

CONTROLO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM DO AZIBO

SAFETY CONTROL OF AZIBO DAM

PEDRO SIMÃO SÊCO E PINTO^{*}

JOAQUIM MOURA ESTEVES^{**}

SUMÁRIO

Após uma descrição dos estudos geológicos e geotécnicos efectuados, apresenta-se e justifica-se o perfil tipo adoptado para a barragem do Azibo. Tecem-se algumas considerações sobre os sistemas de observação instalados na barragem visando o seu controlo de segurança. No âmbito da problemática evocada apresentam-se os resultados da medição das vibrações no descarregador de superfície devido à explosão de uma mina localizada nas proximidades da barragem.

SYNOPSIS

After a description of the geological and geotechnical studies performed the cross-section of Azibo dam is presented and justified. Some comments related with the monitoring devices installed in the dam with the purposes of safety control are presented. The results of the measurements of vibration at the spillway related with the blasting of a mine located nearby the dam are discussed.

*Engº. Civil, Investigador Principal e Chefe do Núcleo de Fundações do LNEC

**Engº. Civil, Investigador Coordenador e Chefe do Núcleo de Prospeccção do LNEC

1 - INTRODUÇÃO

No âmbito das características geológicas e geotécnicas do local, justifica-se o perfil tipo adoptado para a barragem do Azibo e descrevem-se, sucintamente, os órgãos anexos. Aborda-se a problemática do controlo de segurança da barragem referindo-se à definição e exploração dos sistemas de observação, à interpretação dos resultados obtidos, às inspecções visuais e às medidas correctivas. Analisam-se os efeitos das explosões resultantes da exploração de uma mina, localizada na vizinhança, na segurança da barragem e apresentam-se algumas recomendações, visando minimizar o efeito das vibrações.

2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Os materiais geológicos que predominam no local da barragem pertencem ao complexo cristalofílico de Trás-os-Montes e são constituídos essencialmente por xistos clorito-grafitosos e anfibólicos. Estas formações encontram-se fortemente tectonizadas e exibem dobramentos e zonas de esmagamento mais ou menos intensas. Nas vizinhanças do local existe uma zona de cavalgamento (pertencente à complexa estrutura de Bragança - Vinhais) e algumas falhas regionais, sendo de referir a falha activa de Vilariça.

A prospecção realizada permitiu prever uma fundação adequada a cerca de 2 - 3 m de profundidade, à excepção das zonas de esmagamento e da zona dos depósitos com escavações da ordem de 4 a 5 m e 6 a 8 m, respectivamente.

Os ensaios de permeabilidade realizados durante a execução das sondagens mostraram a necessidade de se proceder ao tratamento de impermeabilização da fundação, através da execução de uma cortina de impermeabilização, com furos espaçados em princípio cerca de 5 m (sujeito a correcção posterior face aos resultados dos ensaios de absorção de água) e inclinados 75° para N e 10W, devido ao posicionamento das famílias de diaclases.

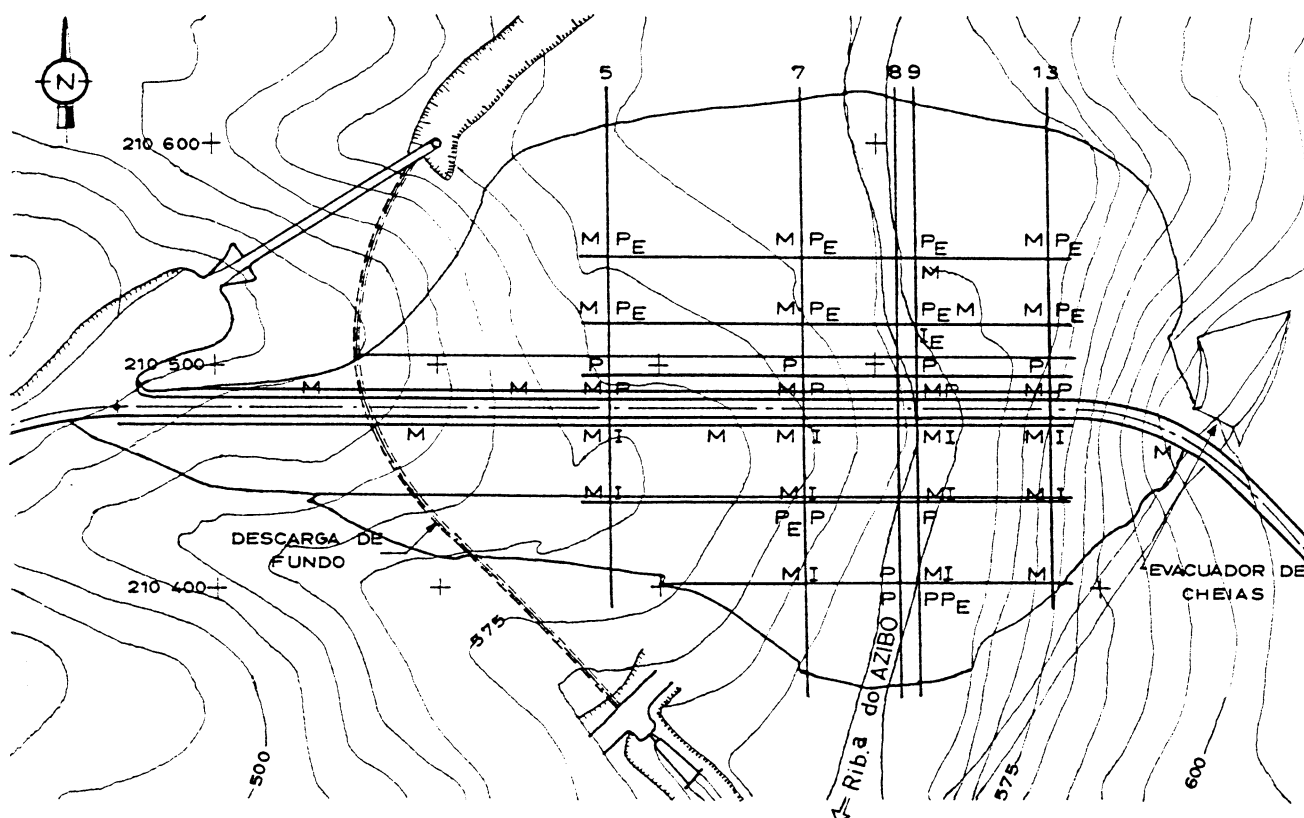
3 - DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ÓRGÃOS ANEXOS

Tendo em conta as características do maciço de fundação e dos materiais disponíveis considerou-se ser mais conveniente a construção de uma barragem de terra com 550 m de comprimento e 56 m de altura. O perfil tipo adoptado, ilustrado na Fig. 1, é constituído por um aterro central argiloso e um maciço estabilizador a jusante. O coroamento da barragem tem uma largura de 10 m, o paramento exterior de montante tem a inclinação de 3/1 e o de jusante de 2.25/1 possuindo três banquetas. Na interface do núcleo com o maciço estabilizador de jusante existe um filtro inclinado que continua por um tapete filtrante junto da fundação até atingir o maciço de enrocamento do pé de jusante (COBA, 1976).

O maciço estabilizador de jusante é constituído por materiais, provenientes das escavações referentes ao saneamento da fundação e ainda dos órgãos hidráulicos da barragem, dispondo no paramento de jusante de uma camada de enrocamento a granel, com 0,30 m de espessura.

A descarga de fundo é constituída por dois trechos em vala e um trecho intermédio em túnel (com cerca de 3 m de diâmetro), e tem um comprimento total de 408 m.

A tomada de água dispõe de uma galeria revestida a betão, com cerca de 155m, e de uma conduta metálica e exhibe um comprimento na horizontal de 185 m.



I - Inclinómetros
P - Piezómetros hidráulicos
P_E - Piezómetros eléctricos
M - Marcas superficiais

0 20 40m

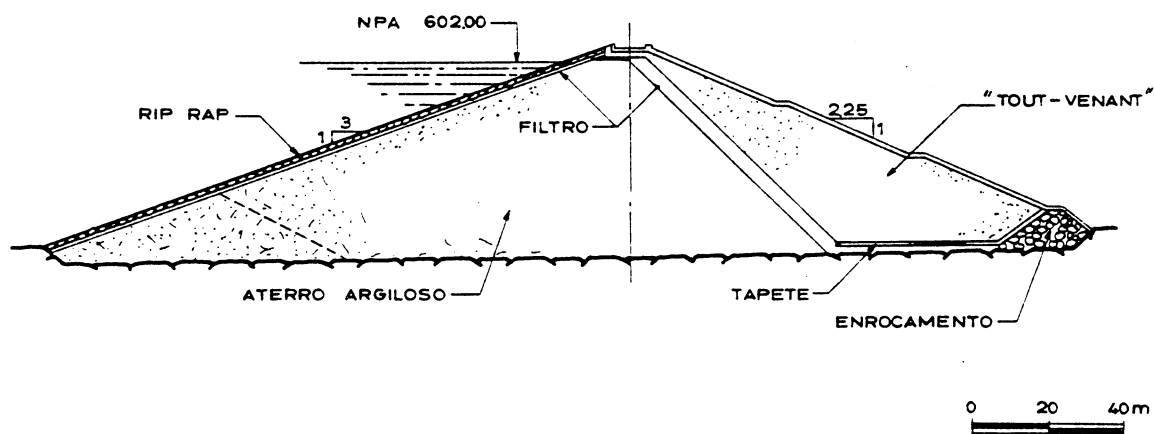


Fig. 1 - Planta geral e Perfil tipo da barragem do Azibo.

O descarregador de cheias, localizado na margem esquerda (ver Fig. 1), permite evacuar um caudal de $196 \text{ m}^3/\text{s}$ (cheia milenária) e tem uma soleira tipo "low agee" com dois vãos de 7,0 m de largura.

4 - CONTROLO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

4.1 - Introdução

No âmbito do controlo de segurança definem-se os sistemas de observação, com base no cálculo do índice de risco global, tecem-se algumas considerações sobre a exploração dos sistemas de observação e faz-se uma interpretação dos resultados obtidos. Salienta-se a grande importância das inspecções visuais e referem-se as medidas a adoptar face às anomalias detectadas.

4.2 - Definição dos sistemas de observação

No que respeita às acções, destacam-se pelo seu carácter de permanência e pelas solicitações que originam, as acções da água, a acção sísmica e o peso próprio.

A resposta estrutural às acções actuantes é determinada com base na observação de: (i) deslocamentos superficiais e internos; (ii) tensões; e (iii) caudais.

A compatibilização dos factores intervenientes na definição das acções e consequentemente na resposta estrutural é extraordinariamente complexa pelo que se recorreu à determinação do índice de risco global a_g (ICOLD, 1981) na definição dos sistemas de observação da barragem do Azibo. Os factores de risco foram agrupados em três categorias tendo sido adoptados os seguintes valores:

A - Condições exteriores ou ambientais (factor E)

- | | |
|--|-----------|
| - sismicidade fraca | $a_1 = 2$ |
| - deslizamento dos taludes da albufeira | $a_2 = 1$ |
| - perigo de inundações superiores às do projecto | $a_3 = 3$ |
| - objectivo do represamento (anual) | $a_4 = 1$ |
| - acções ambientais agressivas (fracas) | $a_5 = 2$ |

$$E = (2 + 1 + 3 + 1 + 2) / 5 = 1.8$$

B - Condições de obra (factor F)

- | | |
|---|-----------|
| - dimensionamento estrutural (adequado) | $a_6 = 1$ |
| - fundação boa | $a_7 = 2$ |
| - equipamento dos órgãos de descarga (fiável) | $a_8 = 1$ |
| - condições de manutenção satisfatórias | $a_9 = 3$ |

$$\text{Factor F} = (1 + 2 + 1 + 3) / 4 = 1.75$$

C - Risco humano e económico potencial R

- Volume de retenção = $55 \times 10^6 \text{ m}^3$ $a_{10} = 4$

- Instalações a jusante (casas isoladas, agricultura) $a_{11} = 2$

$$\text{Factor R} = (4 + 2) / 2 = 3.0$$

Resulta assim

$$\text{Índice global EFR} = 9.5$$

De acordo com o valor obtido para o índice global e da altura da barragem acima da fundação preconizou-se:

- simples inspecção visual
- medição de débitos parciais
- instalação de piezómetros hidráulicos
- medição de deslocamentos superficiais
- meteorologia
- medição de deslocamentos internos
- medição de pressões intersticiais (resposta rápida)

Os sistemas de observação foram distribuídos por 5 perfis transversais cuja localização se encontra nas Figs. 1 e 2.

A medição das pressões intersticiais ao longo do corpo da barragem e fundação tem sido efectuada através de piezómetros eléctricos e piezómetros hidráulicos.

Os deslocamentos superficiais medidos foram verticais e horizontais. Os do 1º. tipo são obtidos através de nivelamentos geométricos de precisão, enquanto os deslocamentos horizontais são determinados através de redes de triangulação.

Os deslocamentos internos do maciço são observados em tubos de inclinómetro instalados no aterro e nas fundações.

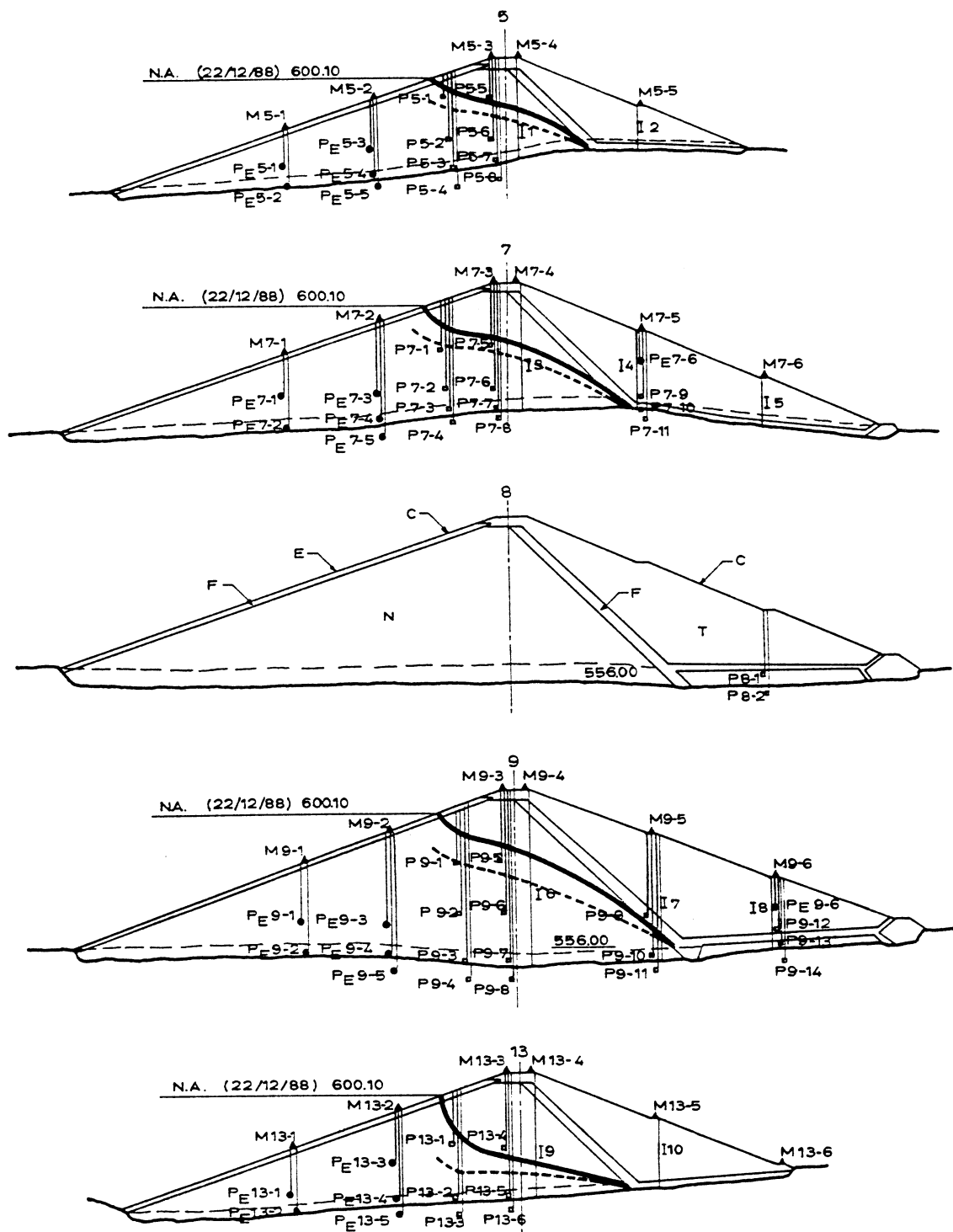
4.3 - Exploração dos sistemas de observação

A recolha dos dados dos sistemas de observação instalados tem sido efectuada manualmente através de equipas do LNEC que se deslocam para o efeito à obra.

Os dados relativos a uma campanha de observação são registados em boletins apropriados a um posterior tratamento informático. A metodologia do tratamento consiste nas operações seguintes: introdução de dados no computador; validação dos dados; processamento dos dados através do cálculo, de acordo com as constantes características de cada aparelho, das grandezas físicas correspondentes; e validação de resultados. Arquivo dos resultados da observação procedendo-se em seguida à análise de segurança através de uma consulta adequada dos resultados da observação que podem ser apresentados numérica ou graficamente.

4.4 - Interpretação dos resultados

A grande maioria dos piezómetros eléctricos encontram-se inoperacionais passados 5 anos da sua instalação. Como é sabido estes dispositivos são muito sensíveis às descargas atmosféricas e têm um período de vida útil curto.



I -Inclinómetros

↓P -Piezómetros hidráulicos

↓PE -Piezómetros eléctricos

▲M -Marcas superficiais

—Linha de saturação dos piezómetros do aterro

-----Linha de saturação dos piezómetros da fundação

0 50m

Fig. 2 - Perfis de observação.

Da análise dos deslocamentos horizontais internos observados nos inclinómetros constata-se um deslocamento para jusante, que oscila de 15 a 100 mm, e um deslocamento para a margem direita de 8 a 35 mm nos inclinómetros I7, I8 e I9, e de 5 a 40 mm para a margem esquerda nos restantes inclinómetros.

As leituras efectuadas nos piezómetros hidráulicos permitem esboçar o andamento da linha de saturação (ver Fig. 2), podendo-se inferir que os piezómetros situados no interior do aterro exibem valores normais, enquanto os piezómetros localizados na fundação indicam uma reduzida eficiência da cortina de injeções (Sêco e Pinto e Guedes de Melo, 1985).

Da análise dos valores observados nas marcas superficiais constata-se que os assentamentos máximos registados não ultrapassam o valor de 0.15%.

Tendo em conta a natureza dos materiais que incorporam o aterro da barragem pode-se considerar que os valores medidos estão dentro do que é normal observar-se nas barragens de aterro, com a ressalva apontada para a cortina de injeções.

4.5 - Inspecções visuais

No intuito de complementar a informação colhida nos dispositivos de observação foram efectuadas inspecções visuais, com uma periodicidade ajustada à frequência das leituras dos dispositivos de observação, durante as fases do primeiro enchimento e vida útil da barragem. A observação incidiu na verificação dos parâmetros de jusante e montante e no coroamento.

O talude de jusante apresenta um crescimento exagerado de vegetação, como se pode observar na Fig. 3. Foram ainda detectados entupimentos das valetas e consequentemente água concentrada, e um arranjo deficiente no pé de jusante da barragem não possibilitando um escoamento adequado da água proveniente do descarregador de cheias. Por se tratarem de situações anormais susceptíveis de provocar erosões, cujos efeitos detriminentais se pretende evitar, foram recomendadas acções visando a reparação destas anomalias.

O talude de montante exhibe um enrocamento de protecção bem arrumado sem sinais de erosão provocados pelos movimentos da água no paramento e sem a ocorrência de vegetação.

Não foram detectadas, na vizinhança do talude de montante, zonas instáveis significativas cujos deslizamentos para o interior da albufeira pudessem provocar uma onda de cheia susceptível de galgar a barragem.

O coroamento da barragem encontra-se em boas condições, sem sinais de fissuração, nem evidências de assentamentos significativos.

5 - MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Face à extracção de talco de uma mina situada na margem esquerda, a jusante da barragem, pretende-se avaliar o efeito das explosões utilizadas na citada exploração na segurança da barragem.

Foi assim detonada uma pega constituída por três furos, com cerca de 1,5 m de profundidade, carregados com 4 e 4,5 velas de 140 gramas de gelamonite $[(4,5 \times 140 \times 2 + 4 \times 140) = 1820 \text{ gr}]$ e ligados entre si por cordão detonante.

As vibrações resultantes foram medidas em dois pontos, situado um, aproximadamente, na fronteira dos terrenos da barragem e da mina (ver Fig. 4) e um outro



Fig. 3 - Aspecto do talude de jusante.

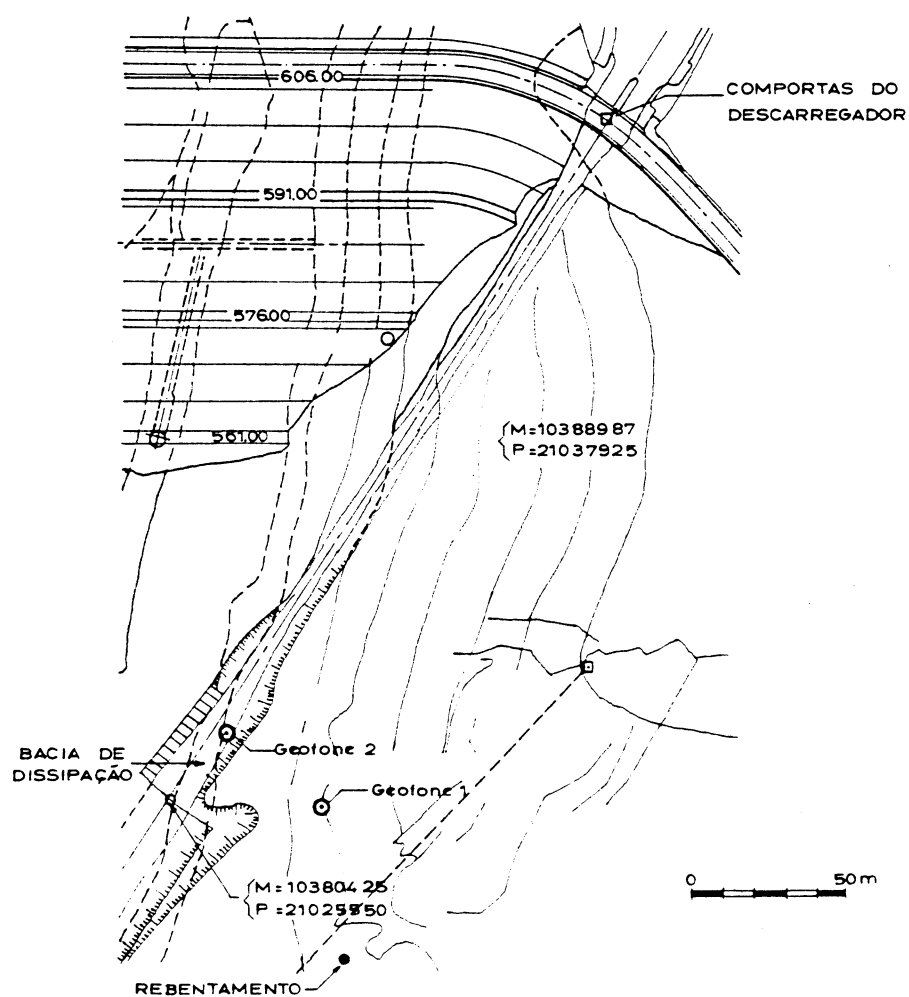


Fig. 4 - Localização dos pontos (1 e 2) de medição de vibrações provocadas por um rebentamento na mina.

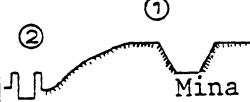
mais afastado da mina, sobre o muro do descarregador da barragem.

As Figs. 5 e 6 apresentam pormenores do geofone instalado no descarregador e do equipamento de medida utilizado.

Em cada ponto de observação foram medidas as três componentes do fenómeno vibratório, através de geofones triaxiais segundo a direcção horizontal radial (L), direcção vertical (V) e a direcção horizontal transversal (T).

Com base nos respectivos valores calculou-se a sua soma vectorial ou resultante (R), que servirá para análise das medições.

Os resultados obtidos estão indicados no quadro seguinte:

Data	Local de observação	Velocidade de vibração (mm/s)				Observações	Frequência
		L	V	T	Resultante R		
1988.06.30	① Terreno	2,5	4,2	3,1	5,8	② 	
"	② Muro descarregador	4,9	1,4	1,2	5,2	② 	~28 Hz

Embora estes valores sejam relativamente baixos quando se tomam como referência os limites definidos na Norma Portuguesa NP-2074 (83), haverá no entanto que considerar o seguinte:

A componente da vibração que evidenciou o maior valor foi a do muro na direcção horizontal transversal ao maior desenvolvimento do descarregador, compatível com o seu funcionamento em consola. Nestas condições e por se tratar de uma estrutura hidráulica, que se pretende não abra fissuras e que continuará submetida a estas acções, recomendou-se que não seja ultrapassado o valor de 5 mm/s no topo do muro do descarregador segundo a componente horizontal transversal (correspondendo-lhe aproximadamente uma acção de 0,1G).

Este resultado não será difícil de obter desde que as pegadas na mina sejam realizadas com desfazamentos de milisegundos e orientadas de forma que as suas reacções se façam no sentido contrário ao do descarregador.

Por outro lado não deverá ser empregado o cordão detonante colocado livremente à superfície do terreno, para assim se evitar uma onda aérea de choque que vá, eventualmente, provocar danos nos edifícios vizinhos.

Com a finalidade de comparar as acções das explosões com as devidas à corrente de água a quando da abertura das comportas do descarregador efectuou-se uma medição nos mesmos pontos, já referidos, com as comportas abertas em cerca de 80% da sua máxima capacidade de abertura.



Fig. 5 - Geofone instalado no descarregador de cheias.

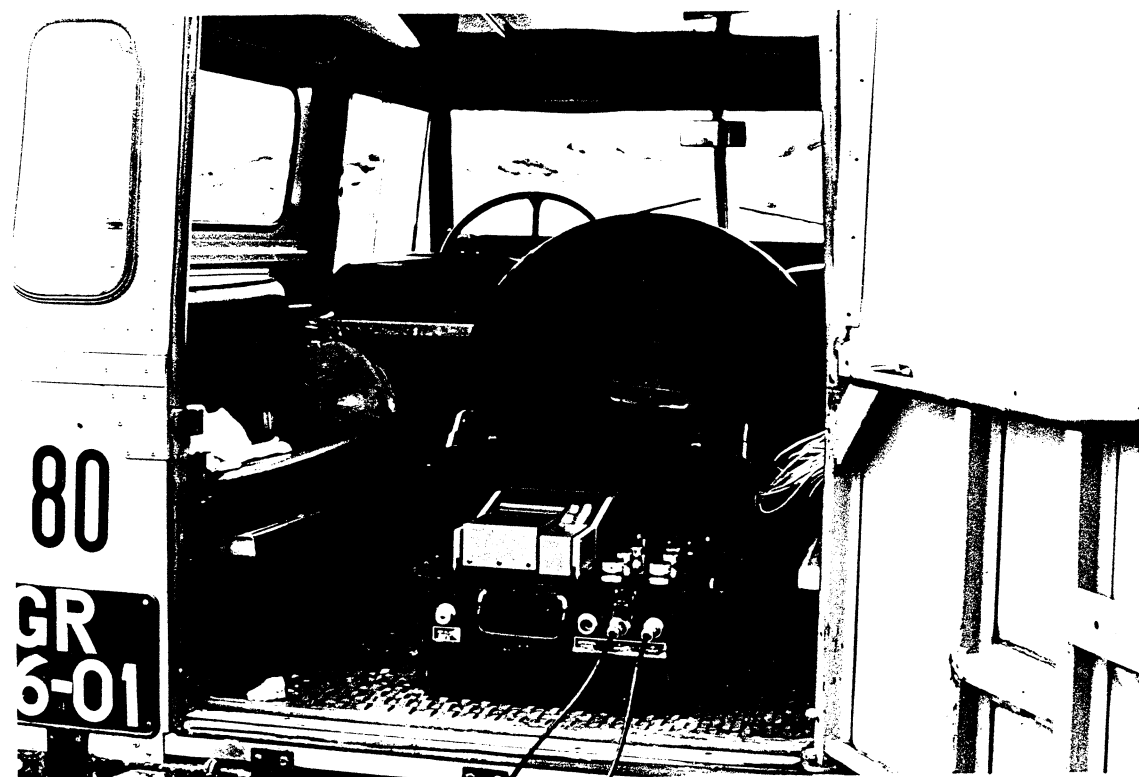


Fig. 6 - Equipamento de medida utilizado.

Os níveis de vibração ali induzidos foram muito baixos com valores inferiores a 1 mm/s.

6 - CONCLUSÕES

Os aspectos mais relevantes das matérias anteriormente abordadas podem ser sintetizados nas seguintes conclusões:

- 1) Os valores observados nas marcas superficiais e nos inclinómetros não revelaram movimentos significativos do aterro.
- 2) Os piezómetros situados no interior do aterro exibiram valores normais, enquanto os piezómetros localizados na fundação apontaram para uma reduzida eficiência da cortina de injeções.
- 3) A inspecção visual permite concluir que globalmente não foram detectadas anomalias que pusessem em risco a segurança da obra. Deve-se no entanto proceder ao corte da vegetação exuberante que se encontra no paramento de jusante e providenciar ao arranjo do pé de jusante da barragem evitando assim que a água acumulada possa provocar erosões.
- 4) No sentido de se minimizar o efeito das vibrações recomendou-se que as pegadas na mina fossem realizadas com desfasamentos de milissegundos e orientadas de forma que as suas reacções se desenvolvessem no sentido contrário ao do descarregador e que não fosse utilizado o cordão detonante colocado livremente à superfície do terreno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Direcção Geral dos Recursos Naturais a autorização para publicar os resultados deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COBA (1976) - "Barragem do Azibo. Projecto".

ICOLD (International Committee on Large Dams), (1981) - "Observation Automatique pour le Controle de la Sécurité des Barrages". Comité de Détérioration des Barrages et Reservoirs. Group de travail pour l'Observation Automatique.

Sêco e Pinto, P.S. e Guedes de Melo, F.A. (1985) - "Observação da barragem do Azibo - 10. Relatório". Estudo realizado para a Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, LNEC.