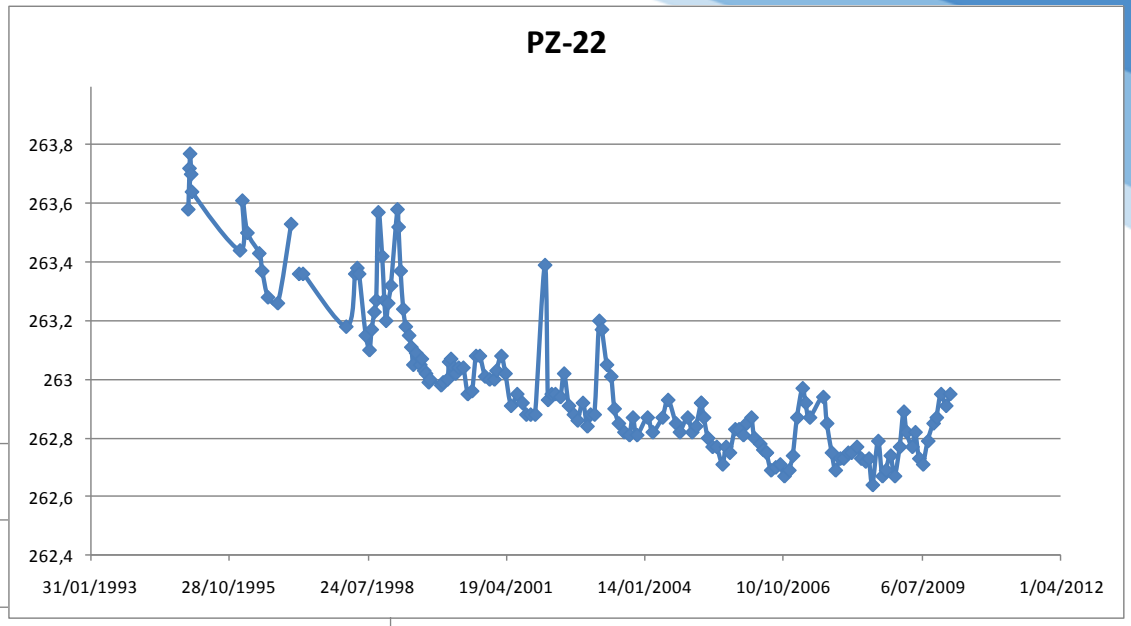


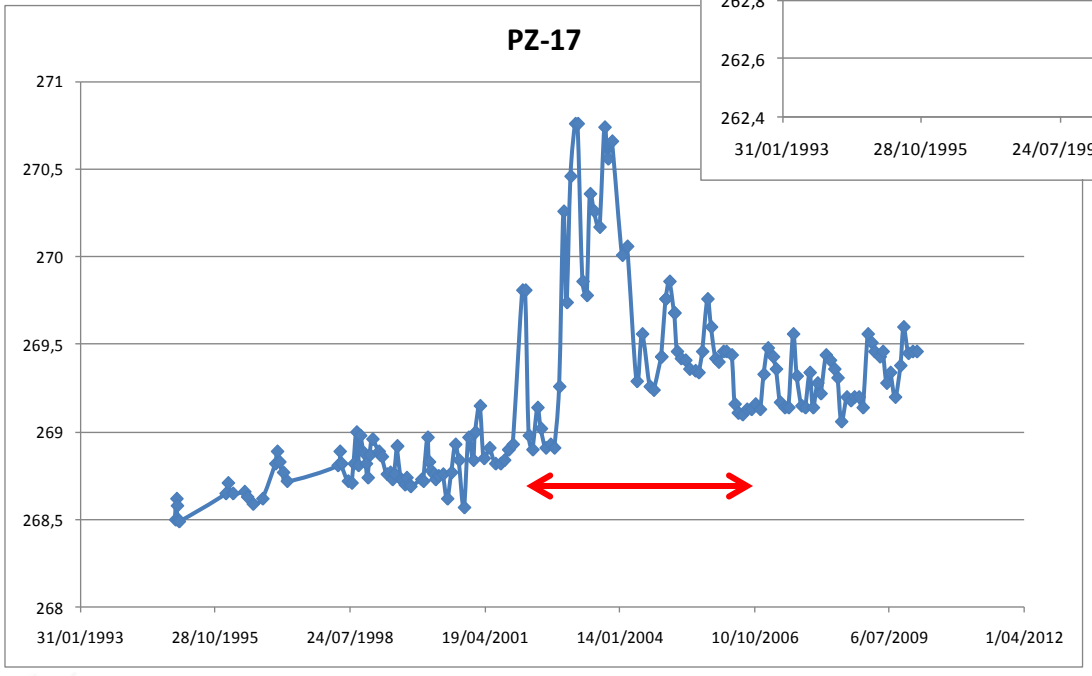
Subpressões com níveis crescentes com o tempo

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPORTAMENTO TÍPICO DE PZ'S

Subpressões decrescentes com o tempo

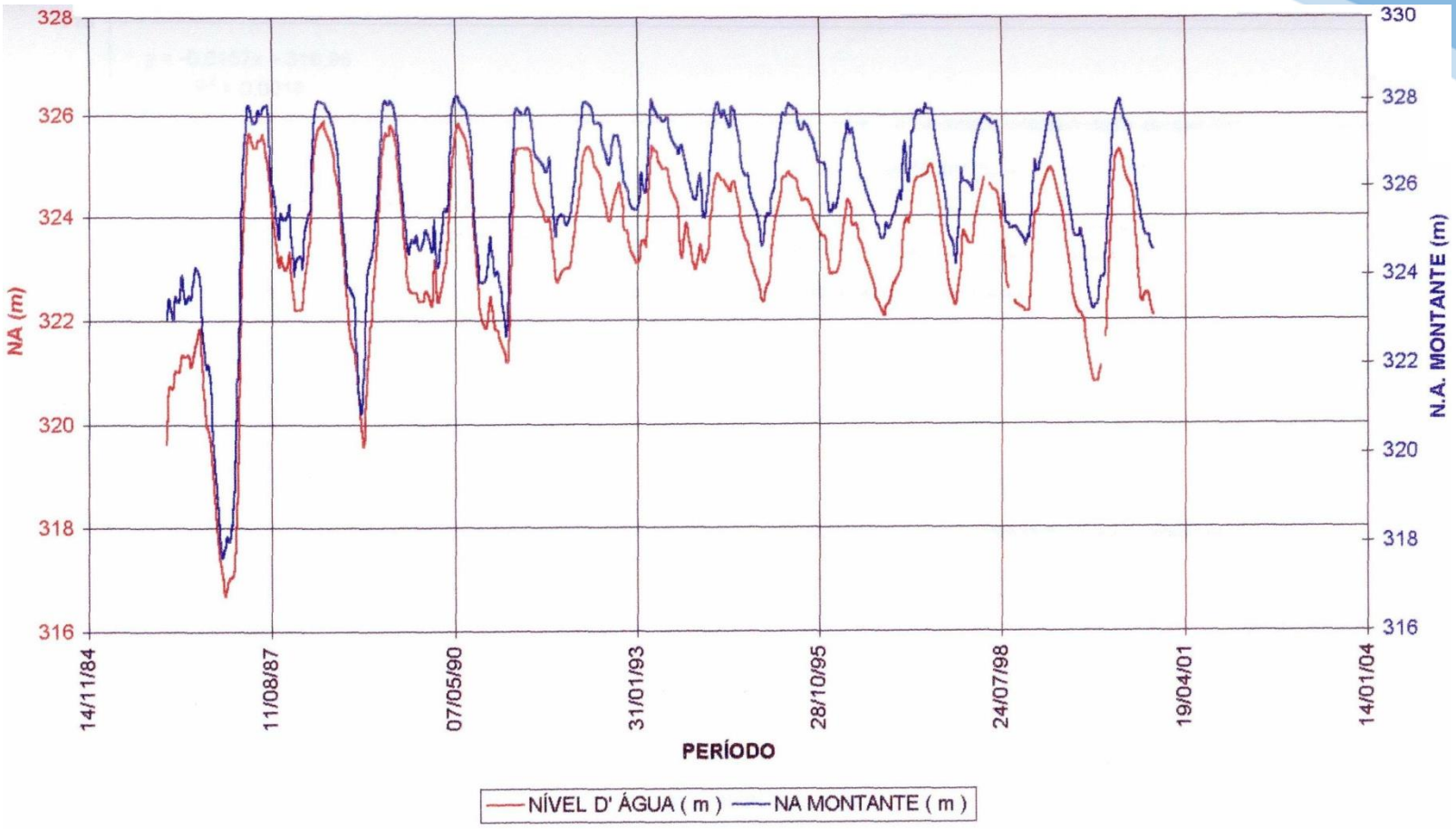




Período com subpressões acima do esperado

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPORTAMENTO TÍPICO DE PZ'S

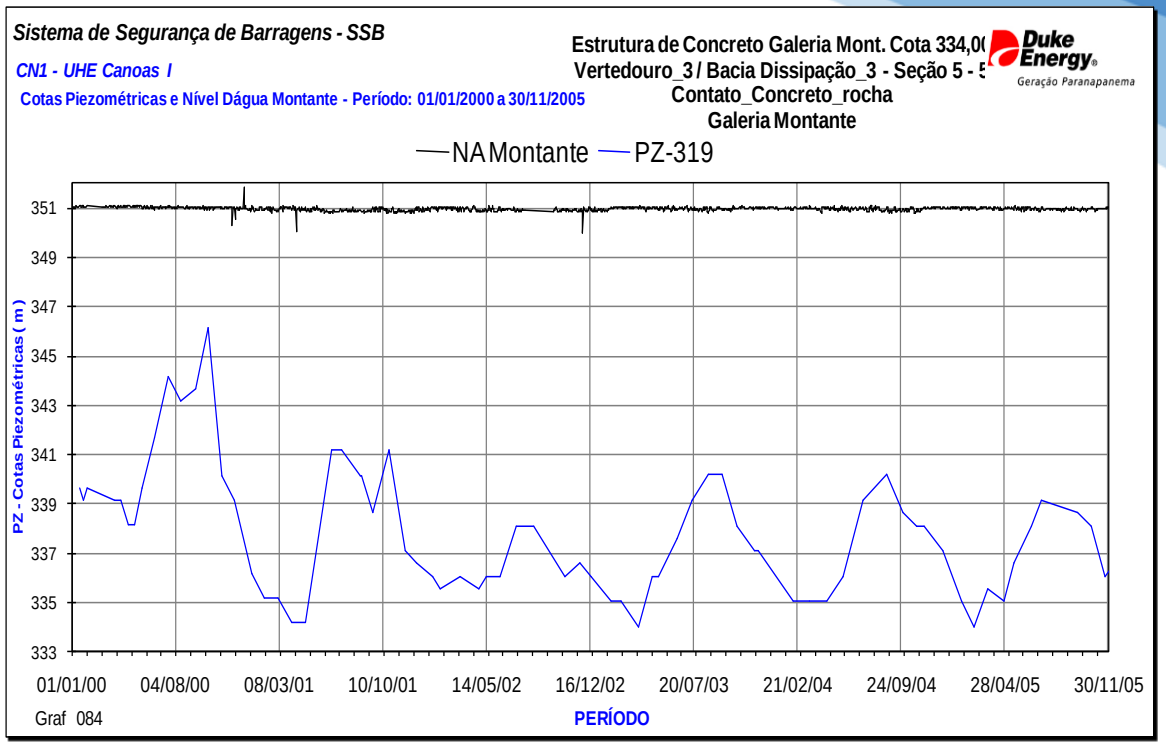


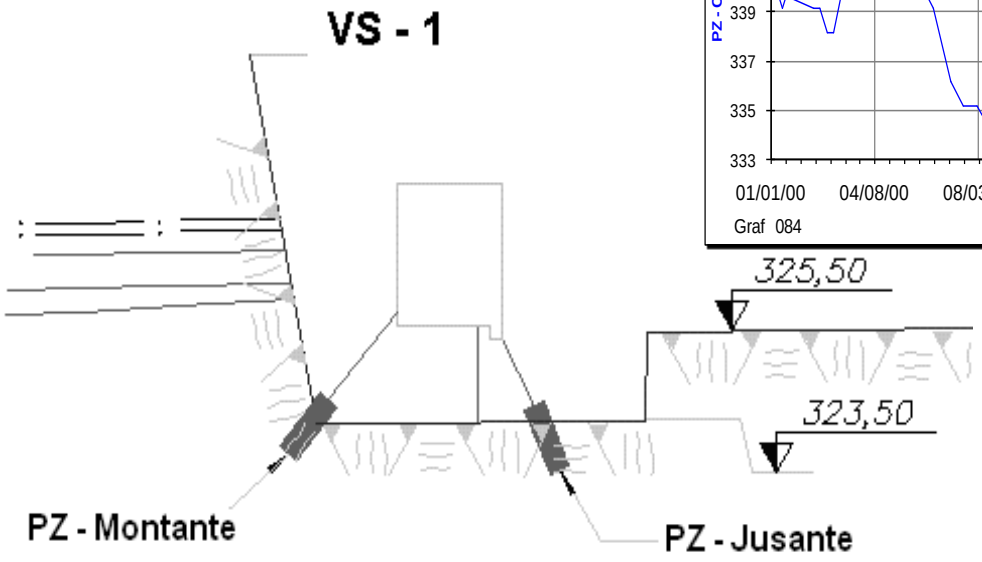
Leituras do PZ acompanhando a oscilação do N.A. do Reservatório

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPORTAMENTO TÍPICO DE PZ'S

Comportamento cíclico de PZ's no contato C/R





PZ no contato C/R na fundação do Vertedouro da UHE Canoas I

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPARAÇÃO COM VALORES DE PROJETO - TABELA

Bloco	Piezômetro	Níveis piezométricos (El. m)			
		Níveis de projeto p/ drenos operantes		Níveis medidos 28/12/09	Diferença NA medido menos NA Projeto ΔH (mca)
		N.A. El. 240,00	N.A. El. 246,41	(N.A. El. 239,67)	
B-06	PZ-1	211,88	220,69	199,18	-12,70
	PZ-2	211,88	220,69	199,21	-12,67
	PZ-3	**197,87**	212,02	**199,11**	**1,24**
	PZ-4	**197,92**	212,61	**199,10**	**1,18**
B-07	PZ-5	212,18	220,69	199,59	-12,59
	PZ-6	212,18	220,69	201,10	-11,08
	PZ-7	**197,94**	212,69	**199,01**	**1,07**
B-09	PZ-8	212,20	220,69	200,87	-11,33
	PZ-9	212,20	220,69	203,17	-9,03
	PZ-10	**197,94**	212,74	**199,13**	**1,19**
B-11	PZ-11	212,20	220,69	200,10	-12,10
	PZ-12	212,20	220,69	205,15	-7,05
	PZ-13	**197,53**	212,72	**205,86**	**8,33**
B-13	PZ-14	211,88	220,69	200,65	-11,23
	PZ-15	211,88	220,69	202,33	-9,55
	PZ-16	**197,90**	212,33	**199,61**	**1,71**
	PZ-17	**197,93**	212,67	**199,83**	**1,90**

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

COMPARAÇÃO COM VALORES DE PROJETO - GRÁFICO

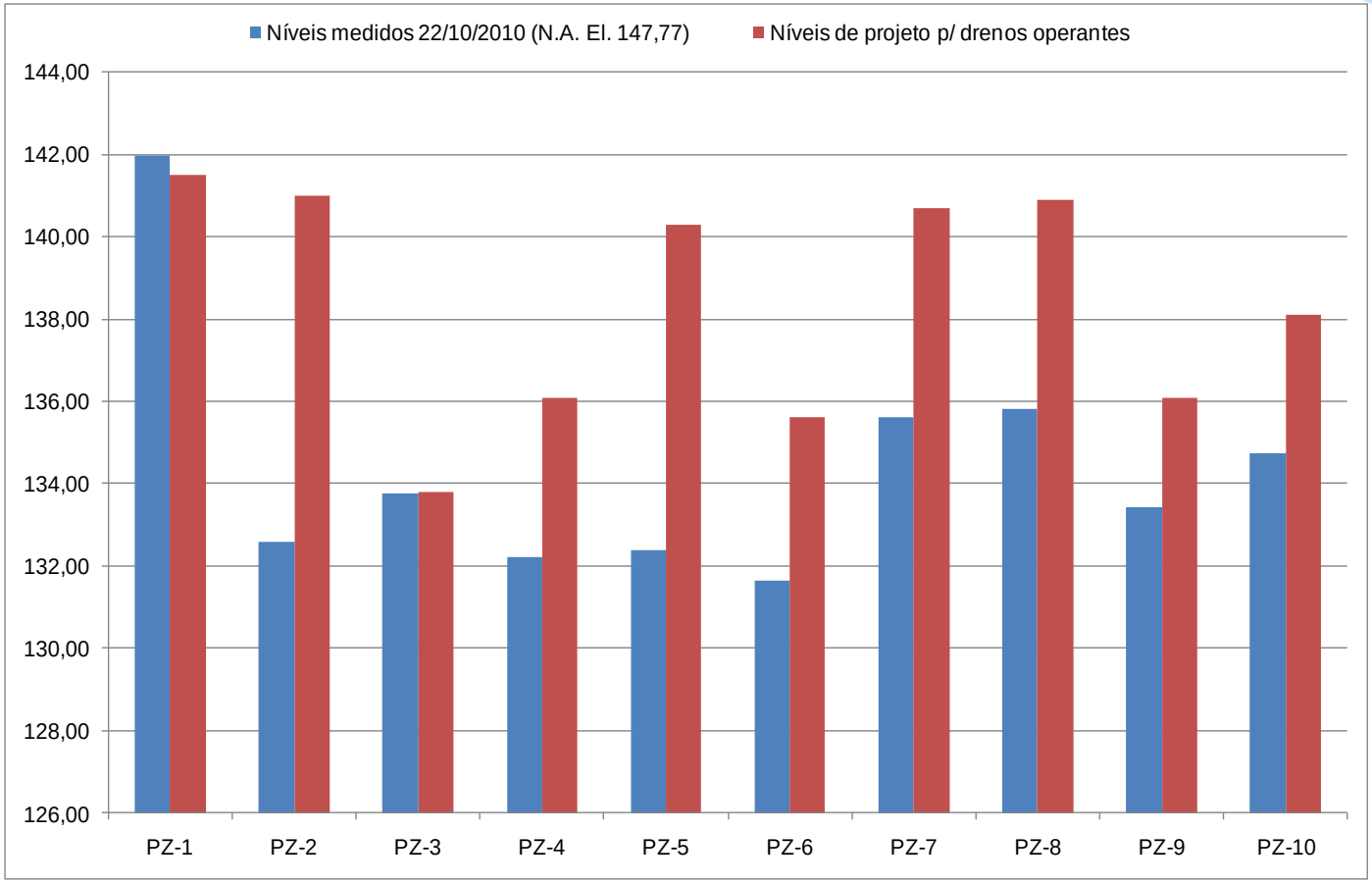
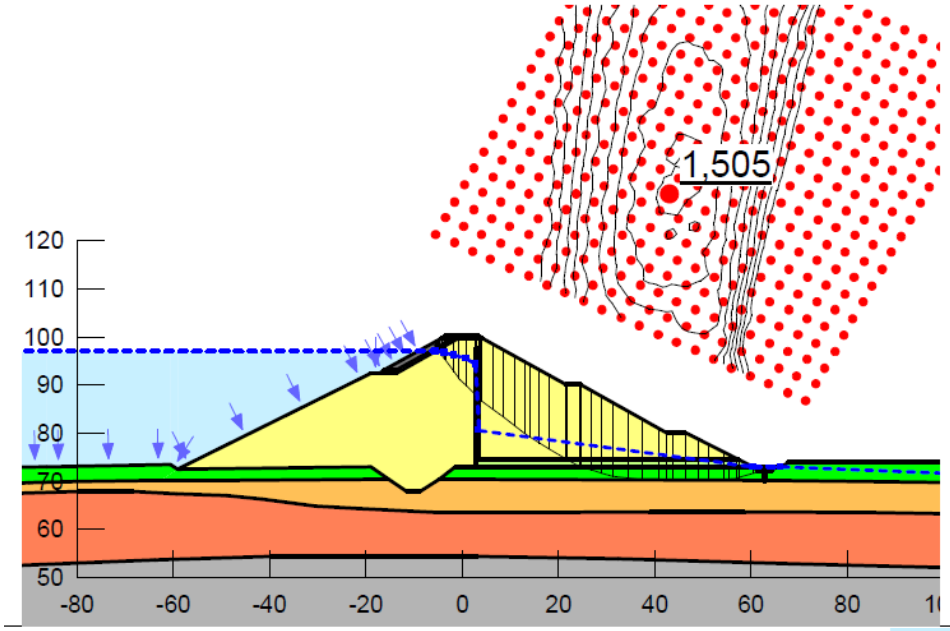


Gráfico comparativo entre subpressões teóricas e medidas

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

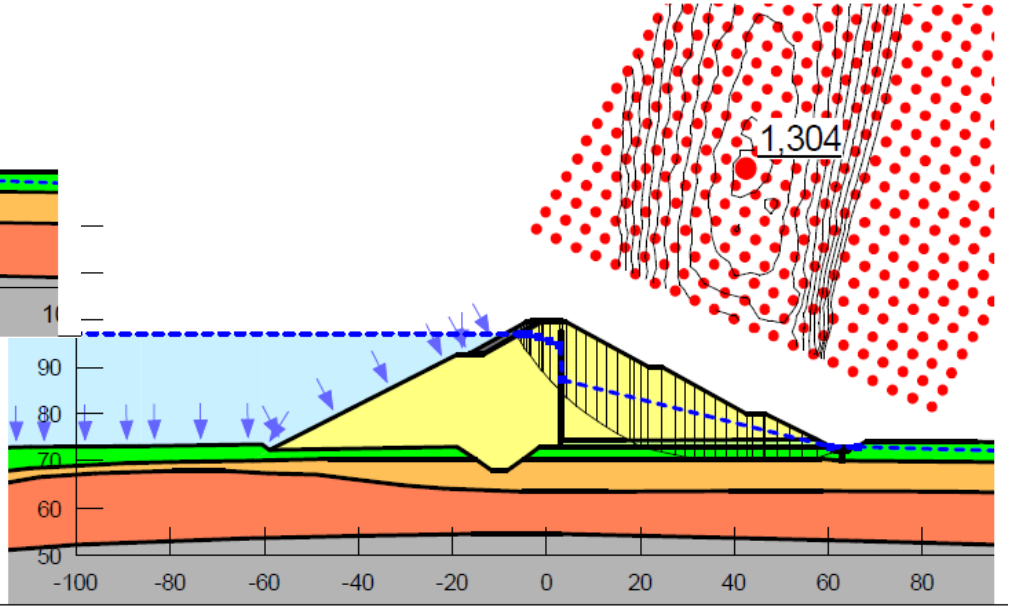
VALORES DE CONTROLE PARA PZ's BARRAGEM TERRA/ENR.

Dique 7B - Seção 3 – Piezômetros PZ-D07B-08 e 09 - nível de atenção.



ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO E ESTABILIDADE

que 7B - Seção 3 – Piezômetros PZ-D07B-08 e 09 - nível de alerta.



Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

VALORES DE CONTROLE PARA PZ's BARRAGEM CONCRETO

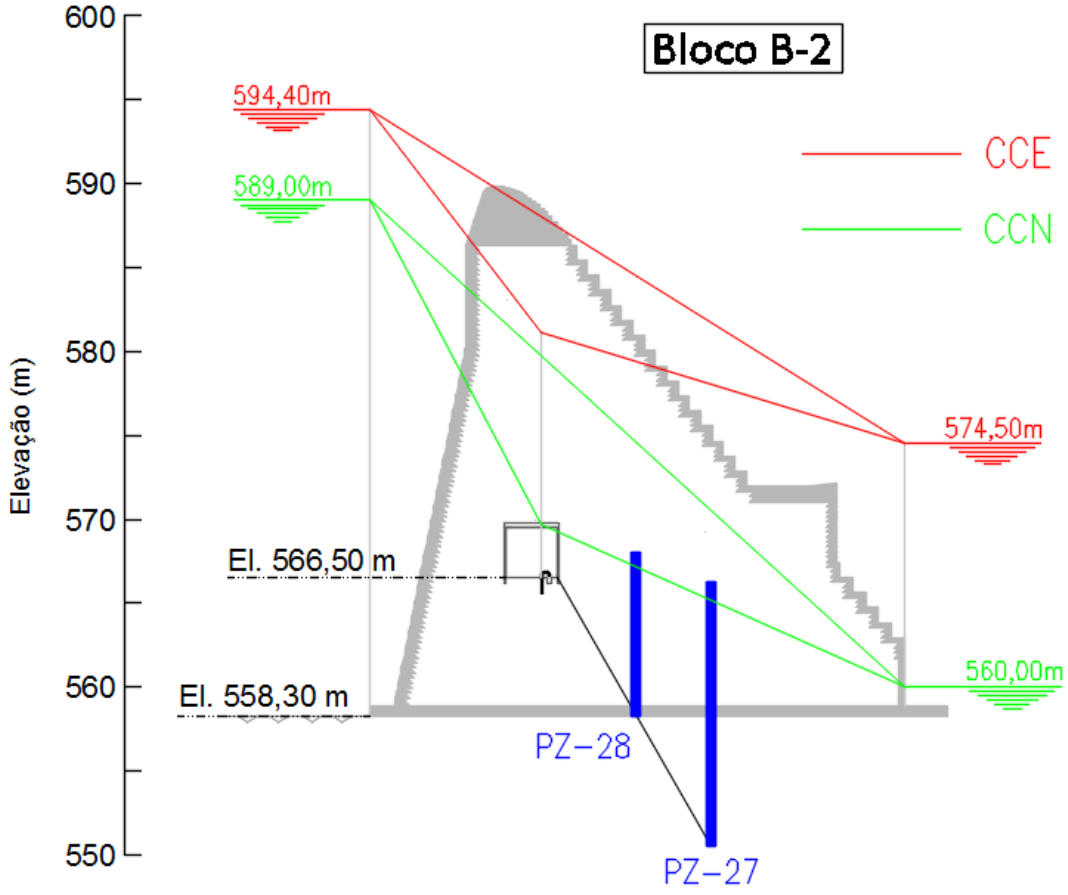
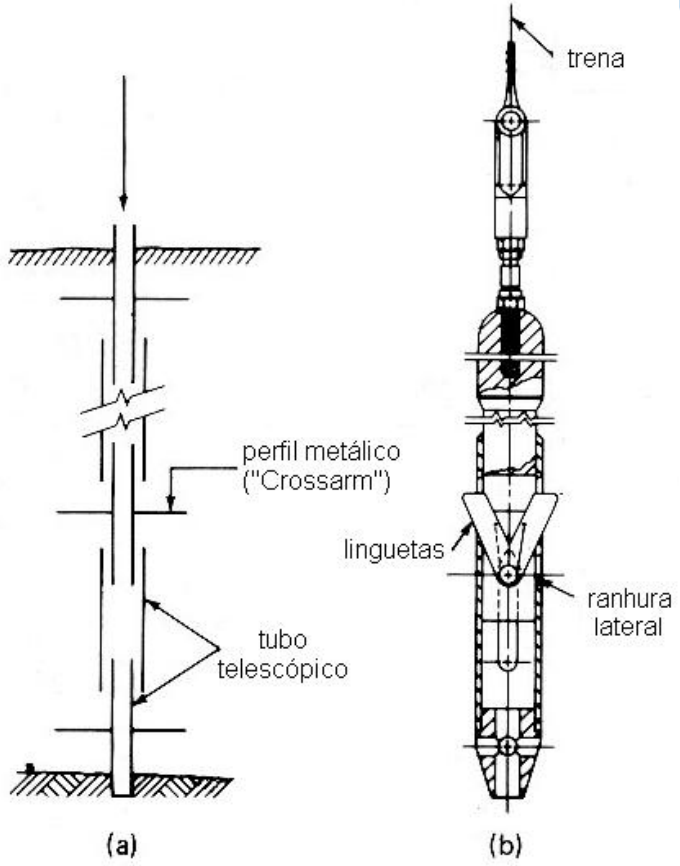


Diagrama de subpressões na fundação de barragens de concreto

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIÇÃO DE RECALQUES

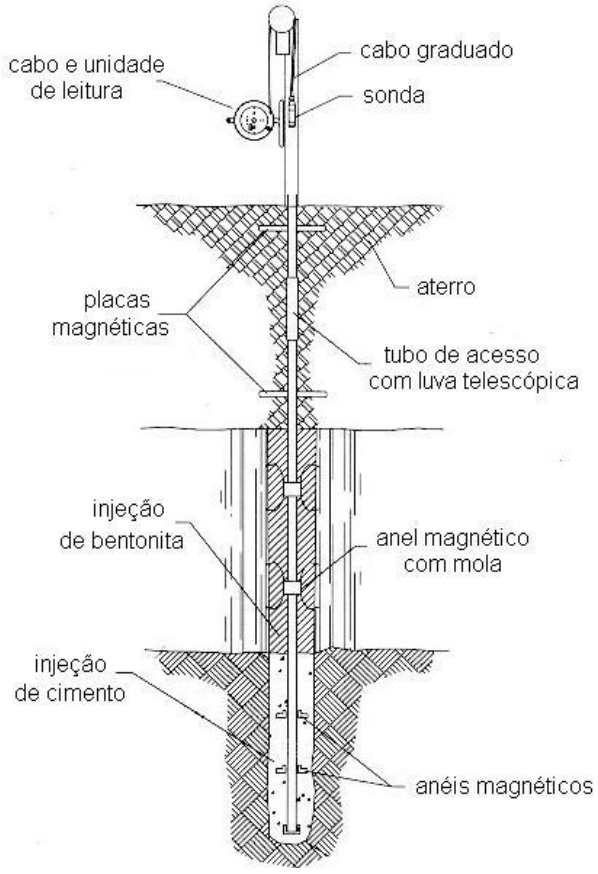
Medidor tipo KM instalado na crista da barragem de Canoas II.



Medidor de recalque tipo USBR.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE RECALQUE



Perfil de instalação de um medidor magnético de recalque.

Torpedo e trena para leitura do medidor magnético tipo GEOKON.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE RECALQUE

O que é lido:

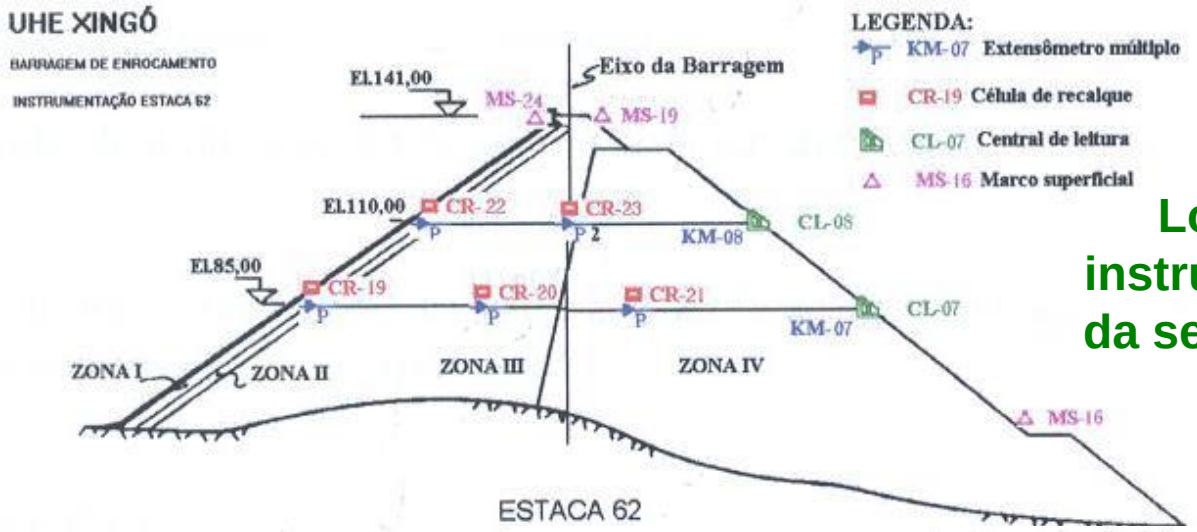
- ✓ São medidos os recalques (deslocamentos verticais) das placas, inseridas na superfície de fundação ou no aterro, em relação a um referencial fixo em profundidade (rocha sã).

Cuidados na Instalação:

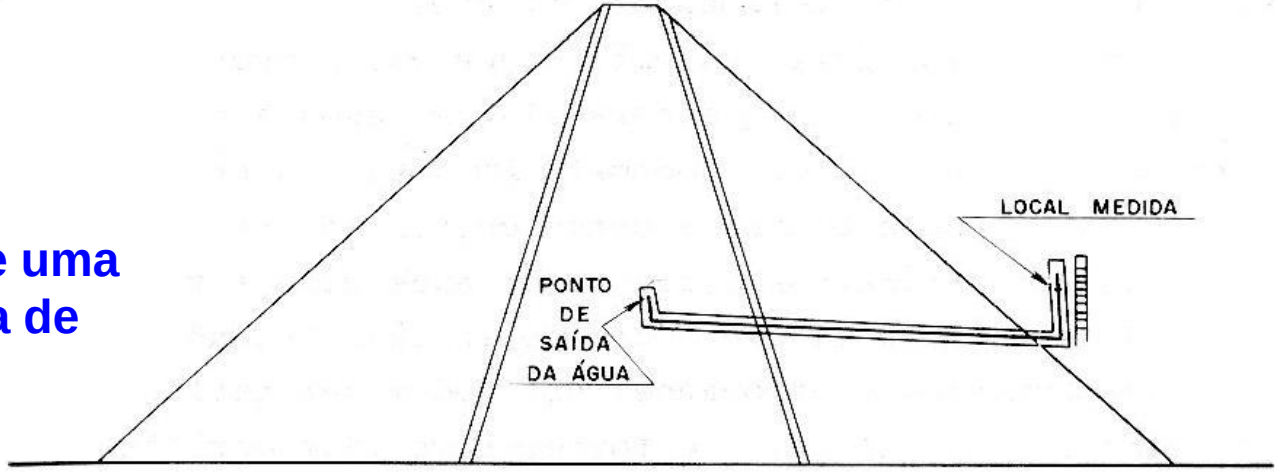
- ✓ Realizar controle topográfico do nível de instalação das placas e do topo do tubo de referência, para assegurar que este tubo esteja fixo e que não haja perda dos recalques medidos.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

CÉLULAS DE RECALQUE



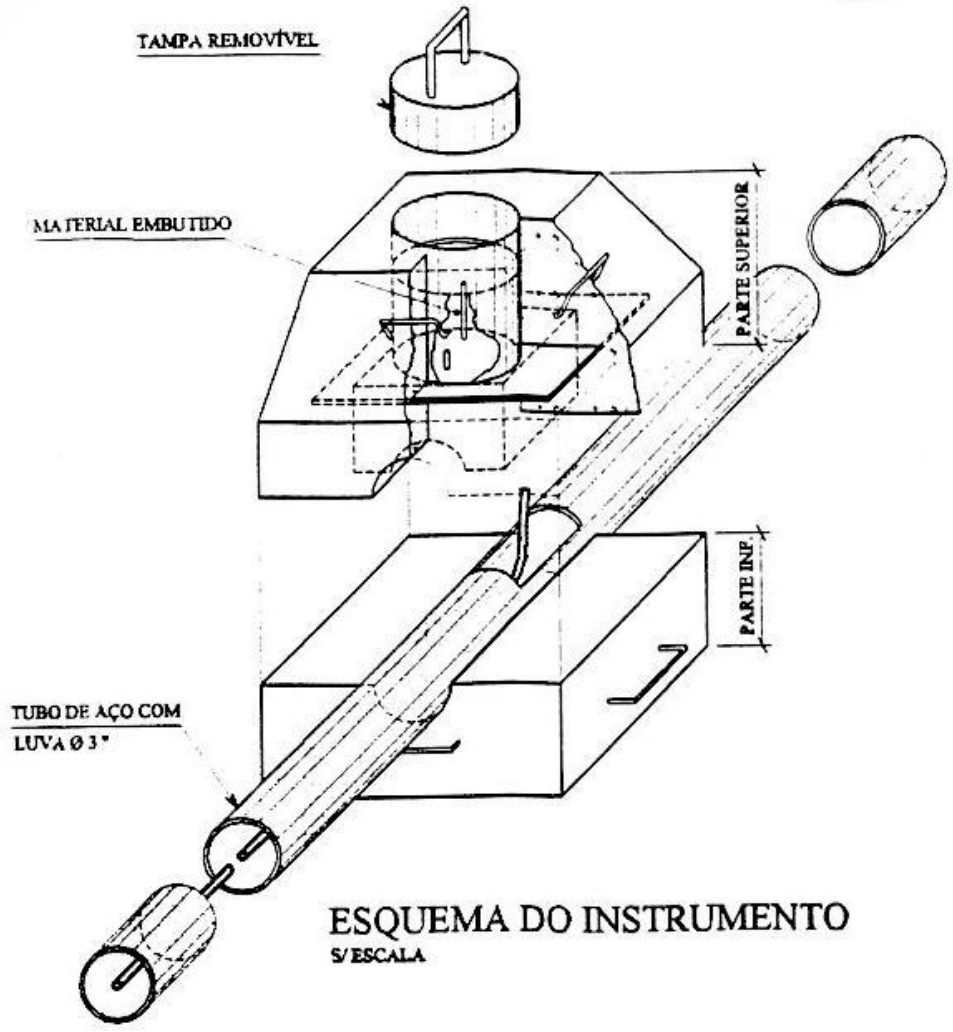
Localização dos instrumentos ao longo da seção da barragem.



Esquema de funcionamento de uma célula hidráulica de recalque.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

CÉLULAS DE RECALQUE

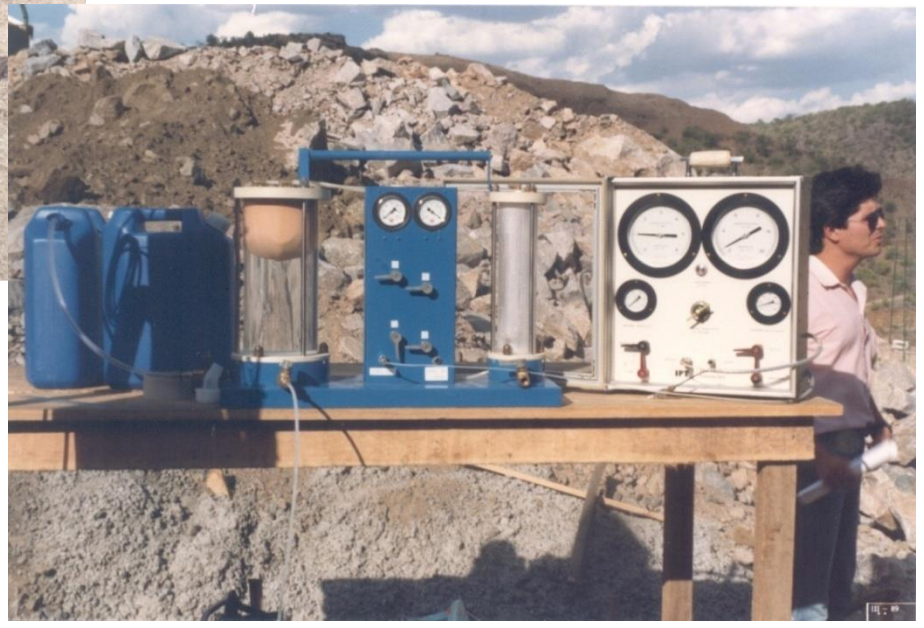


Perspectiva da célula hidráulica de recalque empregada nas BEFC de Xingó, Itá e Itapebi.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

CÉLULAS DE RECALQUE

Instalação de célula de recalque junto com extensômetro múltiplo horizontal tipo KM, na BEFC de Xingó.



Sistema de aeração empregado nas BEFC de Xingó e Itá.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

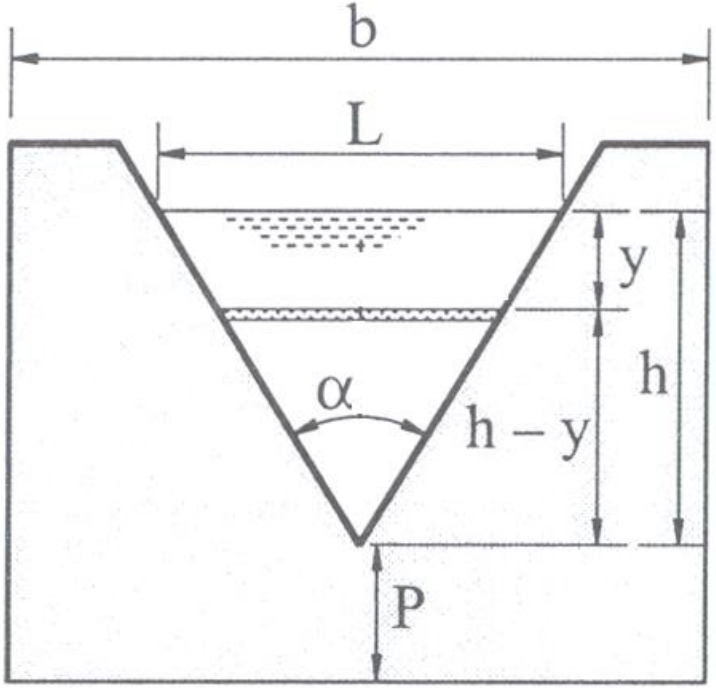
- DEFINIÇÃO: Instrumento concebido para medir as vazões de drenagem através da fundação, e as infiltrações através do aterro.

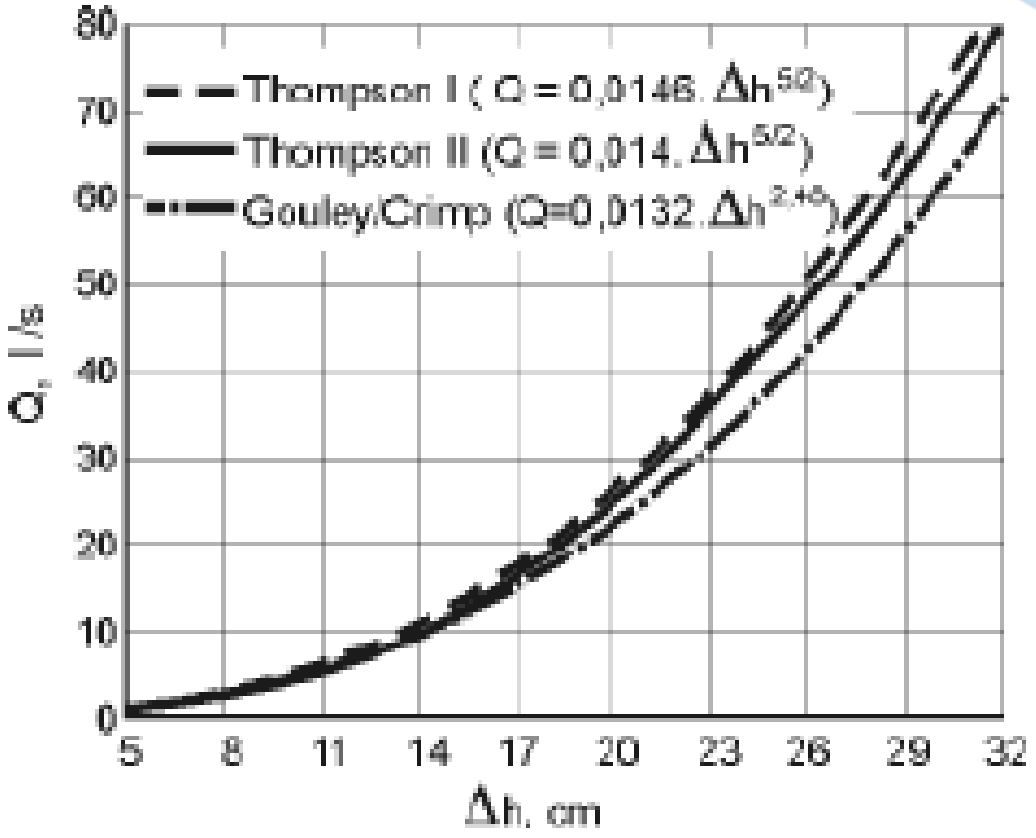
- O QUE É LIDO: Determina-se a coluna d'água (ΔH) no medidor, através da qual pode-se calcular a vazão, através de uma fórmula experimental, função do ângulo da lâmina do medidor triangular, ou do tipo de medidor:

$$Q = 1{,}32.H^{5/2} \text{ (triangular 90°)}$$

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

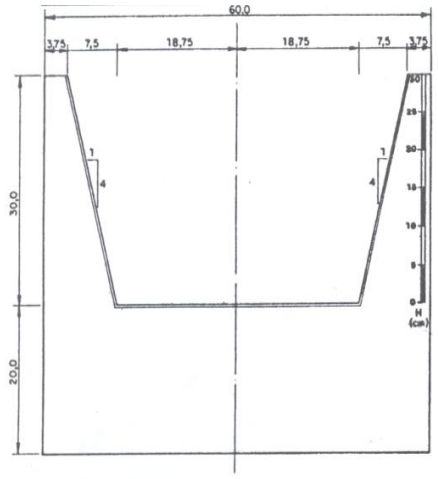
MEDIDOR DE VAZÃO





Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO



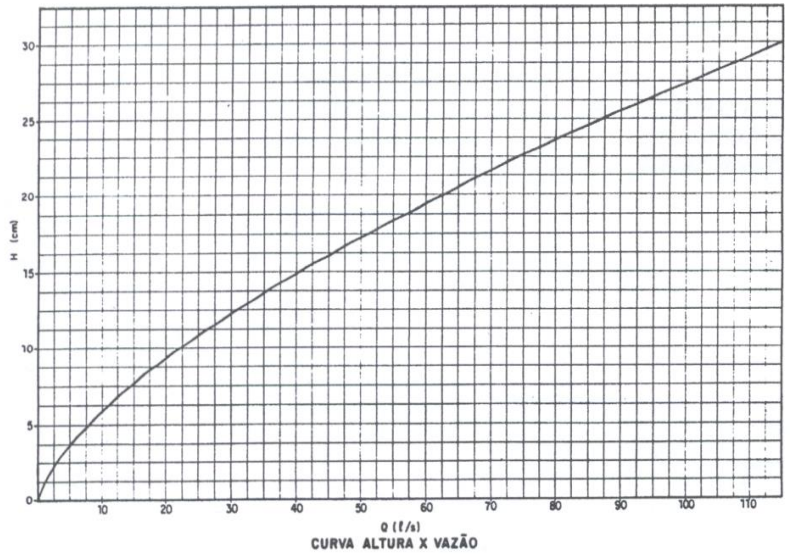


Gráfico para medidores trapezoidais tipo Cipoletti

($Q = 0{,}0186.L.H^{3/2}$)

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

- Medidor Trapezoidal adequado para vazões mais altas

- Medidor Triangular adequado para vazões mais baixas

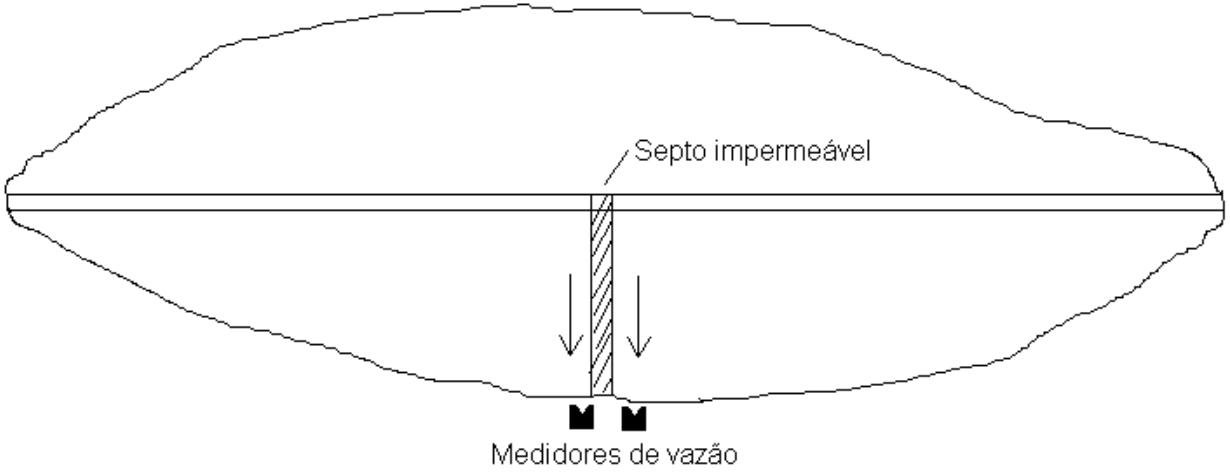
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

Medidor de vazão para recipiente e cronômetro na PCH Andorinhas

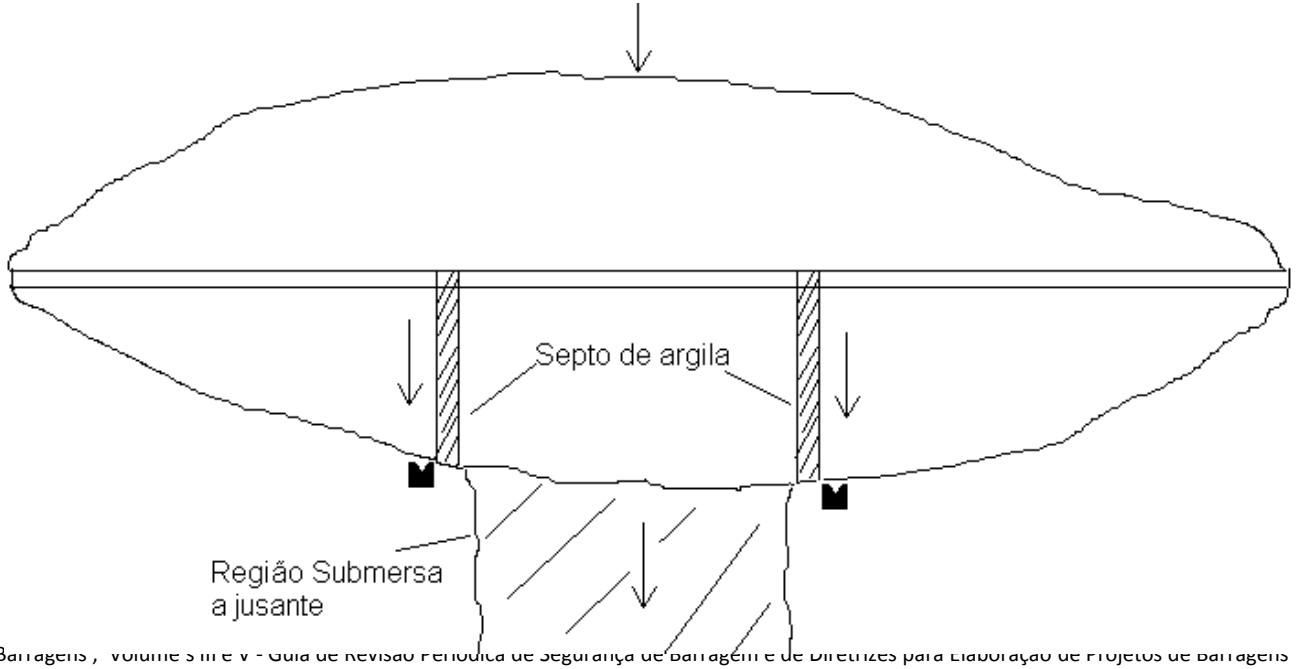
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO



Barragem de médio porte com septo impermeável central e dois medidores de vazão.

Barragem com área alagada a jusante, na região da calha do rio.



Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume 3 III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

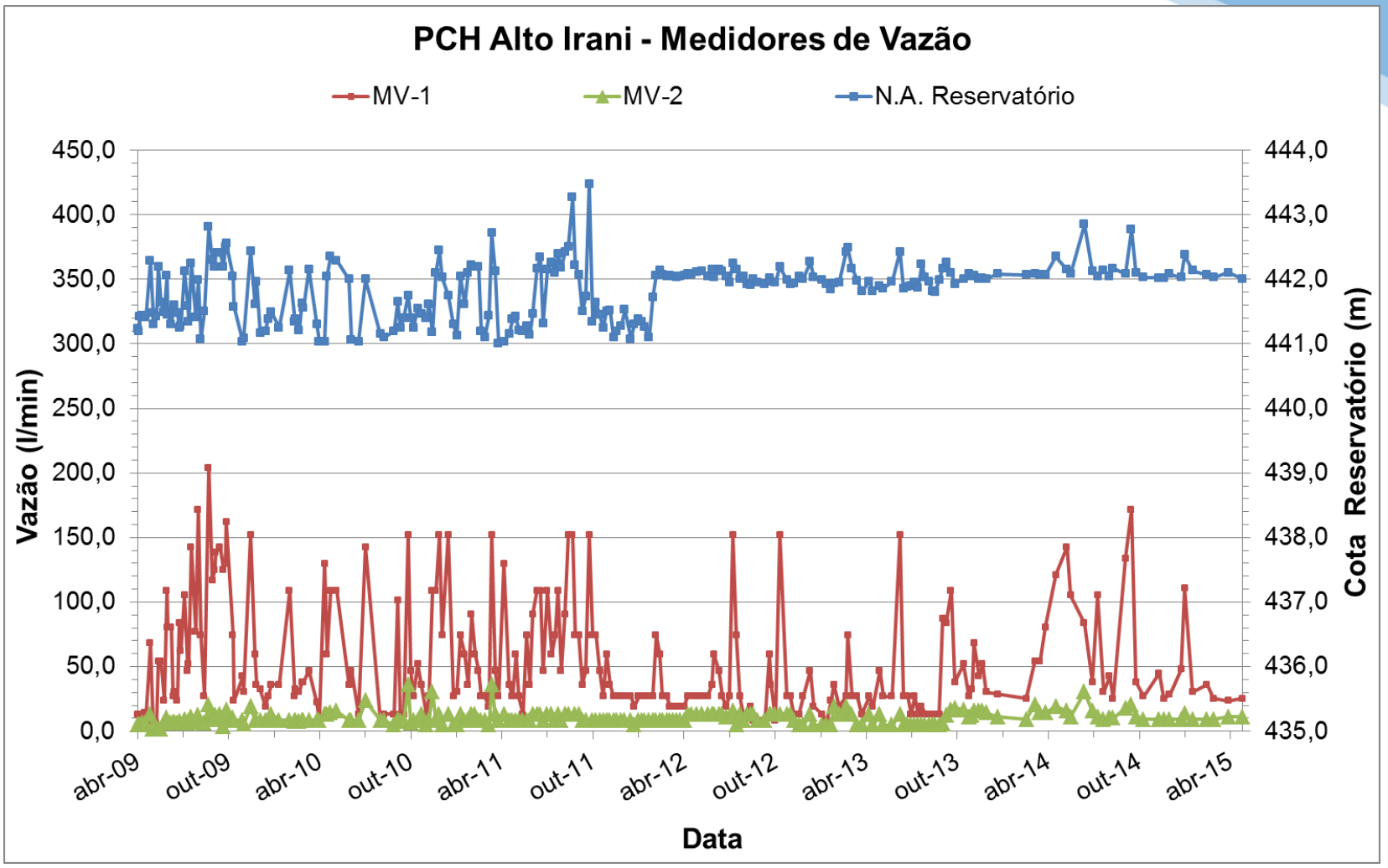
Freqüências de leitura:

- ✓ Fase enchimento do Reservatório: leituras diárias
- ✓ Primeiro ano de operação: 3 por semana
- ✓ Fase de operação: semanal

Medidor triangular de vazão interligado ao ADAS, na fundação das estruturas de concreto da barragem Principal de Itaipu

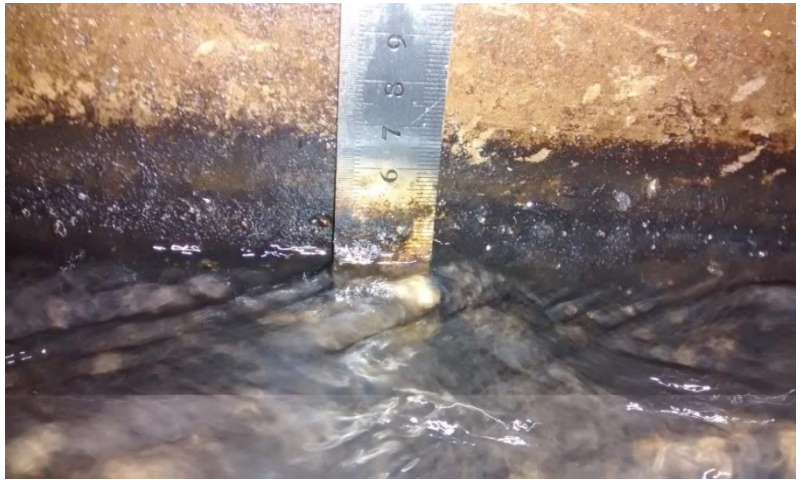
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

GRÁFICO DO MEDIDOR DE VAZÃO



Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDORES DE VAZÃO



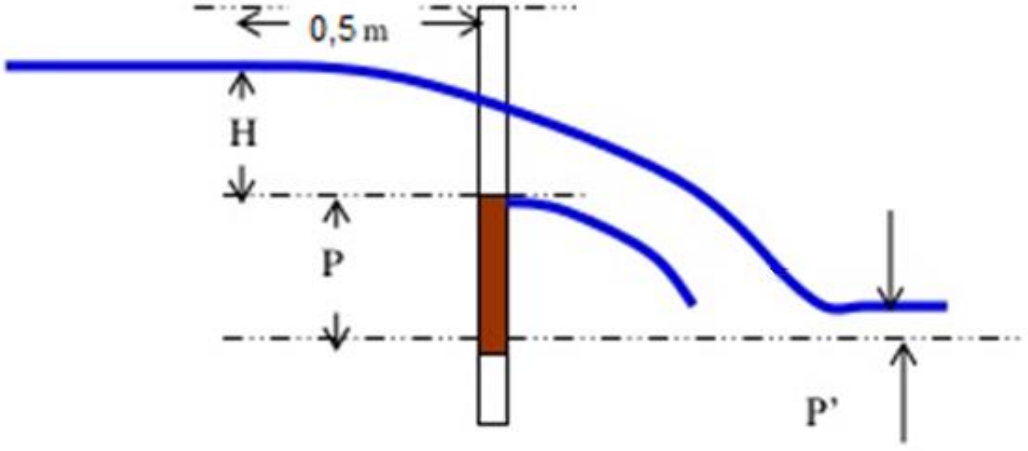
- Régua metálica oxidada, impossibilitando leituras precisas

- Réguas plásticas que possibilitam leituras mais precisas

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

- Medidor de Vazão afogado



- Deplecionamento da lâmina d'água a partir de 0,5 m do medidor

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

- Limpeza da placa triangular com crosta de carbonato no vértice.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

- Troca da lâmina para se adequar à vazão mais baixa ou mais alta

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR DE VAZÃO

- Aferição com balde e cronômetro

✓ Leitura na régua = 13,7 l/min (3,0 cm)

✓ Aferição = 46,7 l/min

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL

- DEFINIÇÃO: MT's são instrumentos concebidos para observação dos deslocamentos diferenciais nas juntas de contração de uma estrutura, sendo instalados diretamente na parede da mesma, o que facilita sua operação e manutenção.

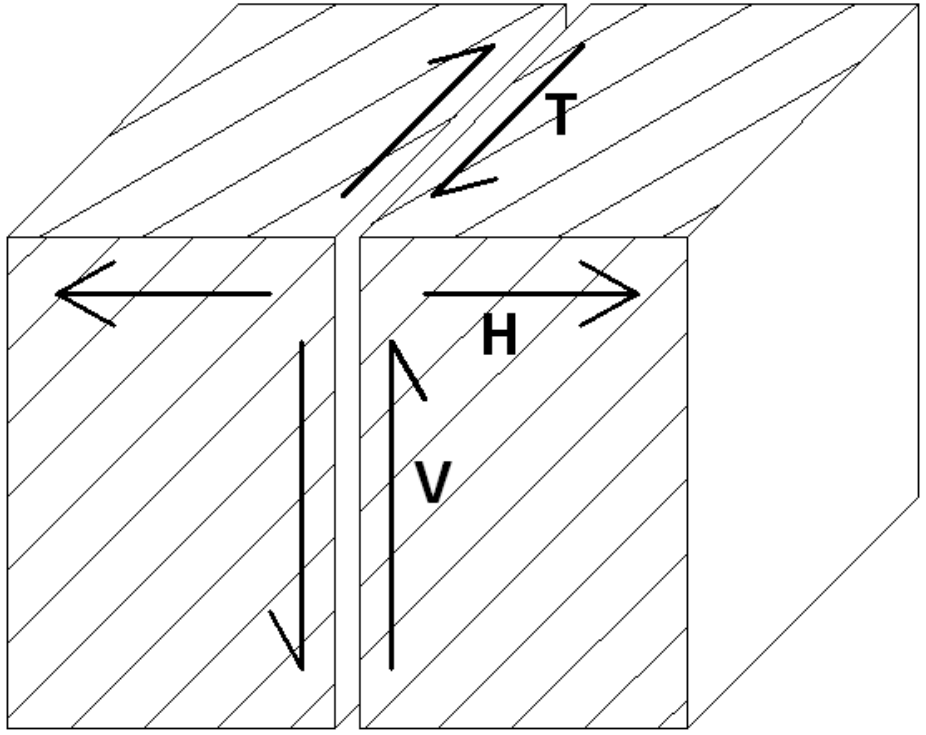
Detalhe do Medidor Triortogonal instalado em uma junta de contração entre blocos.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL

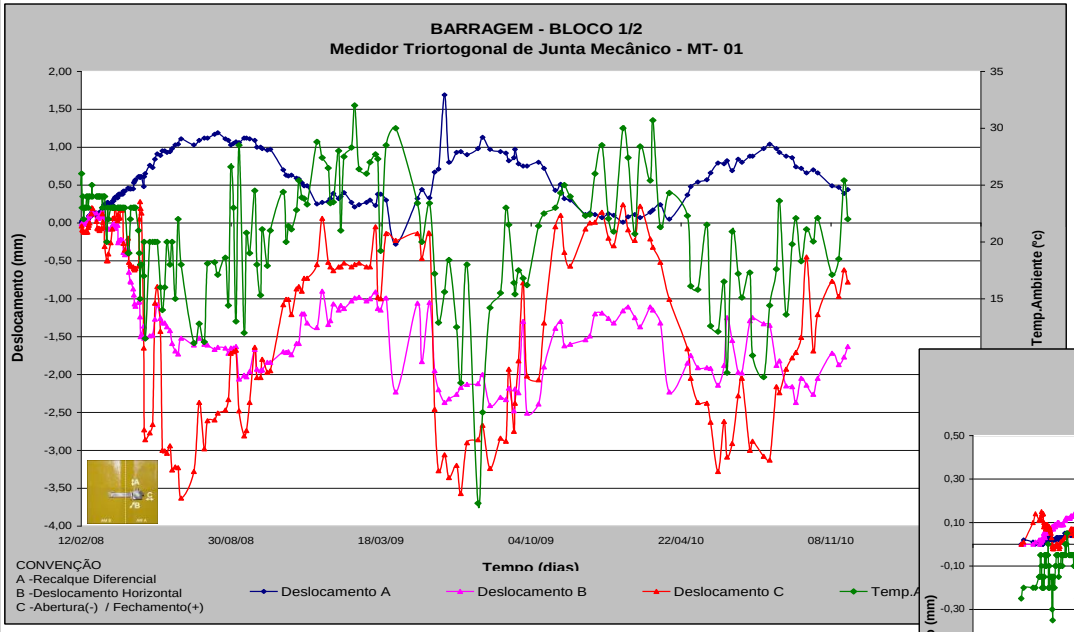
Através de leituras com um relógio comparador são medidas as três componentes dos deslocamentos diferenciais entre blocos, sendo elas:

Abertura – Fechamento da junta (H)
Recalque diferencial entre blocos (V)
Deslizamento horizontal entre blocos (T)

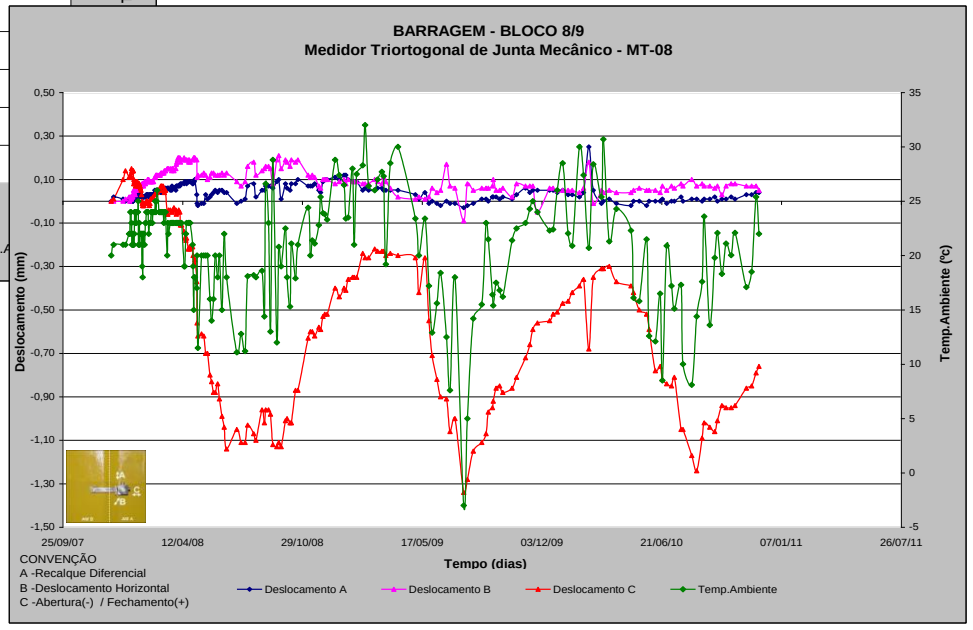


Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL



Medidor triortogonal na crista de uma barragem

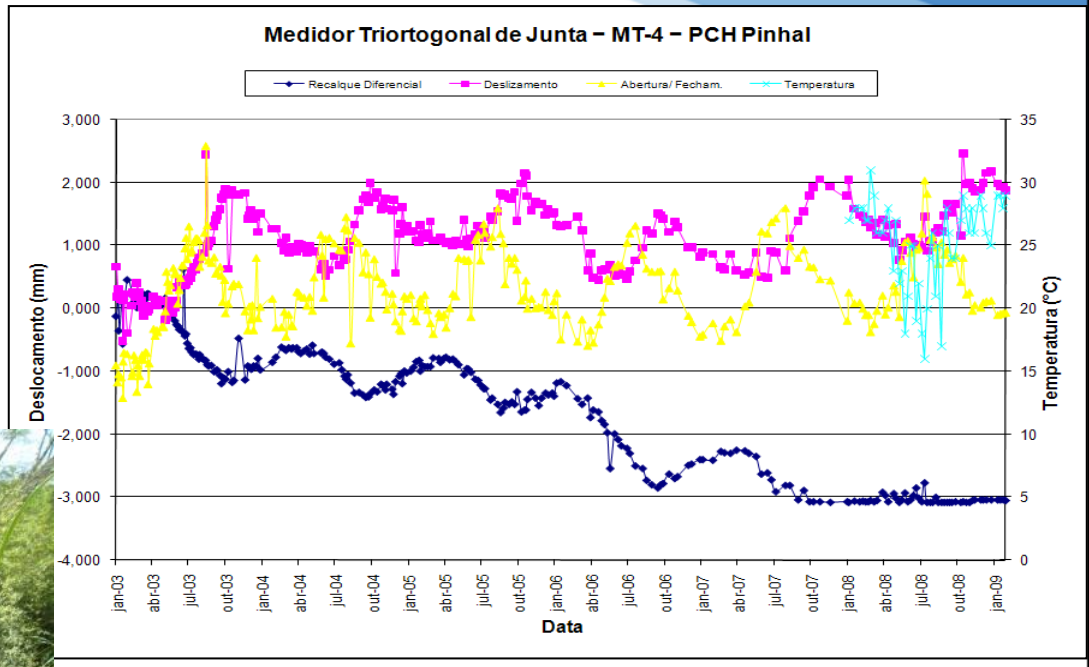


MT instalado na galeria de drenagem, com recalques e deslizamentos já estabilizados

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL

"Aparente" estabilização do recalque diferencial



Vista da junta na região do instrumento MT-4 em bom estado

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

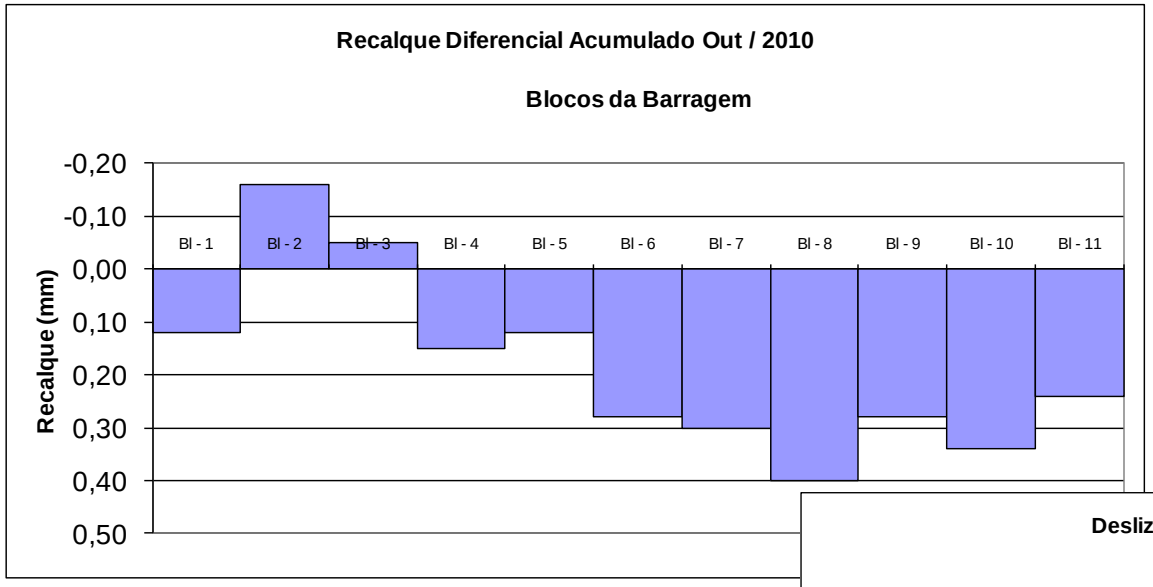
MEDIDOR TRIORTOGONAL

Escorrimento de água da junta sobre o medidor triortogonal na junta de contração.

Infiltração de dreno do teto, sobre o operador de um MT

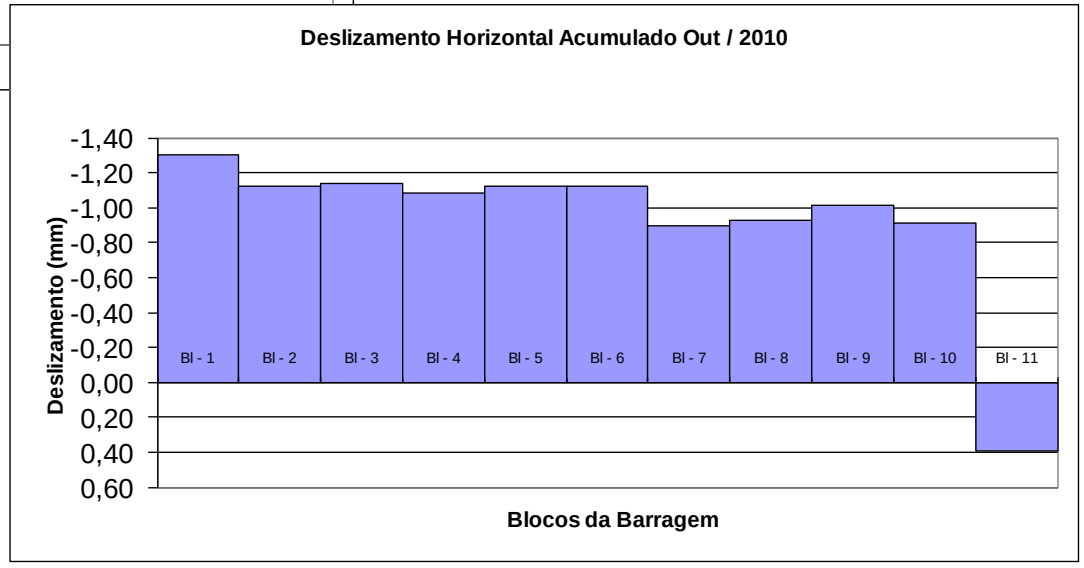
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL



Recalques acumulados ao longo do eixo da barragem

Deslizamentos horizontais acumulados ao longo do eixo da barragem



Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

MEDIDOR TRIORTOGONAL

Barragem	Deslocamentos diferenciais máximos *(mm)*		
	Abertura	Recalque diferencial	Deslizamento horizontal
Malagone	0,16	0,09	0,11
Três Irmãos	2,18	1,45	1,23
Água Vermelha	1,85	1,21	0,76
São Simão	1,31	0,73	**2,58**
Paulo Afonso IV	2,25	0,70	0,25
Xingó	0,66	0,50	0,86
Nova Avanhandava	0,44	0,28	0,22
Itá (CF)	0,80	0,30	0,40
Canoas I	**2,80**	**1,60**	**1,30**
Canoas II	0,57	0,48	0,34
Dona Francisca	0,63	0,25	0,35
Itaipu – Bar. Gravidade	1,10	0,50	0,20
Itaipu – Bar. Grav. Aliviada	**3,30**	**3,20**	0,90
Itaipu – Bar. Contrafortes	2,30	1,00	0,80

Tabela de deslocamentos diferenciais máximos observados em várias barragens brasileiras

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

EROSÃO NA BASE DO MURO ESQUERDO DO VERTEDOURO – UHE MONTE CLARO

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

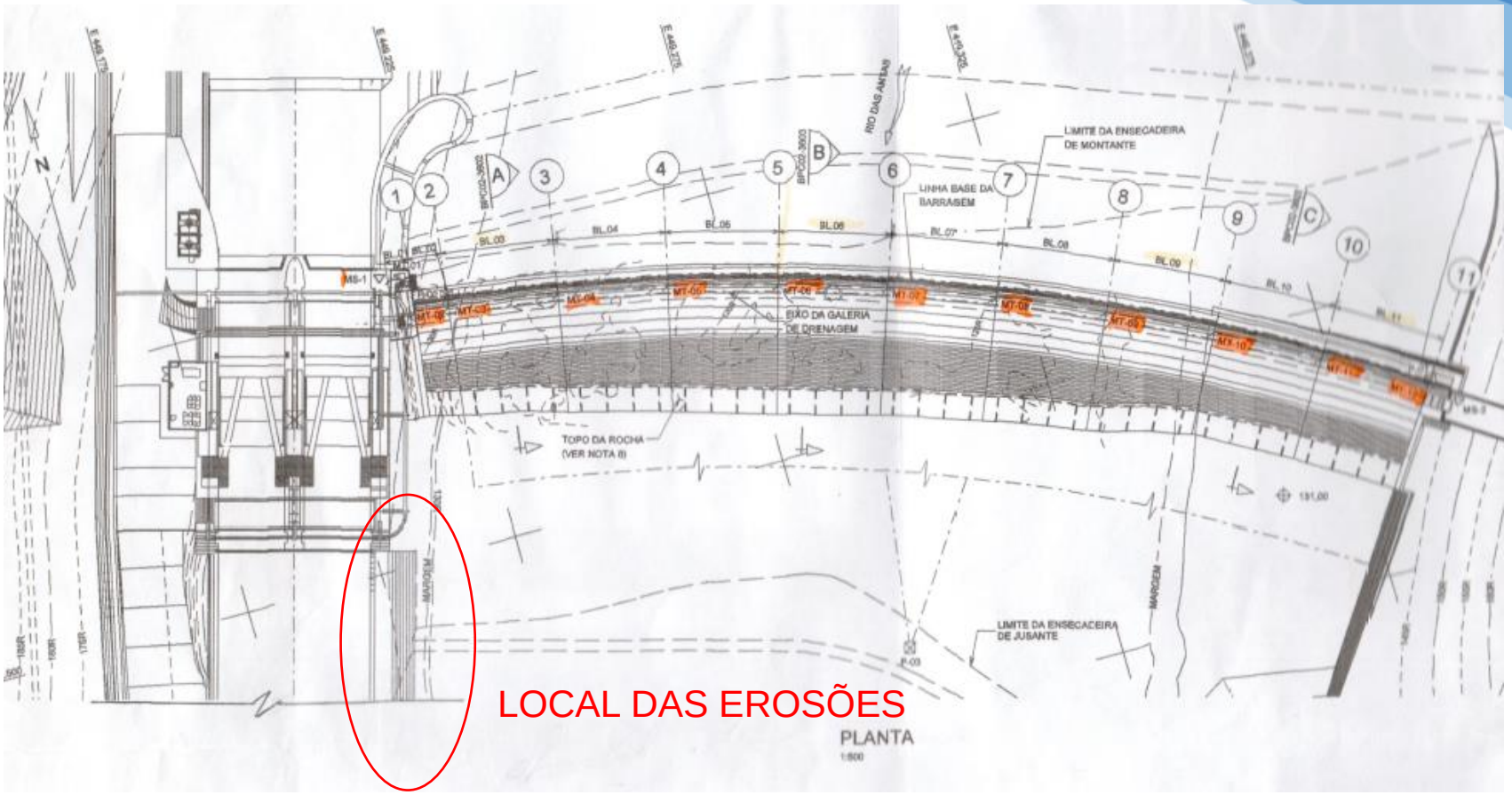
DETECÇÃO DA EROSÃO - Abril/2009

Medições realizadas na lateral do muro, para a locação da erosão.

Vista do muro em Abril/2015 com certa lavagem da rocha mais alterada.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

LOCAL DAS EROSÕES EM PLANTA



PLANTA GERAL DA BARRAGEM DE MONTE CLARO COM A INDICAÇÃO DO MURO LATERAL ESQUERDO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

VISTA GERAL DA BARRAGEM E DA BACIA DE DISSIPAÇÃO

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTALAÇÃO DO MT-13

ACOMPANHAR EVENTUAL DEFLEXÃO DO MURO COMO CONSEQUÊNCIA DA EROSÃO NA LATERAL.

Escada e plataforma para acesso ao MT-13

MT-13 na junta entre Muro Esquerdo e Vertedouro

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

NOVA INSPEÇÃO DA BASE (Nov/2014)

NESSA INSPEÇÃO PODE-SE INSPECIONAR A BASE DO MURO EM TODA SUA EXTENSÃO

Base do muro, onde se observou rocha de boa qualidade

Base do muro mais a jusante

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

NOVA INSPEÇÃO DA BASE (Nov/2014)

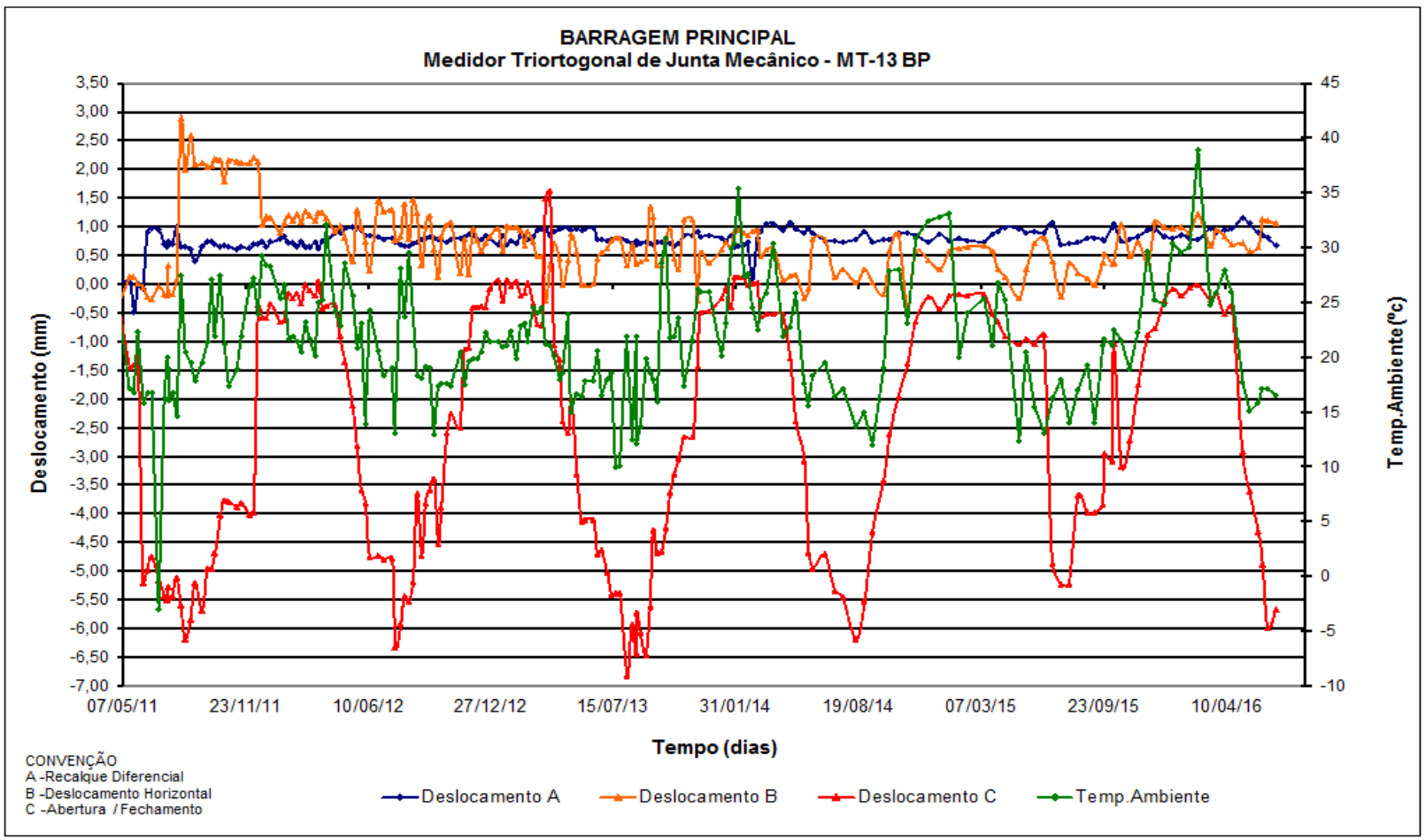
ENTRE 2009 E 2014 NÃO HOUVE NENHUMA PROPAGAÇÃO SIGNIFICATIVA DA REFERIDA EROSÃO

Trecho final apoiado sobre rocha um pouco mais alterada e fraturada

Erosão da rocha apenas sob a sapata lateral do muro

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

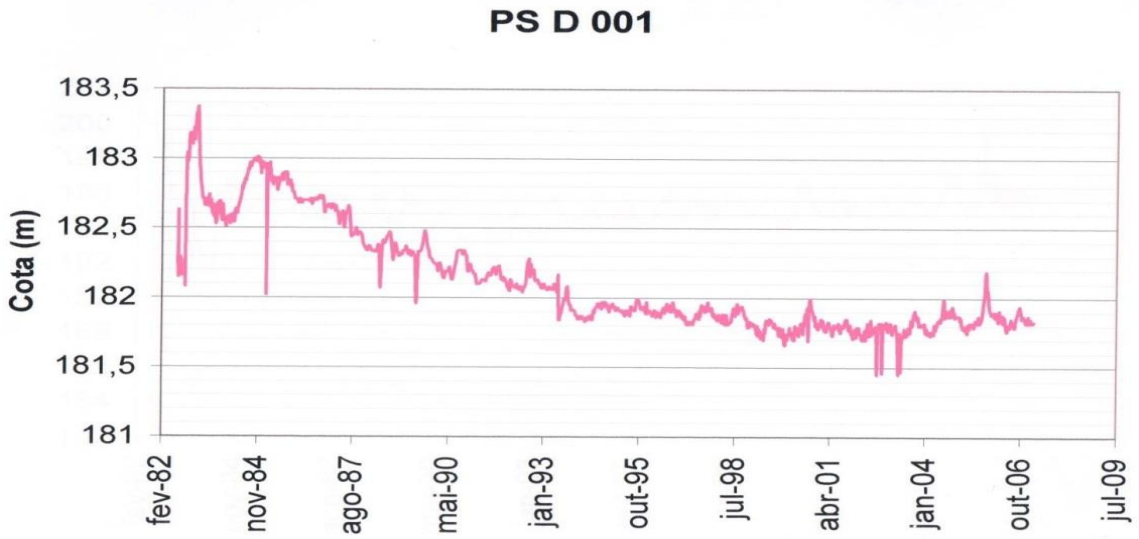
GRÁFICO MT-13 (2011/2016)

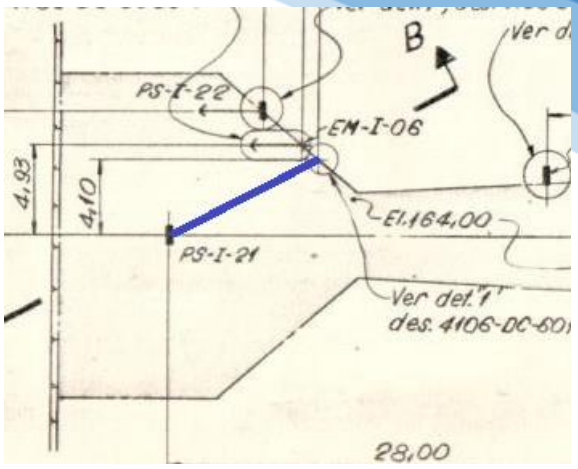


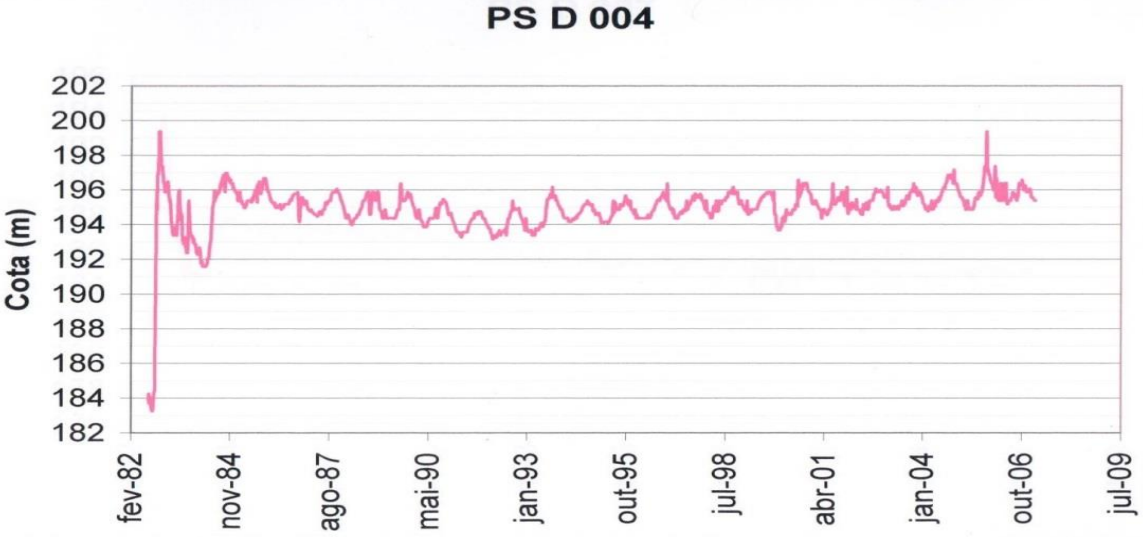
Recalque diferencial e deslizamento horizontal estabilizados, com variações térmicas da ordem de 6,5 mm entre verão e inverno, dentro da normalidade.

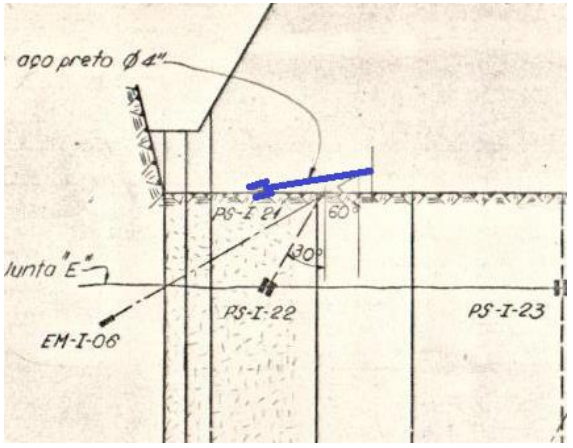
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

BARRAGEM ITAIPU - D1 e D3



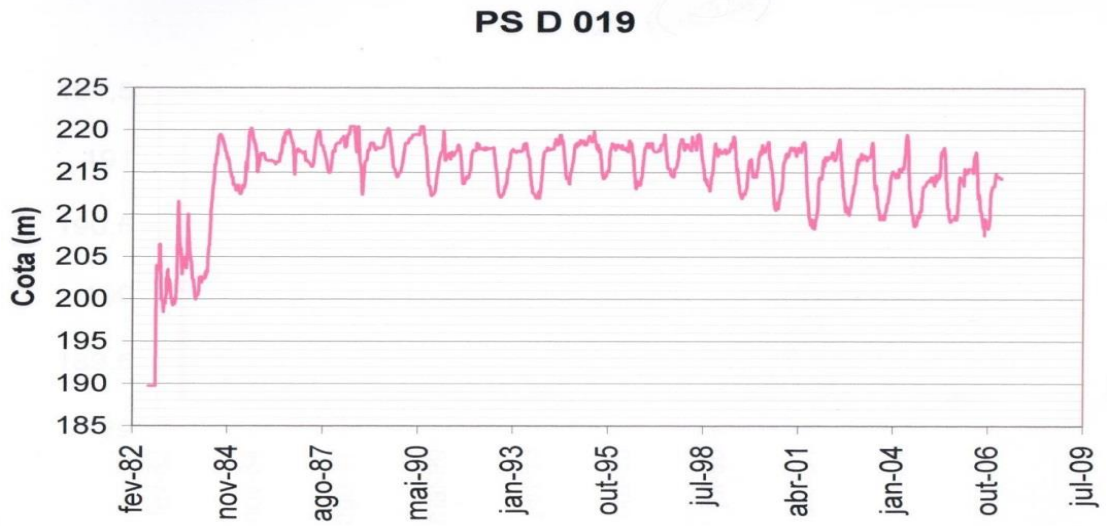


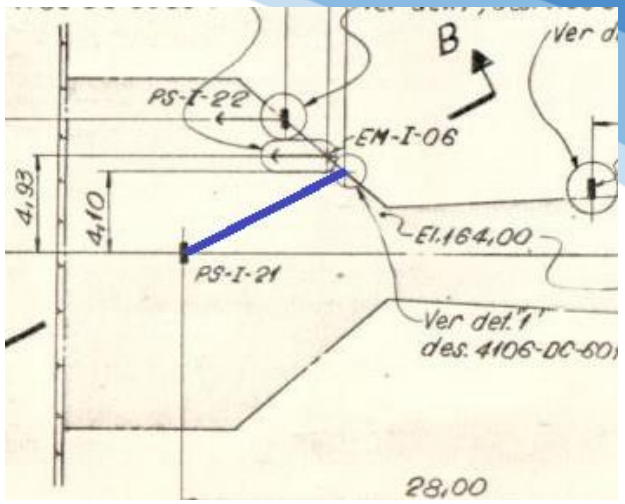


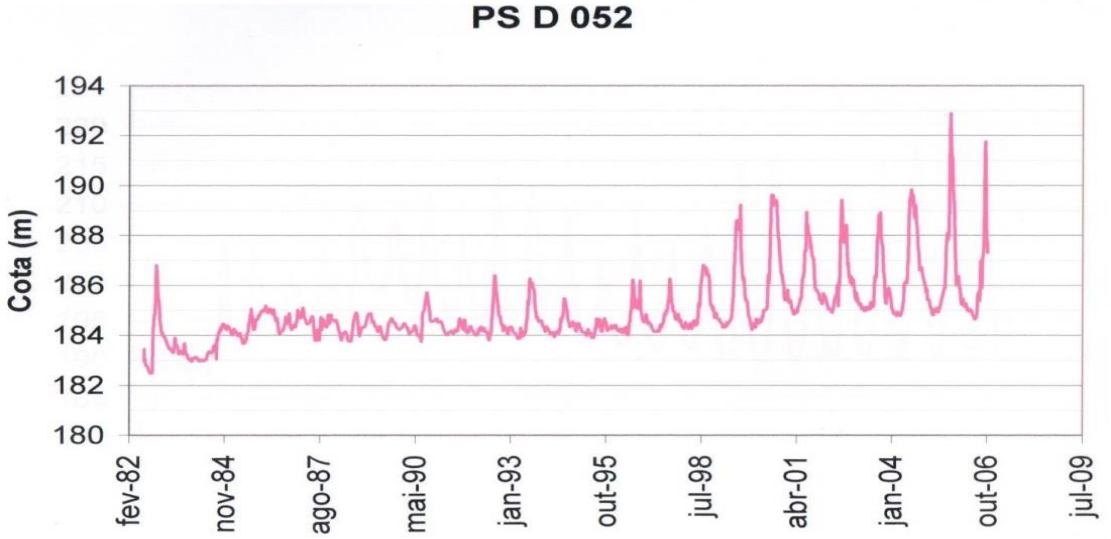


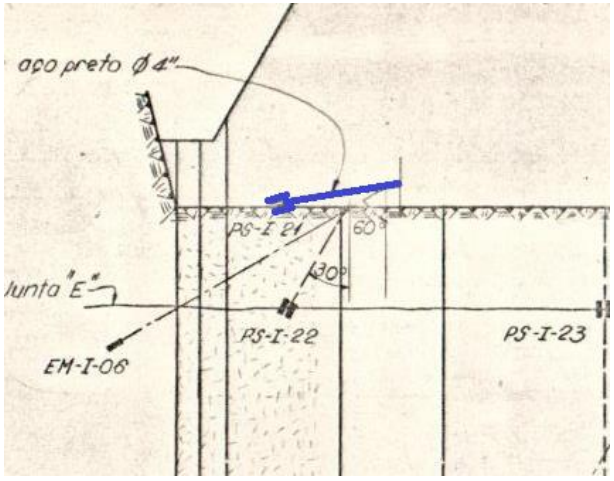
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

BARRAGEM ITAIPU - D8 E D20



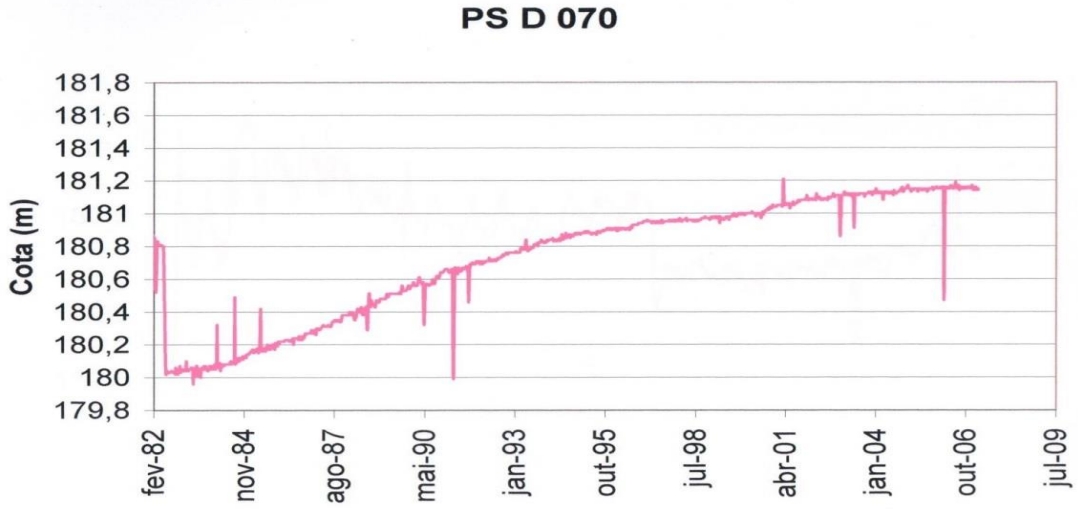


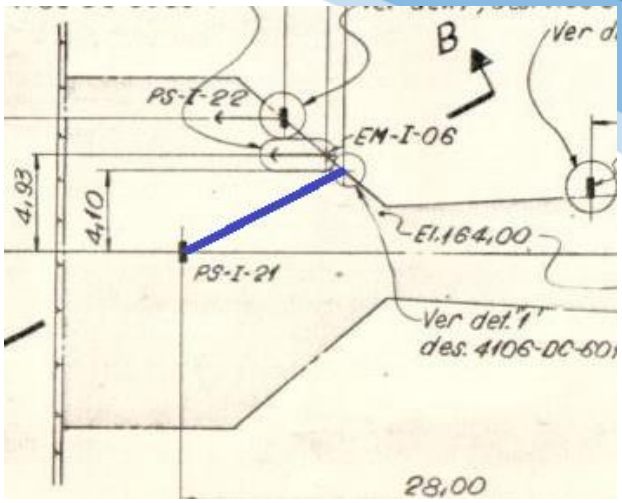


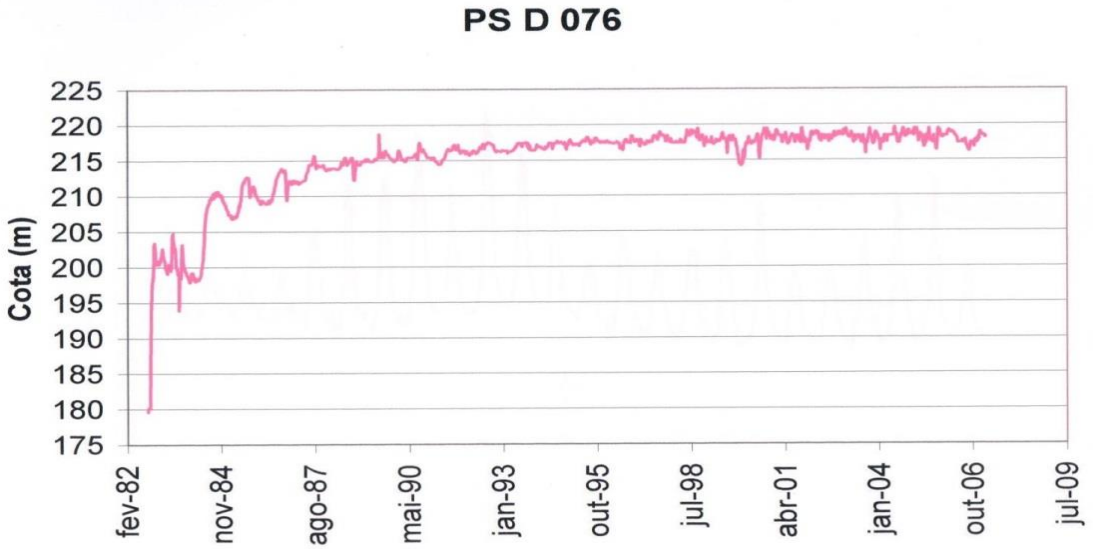


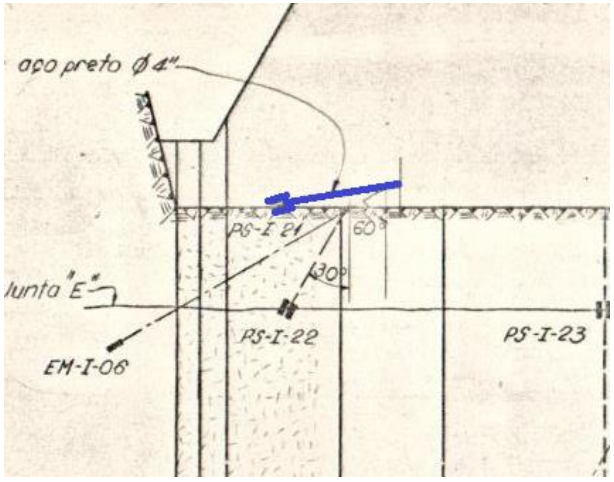
Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

BARRAGEM ITAIPU - D28 E D32



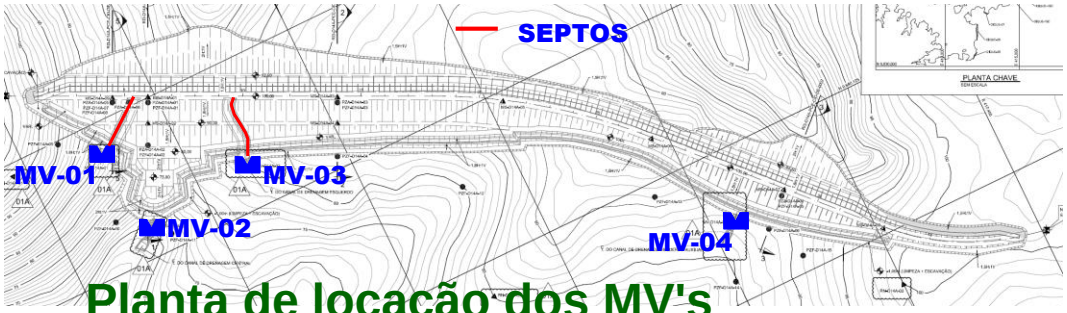






Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

ANÁLISE VAZÕES

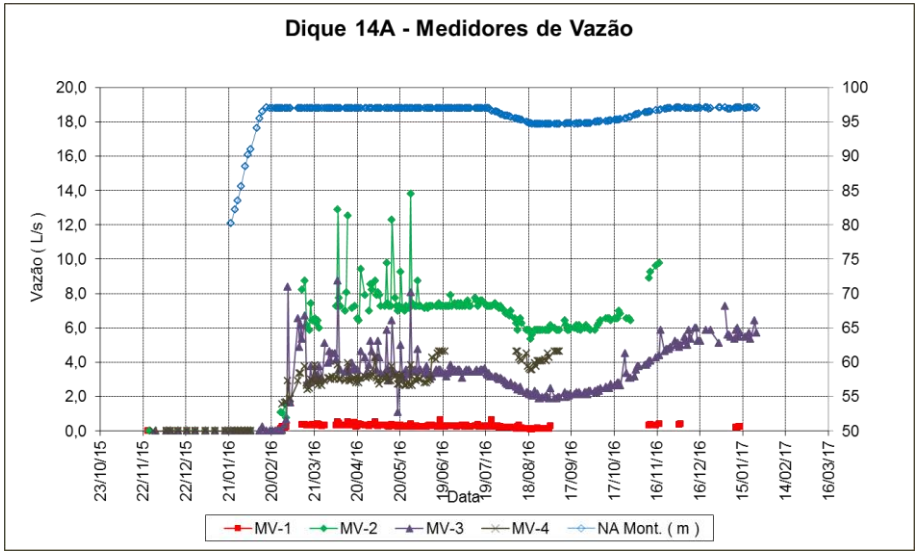


Planta de locação dos MV's

Q_{esp} = 4,44 l/min/m, acima do valor de "Atenção" (Q_{esp}<2,0 l/min/m).

Medidor	Leitura	Vazão (l/s)	Vazão (l/min)	Comprimento drenado (m)	Q espec. (l/min/m)
MV-1	13/01/17	0,23	13,66	92	0,15
MV-2	**15/11/16**	**9,60**	**575,79**	**80**	**4,44 (*)**
MV-3	10/01/17	5,86	207,00	350	0,59
MV-4	08/09/16	4,62	277,02	330	0,84

(*) Foi subtraída a vazão do MV-1 e MV-3 para cálculo da vazão específica.



A soma das vazões atingiu 852,81 l/min, a qual em função dos 852 m de comprimento resultou em Q_{esp} = 1,00 l/min/m (Q_{esp}<2,0 l/min/m).

Vazões até 24/01/17.

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTRUMENTAÇÃO DEFICIENTE

Emprego de peças de má qualidade, nos piezômetros de fundação de uma Barragem

Medidor triortogonal de junta "torto"

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

INSTRUMENTAÇÃO DEFICIENTE

Escoamento turbulento na proximidade do medidor de vazão.

Boas condições de fluxo

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens

Barragem Amir – Irã, construída há ~ 1000 anos

Fonte: ANA, Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens , Volume s III e V - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem e de Diretrizes para Elaboração de Projetos de Barragens