

OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM DO LAPÃO. SUA IMPORTANCIA NA DETECÇÃO DO ACIDENTE DE JANEIRO DE 2003

MONITORING OF LAPÃO DAM. ITS IMPORTANCE IN THE DETECTION OF THE JANUARY 2003 ACCIDENT

Marcelino, João, *LNEC, Lisboa, Portugal, marcelino@lne.pt*

RESUMO

A barragem do Lapão situada no concelho de Mortágua, esteve no início de 2003 numa situação de emergência relativamente inédita em Portugal. Em resultado de um enchimento súbito na sequência de pluviosidade intensa, agravaram-se subitamente diversos indícios previamente existentes de comportamento anómalo da obra. A presente comunicação descreve o papel fundamental do sistema de observação da barragem na detecção do comportamento anormal da barragem.

ABSTRACT

The Lapão dam situated in the Mortágua district was in the beginning of 2003 in a situation of relatively unknown emergency in Portugal. In result of a sudden wadding due to intense rainfall several indications of abnormal behavior had appeared. The present communication describes the major role of the monitoring activities in the detection of the abnormal behavior of the dam.

1. INTRODUÇÃO

A barragem do Lapão conheceu em Janeiro de 2003 um protagonismo pouco usual em obras geotécnicas deste tipo, pelo menos, em Portugal.

A presente comunicação destina-se a descrever os acontecimentos que ocorreram na barragem do Lapão há cerca de um ano e três meses, dar conta do conhecimento que as entidades ligadas à análise do comportamento da barragem tinham da situação e realçar o papel fundamental da do sistema de observação, o que contribuiu para a detecção atempada do acidente da barragem.

O protagonismo da barragem em Janeiro de 2003 deveu-se ao conhecimento público do comportamento anómalo desde há muito conhecido dos diversos intervenientes nas actividades segurança e exploração da barragem. Destas entidades destaca-se a Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral (DRABL), dono da obra, o Instituto da Água (INAG), entidade responsável pela segurança de barragens em Portugal e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), como consultor do INAG e, neste caso, também como entidade contratada pela DRABL para diversas actividades relativas à segurança da barragem.

A barragem havia manifestado diversos indícios de comportamento insatisfatório, desde o início do primeiro enchimento, e de imediato se preconizaram diversas acções que visavam, em primeiro lugar, a manutenção da segurança e em segundo, o esclarecimento das causas desse comportamento.

No final do ano de 2002 e no início de 2003 verificaram-se períodos de pluviosidade muito intensa que causaram a referida situação de “emergência”. Esse foi o único aspecto incontornável dos acontecimentos.

Nos parágrafos que se seguem, apresentam-se de forma mais detalhada os dados considerados relevantes para a apresentação do historial deste acidente baseados fundamentalmente na observação da barragem.

2. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E DA SUA CONSTRUÇÃO

2.1. Dados gerais da barragem

A barragem do Lapão, intersecta a ribeira da Fraga e destina-se a criar uma albufeira com o volume total de $1,26 \times 10^6 \text{ m}^3$, para fornecimento de água para rega [5].

A barragem, com altura máxima acima da fundação de 39 m, é constituída por um perfil homogéneo que incorpora materiais de aterro.

O controlo de percolação da água no corpo da barragem é conseguido através de um sistema drenante constituído por um filtro vertical ligado a um tapete drenante que se encaixa na zona mais baixa do leito da ribeira.

O maciço de jusante compreende ainda diversos níveis de drenos horizontais destinados a facilitar a dissipação das pressões intersticiais resultantes do processo construtivo.

A barragem insere-se num vale com vertentes inclinadas e mesmo com pequenos trechos escarpados. A forma do vale, no eixo da barragem é de um V ligeiramente assimétrico. O seu desenvolvimento longitudinal apresenta a particularidade de, a montante, ter uma curva pronunciada pelo que, o eixo da ensecadeira de montante faz, com o eixo da barragem um ângulo superior a 90° . O coroamento tem uma extensão de 97 m. O NPA situa-se à cota 217 e o coroamento à cota 220 [4].

O paramento de jusante inclui ainda a estrada de acesso à saída da descarga de fundo. A Figura 1 apresenta a planta da barragem. As inclinações dos paramentos de montante e jusante são de respectivamente, 1:3 e 1:2,9.

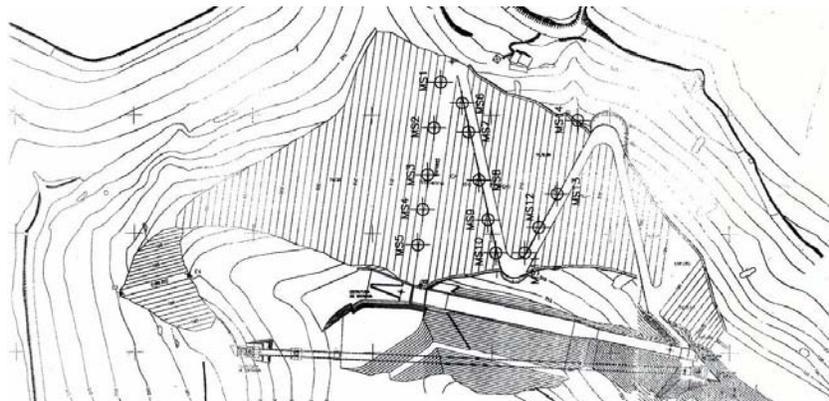


Figura 1 – Planta da barragem

A fundação rochosa é constituída fundamentalmente por rochas xistentas, apresenta fracturação acentuada à superfície e menos intensa em profundidade. O tratamento da fundação previa, inicialmente, a execução de uma cortina de injeções em toda a sua extensão que, posteriormente ficou limitada a parte da MD.

3. SISTEMA DE OBSERVAÇÃO E PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO

O sistema de observação da barragem foi dimensionado de forma a permitir o acompanhamento das grandezas consideradas necessárias para inferir sobre a segurança da barragem. No caso desta obra, o sistema de observação foi feito em duas fases. A primeira, descrita no presente parágrafo, corresponde ao sistema dimensionado de acordo com o procedimento normal, antes do conhecimento do comportamento anómalo da barragem [1]. A segunda fase, descrita mais à frente, corresponde ao sistema concebido para complementar a informação da observação em face das anomalias detectadas [3].

O projecto da barragem incluía, como é hábito, um ante-plano de observação. A DRABL dando cumprimento às disposições legais sobre essa matéria contratou o LNEC para a elaboração do plano de observação e plano de primeiro enchimento da barragem.

O referido plano foi elaborado no decorrer da construção da barragem podendo assim, integrar os elementos constantes do projecto e correspondente ante-plano, com aqueles que derivam da construção.

Como é habitual numa barragem de aterro deste tipo, com estas dimensões, deve-se procurar, no mínimo, acompanhar os deslocamentos do aterro, os caudais escoados e as pressões intersticiais no aterro e na fundação. Por outro lado, tendo em atenção a forma particular do vale, muito encaixado, que potencia o comportamento em arco dos aterros que transferem, nessas circunstâncias, as tensões para os encontros, foi decidido incluir no sistema de observação, dispositivos que permitissem a medição das tensões totais.

Assim, o plano de observação preconizava, para além da medição do nível da albufeira, a medição de pressões intersticiais no aterro e fundação, a medição de deslocamentos superficiais verticais no aterro, medição dos caudais totais e a medição das tensões totais em zonas escolhidas de forma a avaliar a ocorrência de eventuais transferências de tensão entre os aterros da barragem e os encontros. A possibilidade de se gerar um fenómeno de comportamento em arco dos aterros poderia ser inferido da configuração do vale na zona de implantação da barragem e a confirmação dessa situação deriva, em boa medida, da visualização do aspecto desse vale após saneamento durante a fase construtiva.

A instrumentação no interior do aterro foi concentrada em zonas consideradas como suficientes para o acompanhamento das grandezas pretendidas seguindo o procedimento habitual em obras de aterro. Este procedimento visa obter o equilíbrio entre o custo da aparelhagem instalada e a informação pretendida sem esquecer as perturbações que a sua instalação traz inevitavelmente ao desenrolar da obra.

Assim, na barragem foram seleccionados dois perfis para a instalação dos equipamentos no interior do aterro. O perfil P49 (Figura 2) corresponde sensivelmente ao perfil de maior altura da barragem. Nesse perfil foram instalados piezómetros hidráulicos, células de pressão intersticial para leitura da dissipação das pressões geradas pelo processo construtivo, e um dos grupos (G1) de células de tensão total.

O segundo perfil seleccionado foi o perfil P64 (Figura 3) que dista do primeiro 15 m no sentido da MD. Este perfil tem também células de pressão intersticial para acompanhamento das pressões desenvolvidas durante a construção, piezómetros hidráulicos no aterro e fundação. O segundo grupo de células de tensão total (G2), apesar de representado neste perfil encontra-se a meia distância entre o P49 e o P64. No perfil longitudinal segundo o eixo da barragem (Figura 6) podem-se localizar estes dispositivos.

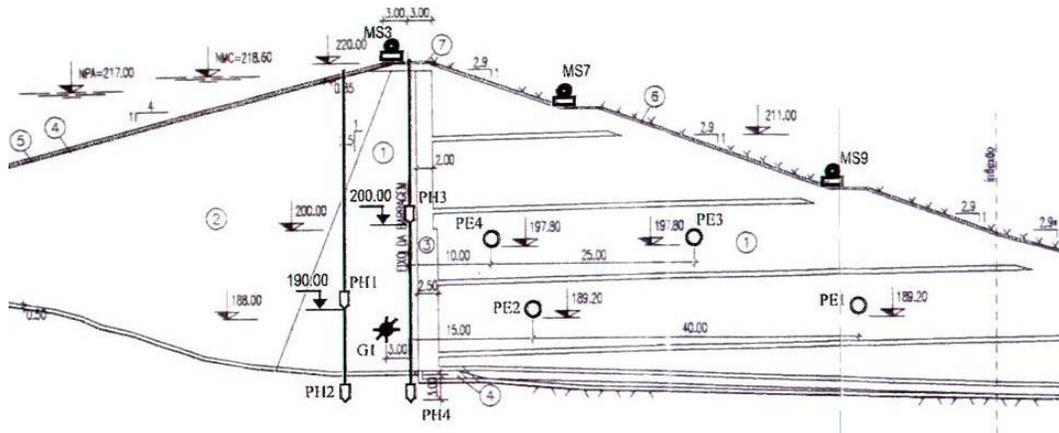


Figura 2 – Perfil P49, equipamentos instalados

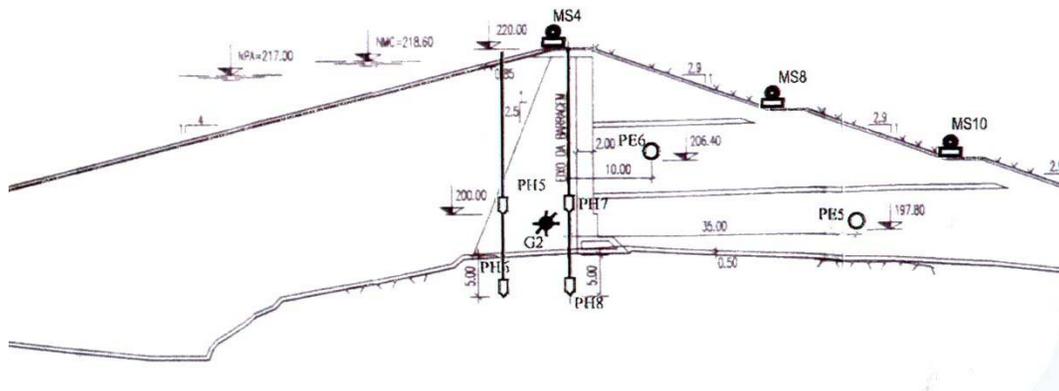


Figura 3 - Perfil P64, equipamentos instalados

Cada grupo de células de tensão total dispõe de 4 células destinadas a medir as tensões segundo várias direcções e uma célula de pressão intersticial que permite conhecer essa pressão na mesma zona possibilitando assim o cálculo da tensão efectiva. Na Figura 4 apresenta-se o esquema de montagem destes equipamentos e na Figura 5 um aspecto da sua montagem na barragem.

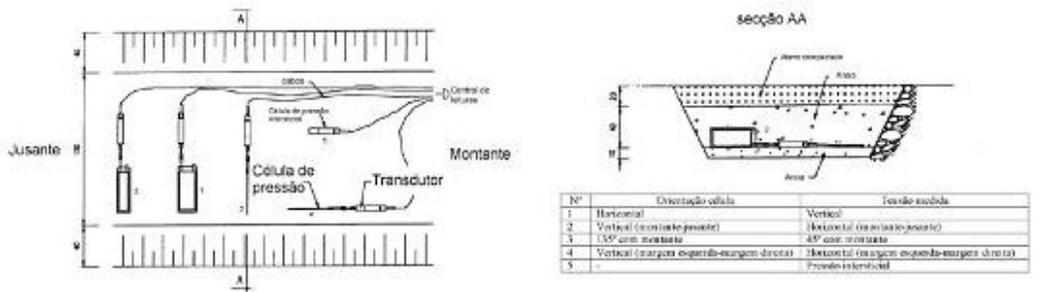


Figura 4 - Esquema de montagem dos grupos de células de tensão total



Figura 5 - Aspecto da montagem de um grupo de células de tensão total

A medição dos caudais percolados através da fundação seria efectuada através da instalação de um medidor de caudais instalado na zona do pé de talude de jusante. Infelizmente, a configuração dessa zona não permitiu que esse equipamento funcionasse em condições (Figura 7). De facto, a zona fica alagada com o caudal ecológico da ribeira o que impossibilitou desde sempre qualquer medição efectuada neste dispositivo. Ainda foi tentada uma alteração da configuração deste dispositivo mas resultou infrutífera.

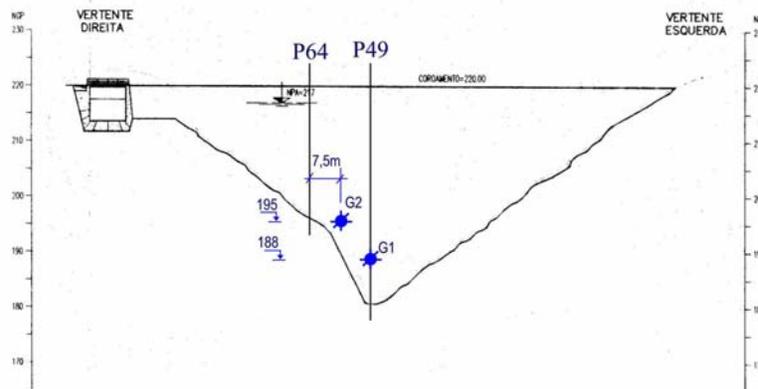


Figura 6 - Perfil longitudinal da barragem do Lapão com indicação das cotas de instalação das células de tensão total

No que respeita à medição de deslocamentos, foi preconizada a medição dos assentamentos em marcas superficiais a instalar em diversos pontos da barragem. Atendendo ao reduzido desenvolvimento do coroamento (97 m) foi preconizada a instalação de apenas 10 marcas superficiais sendo 5 dessas marcas instaladas no coroamento do lado de montante e as restantes ao longo do desenvolvimento da estrada de acesso à zona de jusante. No decorrer da instalação dos equipamentos foi julgado necessário instalar mais pontos de medição na estrada do paramento de jusante. Assim o número total de pontos de medição dos assentamentos foi de 13.



Figura 7 - Medidor de caudais inoperacional. Na versão original e alterada

Para além da leitura dos dispositivos instalados, da interpretação das grandezas resultantes a observação da barragem incluía, naturalmente, a realização de inspeções visuais. Estas estavam divididas em duas categorias. As de rotina, a cargo do TRE, e a realizar de acordo com o preconizado no plano de observação e as de especialidade que englobam as diversas entidades envolvidas na segurança da obra. Como resultado das inspeções visuais de rotina preconizava-se o preenchimento de uma ficha de inspeção eventualmente complementada por registos fotográficos, onde estavam sumariados os pontos mais relevantes que deveriam constar da inspeção de rotina.

O custo do sistema de observação nesta primeira fase totalizou cerca de 3,2% do custo da obra. Este valor distribui-se, pelos equipamentos instalados da seguinte forma: Marcas superficiais - 0,08%; piezómetros hidráulicos - 0,79%; células de tensão total e piezómetros eléctricos - 2,31%. O custo elevado da última parcela deve-se, para além do custo do equipamento, ao facto de estar incluída a realização de diversas campanhas de leituras durante a fase construtiva.

O plano de primeiro enchimento [2] foi efectuado tendo em atenção as disposições regulamentares relativas a este importante período de vida da obra. Foi estabelecido que o enchimento se processaria em duas fases, isto é, com um patamar intermédio. A cota desse patamar foi fixada tendo em atenção por um lado a necessidade de armazenamento de água e por outro, a carga que ficaria instalada na barragem. Assim esse patamar ficou fixado a uma cota correspondente a cerca de 79% da altura máxima (Figura 8) e cerca de 62% do volume armazenado. O tempo mínimo de manutenção do patamar seria de 3 meses.

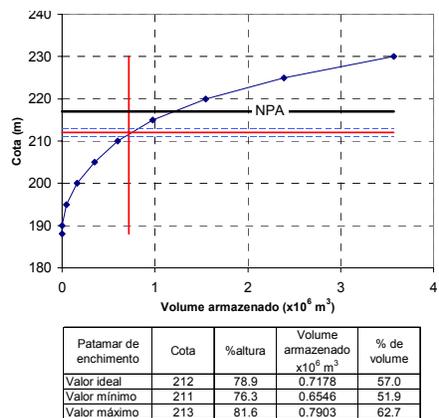


Figura 8 - Curva de volumes armazenados e estabelecimento da cota do patamar de enchimento

Na barragem do Lapão, a implementação das actividades de observação iniciou-se durante a fase construtiva após a montagem das células de tensão total e das células de pressão intersticial. Estes dispositivos foram medidos e interpretados durante a fase construtiva. Os restantes, (piezómetros hidráulicos, marcas superficiais e medidor de caudais) foram instalados após a conclusão da construção.

4. DESCRIÇÃO DO INCIDENTE

4.1. Início do enchimento

O início do 1º enchimento da barragem do Lapão teve lugar a 13 de Dezembro de 2001, na sequência de uma inspecção realizada nos termos do RSB. Nessa inspecção foi verificado o estado da barragem (Figura 10) e foram anotadas as pequenas anomalias que se verificaram. É necessário salientar que, à data, não se detectaram anomalias de monta (facto que permitiu que se iniciasse o enchimento) mas apenas pequenos indícios (Figura 9) que poderiam passar despercebidos mas que se veio a verificar serem manifestações precoces do que se detectaria mais tarde. Um primeiro indício detectado foi a verificação visual de um nivelamento deficiente na guarda metálica de montante. Esse fenómeno era mais aparente junto à ME. Outro indício foi uma pequena fissura junto a um tubo de drenagem do coroamento no lancil na margem direita. Relativamente a estes dois indícios nada se poderia inferir, na medida que, quer um quer outro, poderiam ser resultado de pequenas imprecisões de acabamento da barragem, de pouca importância no que respeita à segurança.



Figura 9 - Pequenas anomalias detectadas durante a inspecção prévia



Figura 10- Vista de montante da barragem em 2001/12/13 início do primeiro enchimento

Todos os equipamentos de observação se encontravam operacionais à excepção do medidor de caudais, como acima se referiu. Os órgãos de segurança hidráulica foram manobrados e encontravam-se também operacionais.

4.2. Primeira detecção do comportamento anómalo

O enchimento iniciou-se na data indicada tendo a evolução no nível da albufeira sido registada diariamente (Figura 11) e dado-se cumprimento ao plano de observação da barragem. A 15 de Fevereiro de 2002, por ocasião de uma das campanhas de nivelamento das marcas superficiais, foram detectados deslocamentos elevados que se manifestavam em especial na ME, precisamente na zona que, na inspeção prévia se havia detectado um nivelamento deficiente da guarda metálica de montante.

O Técnico Responsável pela Exploração (TRE) deu conhecimento imediato ao LNEC desse facto e realizou-se, no dia seguinte, uma inspeção de carácter excepcional onde se confirmou existirem indícios bastante claros que comprovavam os deslocamentos elevados.

Os deslocamentos que haviam sido detectados atingiam, no coroamento valores da ordem da dezena de centímetros, conforme se pode ver na Figura 12 onde se apresenta também a evolução desta grandeza no período subsequente durante o esvaziamento da albufeira que, entretanto, foi preconizado.

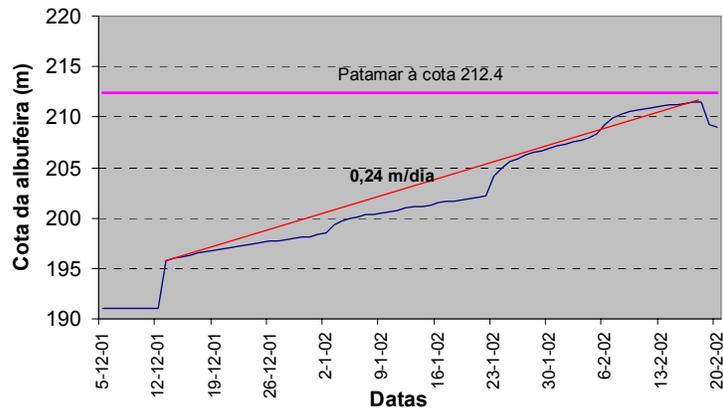


Figura 11 - Evolução da cota da albufeira até à detecção dos deslocamentos excessivos

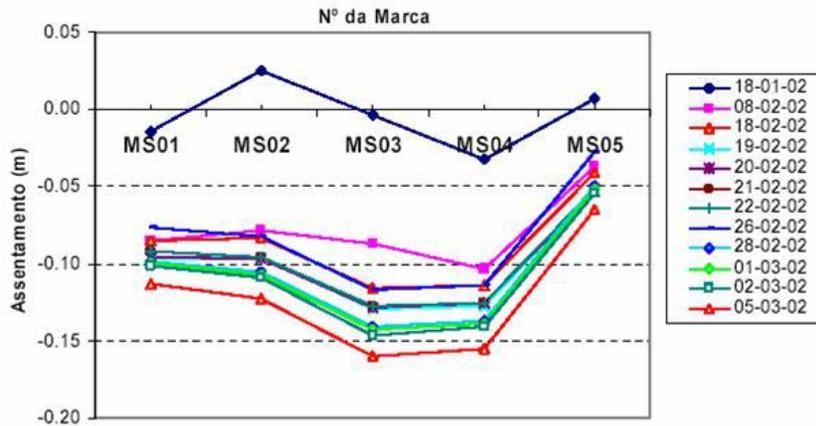


Figura 12 - Assentamentos nas marcas superficiais do coroamento

A decisão de promover o abaixamento controlado da albufeira baseou-se quer nos resultados das observações dos equipamentos instalados quer nas manifestações exteriores, detectadas após as diversas inspeções visuais realizadas nos dias subsequentes. De facto, foram detectados diversos indícios de deformações elevadas, sendo a variação desses indícios, sensível de inspeção para inspeção. Nas figuras seguintes ilustram-se alguns dos exemplos da evolução detectada.



Figura 13 - Evolução da fendilhação do lancil de montante



Figura 14 - Evolução da fendilhação no pavimento

Desses indícios é de salientar o aumento muito significativo da fendilhação do pavimento betuminoso do coroamento. Além disso, o nivelamento da guarda metálica de montante também evidenciava a ocorrência de elevadas deformações. Em determinada data decidiu-se retirar a referida guarda que se encontrava já muito deformada.

É também importante referir que, em Março de 2002, ainda não havia concordância sobre a situação da barragem, isto é, nem todos os técnicos envolvidos concordavam sobre o comportamento deficiente da barragem, havendo pessoas que eram da opinião que se trataria de um comportamento normal.

No entanto, a opinião do INAG com o parecer técnico do LNEC foi de que a barragem não estava a exibir um comportamento normal e daí ter-se decidido pelo seu esvaziamento.

4.3. Período posterior

A decisão de não prosseguir com o enchimento da albufeira e, pelo contrário, proceder ao seu esvaziamento revelou-se como sendo a decisão acertada. De facto, não obstante as deformações dos aterros prosseguirem a taxas muito elevadas, os valores dessas taxas foram sempre decrescentes, conforme se pode observar na Figura 15. O comportamento registado posteriormente, durante o enchimento, correspondeu pelo contrário, a um acréscimo muito significativo dos assentamentos.

No tempo que decorreu desde a decisão de esvaziar a albufeira e o final do ano, em que não foi possível manter o seu nível, manteve-se um ritmo de observação e de inspecções muito elevado. Essas observações, complementadas com as inspecções visuais, permitiram verificar (ou apenas confirmar) o mau comportamento estrutural da barragem, apesar da albufeira se encontrar vazia.

Foi também estabelecido um plano de trabalhos de caracterização dos aterros da barragem através da realização de ensaios SPT, da fundação, através da realização de ensaios de absorção de água e o reforço da instrumentação através da instalação de dispositivos adicionais de observação na barragem.

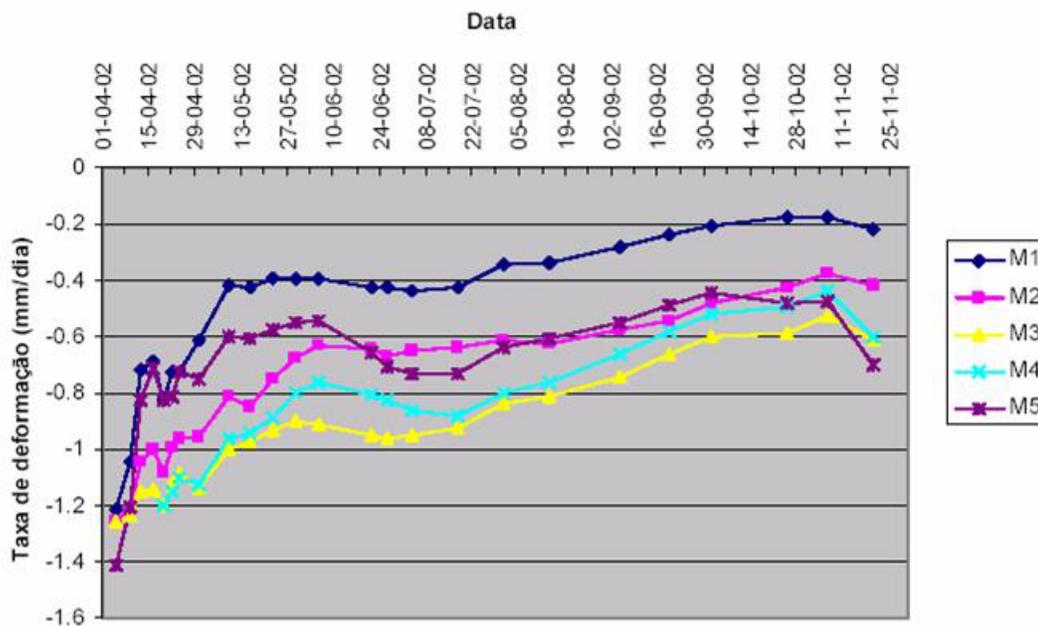


Figura 15 - Taxas de deformação das marcas instaladas no coroamento

O reforço da instrumentação compreendeu a colocação de piezômetros, inclinômetros e marcas superficiais adicionais. Nestas últimas, procedeu-se à sua adaptação de forma a permitir também a monitorização de deslocamentos horizontais a par dos assentamentos.

Foram instalados 4 inclinômetros no coroamento, a montante, a meia distância das 5 marcas superficiais. Para permitir a medição dos deslocamentos horizontais nas marcas superficiais foram instaladas peças de centragem forçada em cada uma das marcas (Figura 16) e, no coroamento foram colocadas 5 marcas adicionais a jusante, no mesmo alinhamento das marcas de montante.

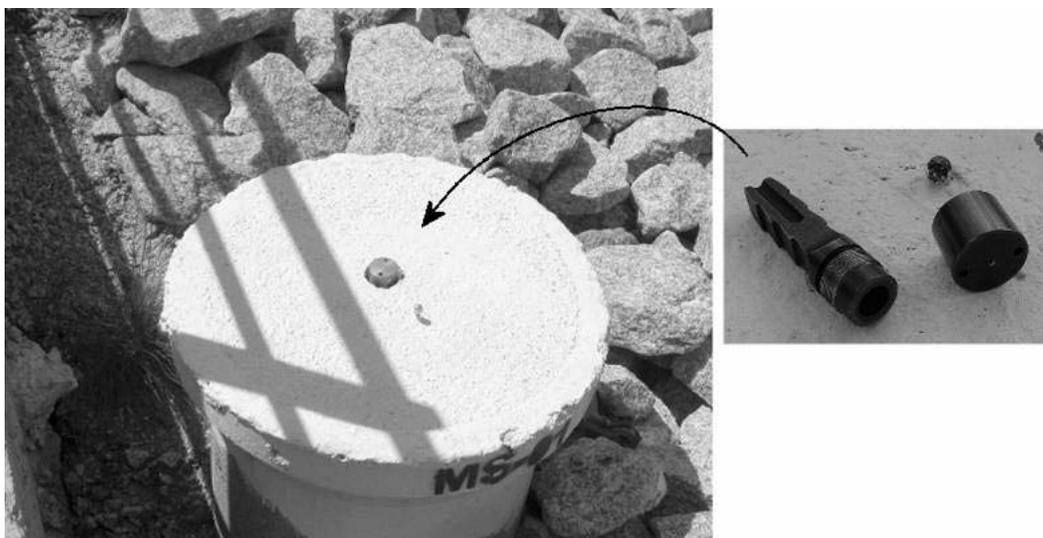


Figura 16 – Marca superficial com taco de nivelamento e peça de centragem forçada

Os trabalhos iniciaram-se em Novembro de 2002, e permitiram complementar de forma muito útil a informação que foi colhida durante o incidente de Janeiro. A informação resultante será analisada mais à frente.

No que concerne a custos, esta fase de reforço da instrumentação atingiu 2,5% do custo inicial da obra, distribuídos da seguinte forma: inclinómetros - 0,49%; Piezómetros - 1,5% e marcas superficiais - 0,45%. No total o sistema de observação, 1ª e 2ª fase atingiram 5,65% do custo da obra. Este valor deveria ser mais reduzido, até cerca de 3%, como é habitual em obras deste género mas o sobrecusto deriva sobretudo da necessidade de reforço em face dos acontecimentos.

4.4. Descrição do incidente e medidas tomadas

O inverno de 2002, início de 2003 foi particularmente chuvoso, em especial no período de Natal e Ano Novo. De facto, apesar de se ter mantido a descarga de fundo totalmente aberta durante todo este período crítico, este órgão não foi capaz de descarregar todo o caudal afluente.

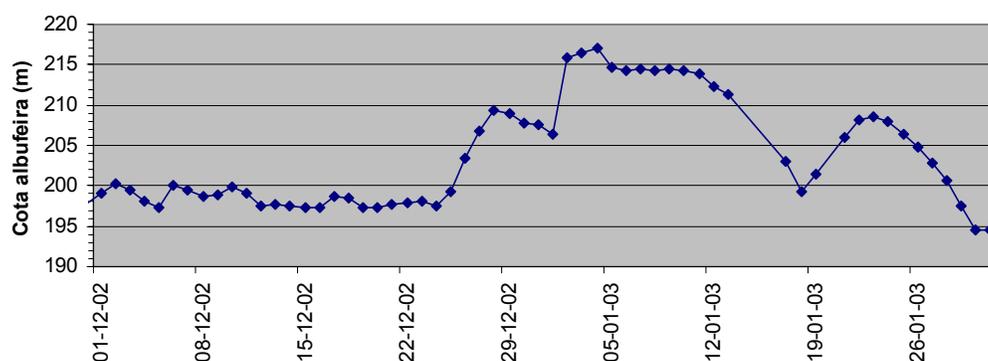


Figura 17 - Evolução da cota da albufeira de Dezembro (2002) a final de Janeiro (2003)

Em Novembro, após a realização dos primeiros ensaios constatou-se que os aterros da barragem se encontravam em condições muito deficientes, em especial nos metros superiores da barragem. O coroamento situava-se inicialmente à cota 220. De acordo com os resultados dos ensaios SPT os últimos 6 metros da barragem apresentavam valores da resistência muito deficientes. Para além disso os resultados dos ensaios eram muito irregulares havendo alternâncias de zonas com resistência razoável com zonas de resistência muito reduzida.

Esta descrição das resistências dos aterros no ensaio SPT, embora estranha, permitia explicar as muito elevadas deformações que se verificavam então, com especial incidência no coroamento. Explicavam, por exemplo a fendilhação que se verificava no pavimento betuminoso. Por outro lado, ao existirem zonas no interior do aterro, mesmo a profundidades consideráveis, até junto à fundação com resistências muito baixas causou grande preocupação pois essas zonas poderiam não ser competentes, por exemplo, no que respeita ao controlo da percolação pelo aterro da barragem.

Nesta altura, em Dezembro detectou-se a jusante, junto ao pé de talude uma cavidade de dimensões apreciáveis (Figura 18). Embora o aparecimento desta cavidade suscite, naturalmente, muita preocupação, verificou-se que no interior da cavidade não havia à data da inspecção, a passagem de água, apesar de toda essa zona estar bastante húmida. Assim, qualquer que tivesse sido a causa do fenómeno não se verificava nesse momento. Essa cavidade passou a

fazer parte das inspecções visuais que se efectuaram desde então e até ser reparada pela colocação de sacos de areia e sacos de brita.

Após a realização dos furos e dos ensaios SPT instalaram-se nesses furos, tubos inclinométricos e efectuou-se a campanha de referência desses aparelhos (entre 16 e 18 de Dezembro).

Durante a época de Natal 2002 e Ano Novo, o TRE manteve vigilância diária à barragem e informou de forma contínua o INAG e o LNEC da situação da barragem, nomeadamente da evolução da cavidade, dos resultados da inspecção visual que sempre fazia e, acima de tudo, da evolução do nível da albufeira, que subia incessantemente. No Quadro 1 apresenta-se a cota da albufeira e a respectiva variação diária durante o período em causa.

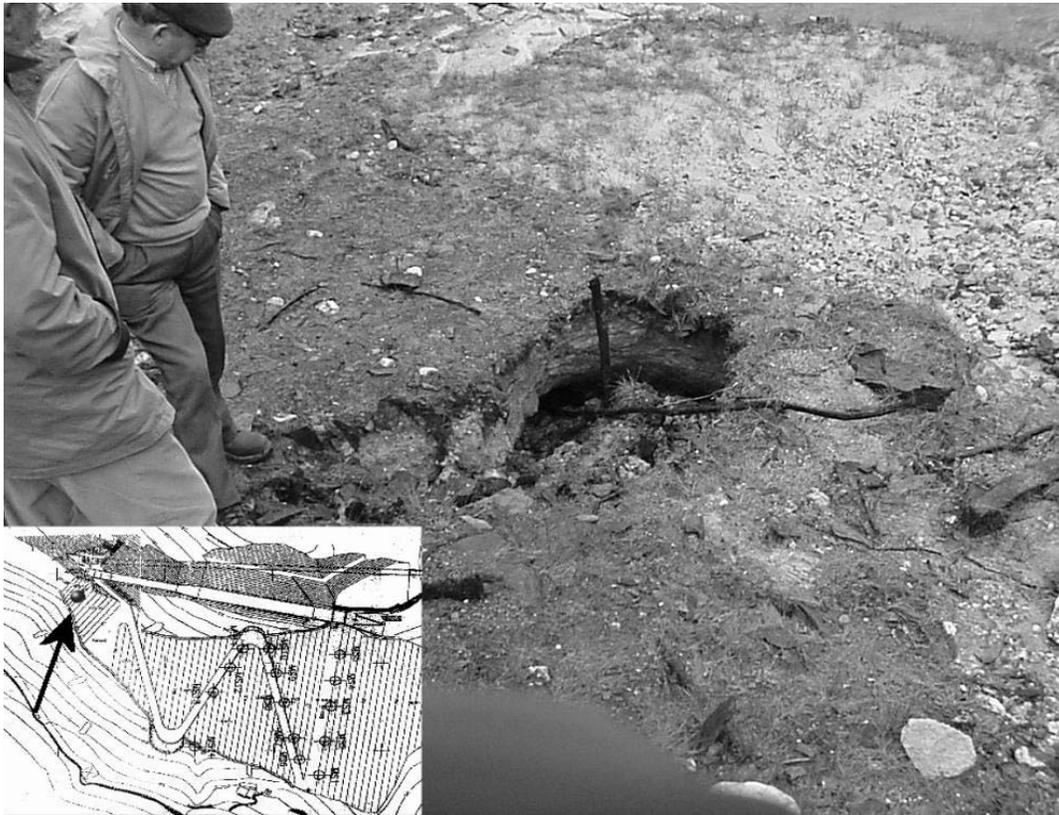


Figura 18 – Cavidade detectada no pé de jusante

No dia 2 de Janeiro, no local da barragem, choveu incessantemente. Aliás, a variação de cota do dia 1 para o dia 2, foi superior a 9 m (Quadro 1), apesar de se manter, como até aí, a descarga de fundo totalmente aberta. Foi nesse dia que o TRE detectou diversas zonas no paramento de jusante onde jorrava água do aterro. Essas zonas localizavam-se, em especial junto à encosta esquerda e a quantidade de água era tal, que não era possível discernir sobre a sua origem. Na verdade essa observação era praticamente impossível devido também à quantidade de chuva que caía. Por outro lado, verificava-se visualmente o aumento da fendilhação no pavimento do coroamento. Em resumo, todos os indícios apontavam para uma situação de rápida deterioração da barragem tendo-se então decidido dar conhecimento às autoridades de Protecção Civil locais da situação, tendo-se também mobilizado uma equipa do INAG e do LNEC que se deslocou nesse mesmo dia à barragem.

Quadro 1- Variação da cota da albufeira

Data	Cota	Variação diária (m)
25-12-02	199.3	
26-12-02	203.4	4.1
27-12-02	206.86	3.46
28-12-02	209.31	2.45
29-12-02	208.98	-0.33
30-12-02	207.77	-1.21
31-12-02	207.49	-0.28
1-1-03	206.46	-1.03
2-1-03	215.9	9.44
3-1-03	216.54	0.64
4-1-03	217.07	0.53

A referida equipa chegou à barragem durante a madrugada do dia 3 e, porque havia parado de chover, foi possível, então verificar que as ressurgências de água eram oriundas, muito provavelmente, da encosta e não da albufeira, como se chegou a temer. Aliás, o nível da albufeira continuava a subir mas as ressurgências haviam diminuído. Em princípio tratava-se de água proveniente da encosta da ME que não sendo devidamente captada nas caleiras surgia uns metros mais à frente, já no paramento da barragem. Assim, e embora esse cenário muito preocupante não se tivesse confirmado, as observações feitas nessa mesma noite e durante o dia seguinte reafirmavam o mau comportamento da estrutura da barragem. De facto, quer os deslocamentos verticais externos (obtidos por nivelamento) quer os horizontais internos (medidos nos inclinómetros), eram muito elevados e apresentavam variações preocupantes. A título de exemplo apresenta-se na Figura 19 os deslocamentos medidos no inclinómetro I1 junto à margem esquerda. Em cerca de 15 dias, os deslocamentos registados no encabeçamento do inclinómetro, são de cerca de 15mm para montante e de 20 mm para a MD. A Figura 20 refere-se aos deslocamentos no inclinómetro I2. Neste caso, os deslocamentos registados nos dias subsequentes ao enchimento rápido revelam que ocorreu um deslocamento muito pronunciado a cerca de 12 m de profundidade. Esse deslocamento de cerca de 190 mm, verifica-se no sentido jusante-margem esquerda. Nas observações mais recentes (referentes ao final de 2003) no inclinómetro I3, verifica-se um fenómeno semelhante a cerca de 15 metros de profundidade.

O deslocamento desta natureza só pode ser explicado por um fenómeno de encurvadura do tubo inclinométrico em resultado de uma deformação vertical muito elevada e rápida. De qualquer forma, tendo em atenção o esquema de montagem do tubo inclinómetro (que fica revestido exteriormente por material de aterro), esse tipo de deformação só pode ser explicado pela presença de material de aterro com características de deformabilidade muito deficientes. Este facto é compatível com os resultados dos ensaios SPT efectuados .

Embora o nível da albufeira continuasse a subir, decidiu-se que a barragem não apresentava, à data, indícios de qualquer fenómeno de instabilização iminente. Não obstante de se saber, em resultado das inspecções visuais e da observação dos equipamentos instalados, que as deformações eram muito elevadas e que a situação da barragem estava longe de ser normal. Assim, decidiu-se aguardar pelo abaixamento do nível da albufeira, mantendo observações diárias dos diversos equipamentos instalados e diversas inspecções visuais por dia, correspondendo naturalmente a uma situação de alerta.

No dia 4 de Janeiro de 2003, o TRE, informa o LNEC que se havia detectado a passagem de água turva na zona do pé de talude de jusante. Perante este novo indício de que algo de anormal se estaria a passar, a equipa do INAG e do LNEC deslocou-se novamente à barragem. Todos os indicadores de comportamento acusavam situações anómalas. Os deslocamentos verticais evoluíam de forma muito notável, as taxas de deformação máximas (Figura 21) exibiam valores muito elevados em especial na zona da MD onde chegavam a atingir os 16 mm/dia.

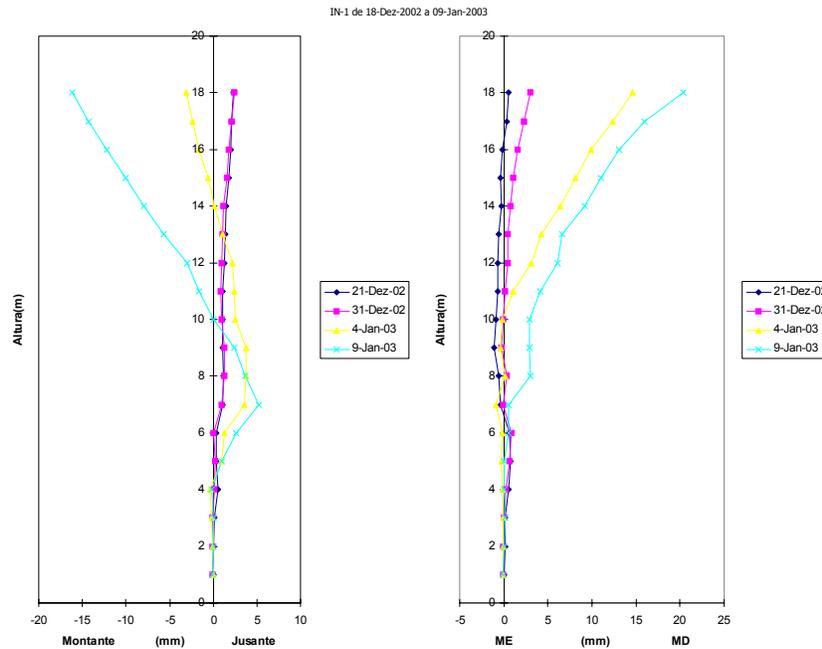


Figura 19 - Deslocamentos horizontais internos no inclinómetro I1 (ME)

Em face desta situação foi decidido que seria necessário promover o rápido abaixamento do nível da albufeira. Foram analisadas diversas hipóteses que apenas em teoria seriam viáveis mas rapidamente se concluiu que a melhor alternativa consistiria na demolição do muro do labirinto do descarregador de cheias. De facto, no dia 4 de Janeiro a barragem havia iniciado a descarga por este órgão dado que o nível da albufeira era superior ao NPA. A demolição parcial do muro foi efectuada durante a noite desse dia, com recurso a um martelo pneumático tipo “pica-pau” (Figura 21).

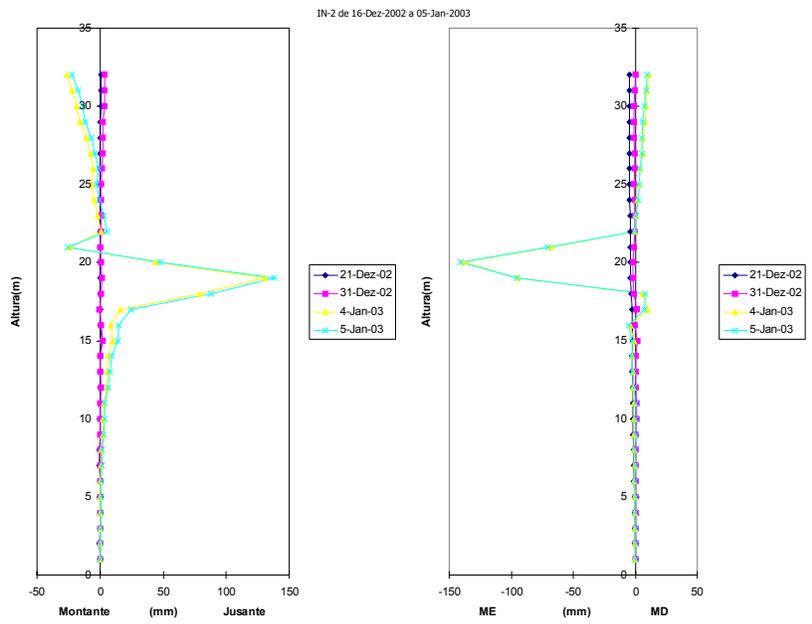


Figura 20 – Deslocamentos horizontais internos do inclinômetro I2

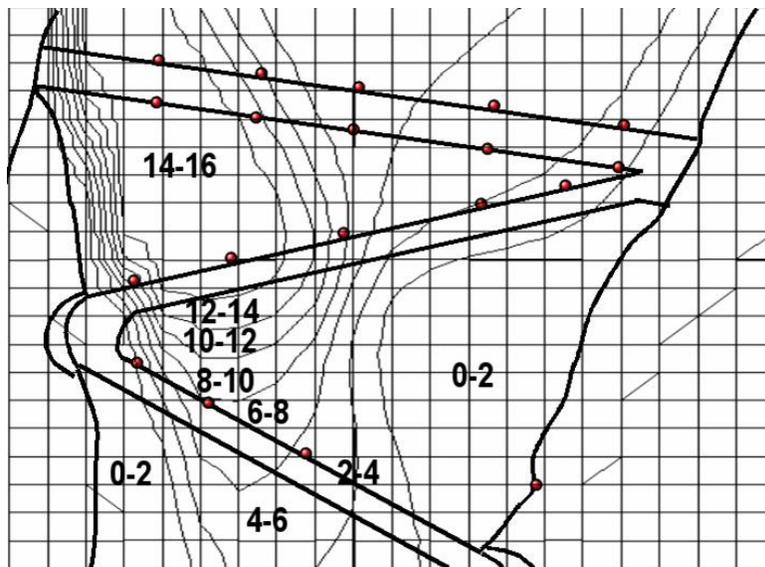


Figura 21 - Taxas de deformação máxima durante o enchimento de Janeiro de 2003 (linhas obtidas a partir dos deslocamentos nas marcas superficiais)



Figura 22 - Descarregador de cheias no dia 2003/01/03



Figura 23 - Descarregador de cheias após a demolição parcial (2003/01/04)

Uma das vantagens desta opção foi a de ser possível descarregar a barragem rapidamente sem causar caudais excessivos a jusante. De facto, a demolição foi feita em diversas etapas e entre cada etapa, era feita a verificação do caudal que se escoava para jusante, inspecionando a ribeira e as diversas pontes ao longo do seu curso.

Outro aspecto muito importante relacionava-se com os resultados dos ensaios SPT e com a cota da soleira do descarregador. Como se disse, embora os resultados dos ensaios SPT fossem globalmente maus, nos primeiros 6 m de aterro, eram muito maus. A cota do coroamento era 220. Ora $220 - 6 = 214$ que é precisamente a cota da soleira do descarregador. Assim, a destruição do muro do labirinto, embora não permitisse a descida total da albufeira permitia, pelo menos que os últimos 6 m da barragem que se encontravam em pior estado não fossem sujeitos à acção da água.

Ultrapassada a situação de maior emergência, e tendo-se conseguido promover o abaixamento da albufeira, foi mantida durante os dias seguintes uma actividade de inspecção e observação intensa até se ter considerado que a situação da barragem não oferecia qualquer risco.

5. PERÍODO POSTERIOR ATÉ AO PRESENTE

Vista à distância a sequência de acontecimentos, conclui-se que foram tomadas as medidas adequadas nos momentos acertados em face da evolução dos acontecimentos. Nos dias posteriores, com a descida do nível da albufeira, com a prossecução das leituras dos dispositivos, com a inspecção visual, etc. surgiram novos indícios do mau comportamento da barragem.

Um dos aspectos mais preocupantes tem a ver com o surgimento de duas cavidades de dimensões apreciáveis no paramento de montante junto ao muro do descarregador na MD. Uma dessas cavidades localizava-se precisamente na fundação do referido muro (Figura 24) enquanto que a outra se localizava a poucos metros deste (Figura 25). Note-se que foi precisamente nesta margem que se verificaram as maiores taxas de assentamento (Figura 21) durante o enchimento, sendo provável que os acontecimentos estejam associados.



Figura 24 - Detecção de cavidade na fundação do muro e aspecto da mesma cavidade após remoção do enrocamento (2003/01/13 e 14)



Figura 25 – Aspecto da cavidade detectada junto ao muro do descarregador (2003/01/11)

Uns dias mais tarde, à medida que o nível da albufeira o ia permitindo, foram detectadas novas deteriorações causadas pelo enchimento/esvaziamento. Com efeito, em 2003/01/28, detectou-se existirem indícios de escorregamentos superficiais no paramento de montante (Figura 26).



Figura 26 – Escorregamentos detectados no paramento de montante (2003/01/28)

Na sequência do abaixamento da albufeira foi possível terminar a demolição do muro do labirinto do descarregador de cheias (Figura 27). Desta forma garantiu-se que mesmo que voltasse a haver uma subida repentina da albufeira em resultado de chuvas muito intensas a sua cota nunca ultrapassaria muito a cota 214.

Uma vez concluída esta fase, foi possível proceder à reactivação do desvio provisório da barragem. Esta operação consistiu na abertura de uma entrada de água junto à torre de manobras, no desmonte da conduta $\phi 600$ da galeria que atravessa a fundação na MD e no desmonte dos órgãos hidráulicos na zona de saída da descarga de fundo. Estes trabalhos ficaram concluídos em Outubro de 2003.

Actualmente, enquanto que não se procede à reabilitação da barragem, está garantida a sua segurança visto que o nível da albufeira não sobe acima da cota ????



Figura 27 - Aspecto do descarregador de cheias após corte do muro

6. OBSERVAÇÃO NO PERÍODO POSTERIOR AO ACIDENTE

Durante os últimos meses, a barragem tem sido mantida sob observação embora, como é natural, sem as frequências correspondentes à situação vivida no início de 2003. Os resultados dessas actividades têm revelado, no essencial, a manutenção do comportamento deficiente da barragem. Estes comentários referem-se essencialmente no que respeita às deformações já que, os reduzidos níveis da albufeira fazem com que, do ponto de vista hidráulico, não seja possível retirar quaisquer conclusões.

Na Figura 28 apresentam-se os contornos com os assentamentos totais registados na barragem desde o início das observações em Dezembro de 2001. Na Figura 29, apresenta-se a evolução das taxas de assentamento desde Janeiro de 2003, a par do deslocamento vertical absoluto medido desde o início da observação. Verifica-se uma tendência clara para a estabilização dos assentamentos agora que a barragem está vazia. A mesma tendência havia sido registada no período subsequente a Fevereiro de 2002, quando se decidiu manter a barragem vazia. Apesar desta tendência, os valores registados, em especial nas marcas MS3 e MS4, sensivelmente a meio do vale, ligeiramente mais para a MD, são ainda elevados. A MS3, por exemplo apresenta valores superiores a 0,25 mm/dia.

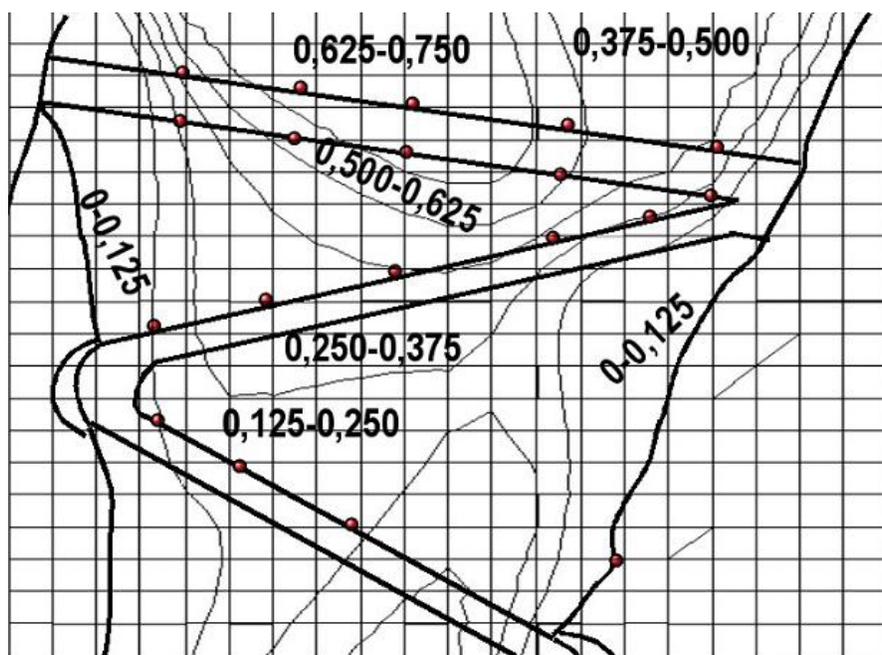


Figura 28 - Contornos de igual assentamento total desde Dezembro de 2001

No que respeita aos deslocamentos horizontais, foi possível desde Março de 2003 proceder ao acompanhamento dos deslocamentos registados nas marcas instaladas no coroamento e paramento de jusante. Da análise da Figura 30 ressalta que nas marcas de montante, nomeadamente na MS2 e MS3 o deslocamento predominante é de convergência, isto é, a MD desloca-se no sentido da ME enquanto que a ME se desloca no sentido da MD.

A Figura 31 apresenta, em planta, os contornos de deslocamento segundo xx e yy no período posterior a Março de 2003 até ao presente.

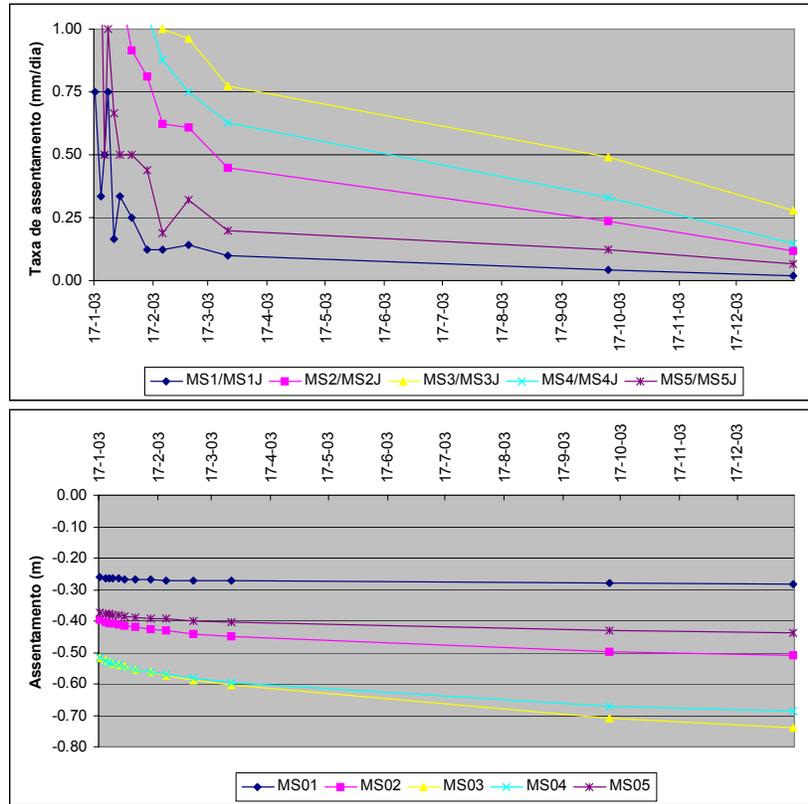


Figura 29 - Assentamentos e taxas de assentamento nas marcas do coroamento

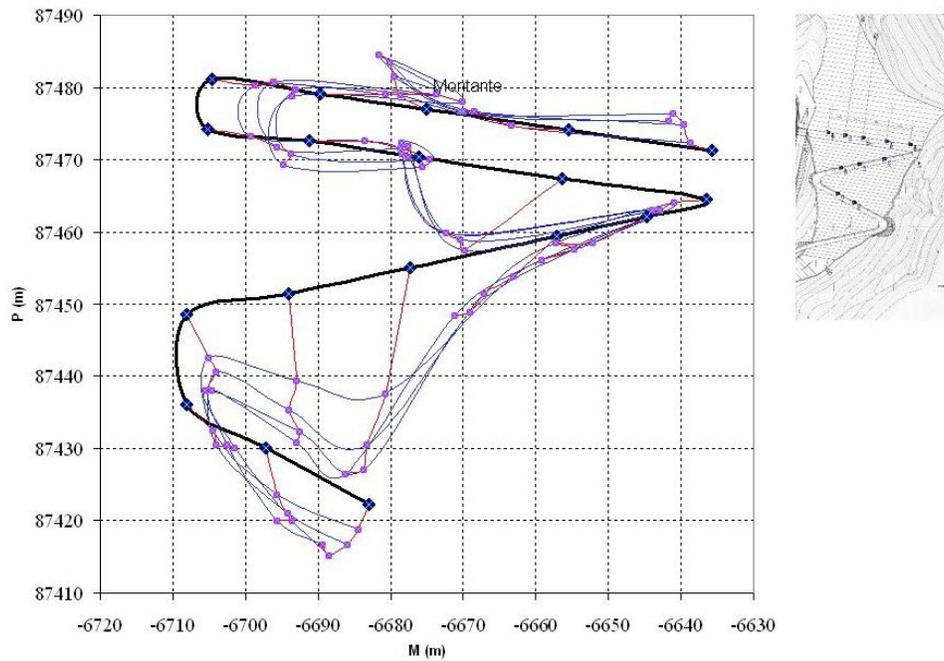


Figura 30 - Deslocamentos horizontais na barragem no período de Março de 2003 a Janeiro de 2004. Ampliação de 500x

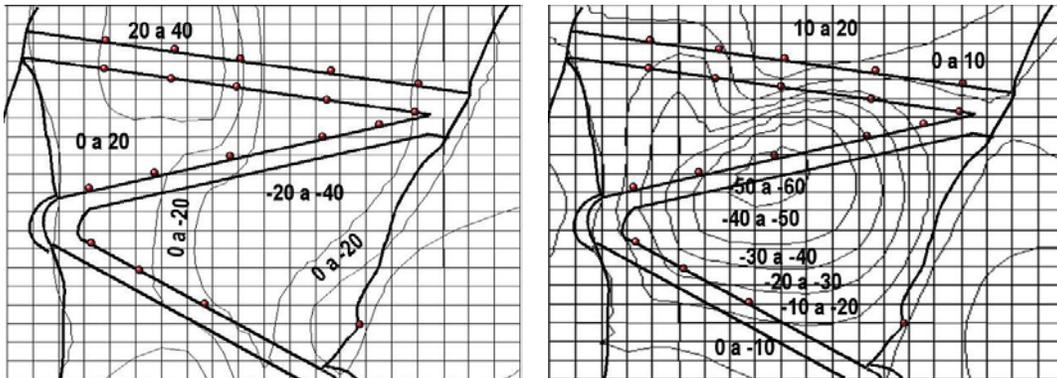


Figura 31 – Linhas de contorno de igual deslocamento horizontal (mm) em xx e em yy no período de Março de 2003 a Janeiro de 2004

7. ALGUMAS NOTAS RELATIVAS À CONSTRUÇÃO

A construção dos aterros da barragem foi feita no tempo total de 4 meses, de 2001/05/31 a 2001/09/20 embora, tenha havido uma paragem devido a intensa pluviosidade pelo que o tempo útil foi de apenas 3,5 meses. Inicialmente previa-se a utilização de dois tipos distintos de materiais para a execução dos aterros da barragem. Os solos tipo 1, solos provenientes da Formação do Grés do Buçaco e/ou dos depósitos detríticos argilosos da Bacia Sedimentar, na execução do núcleo e do maciço estabilizador de jusante e materiais rejeitados das cerâmicas locais de Gândaro e Mortágua no maciço estabilizador de montante (materiais tipo 2). Para além destes, contemplava-se a utilização de materiais para drenos e filtros (tipo 3 e tipo 4) e materiais para enrocamentos (tipo 5). Na construção dos aterros optou-se pela utilização dos solos tipo 1, também para o maciço de montante, ficando, por isso excluída a utilização dos materiais do tipo 2.

No desenvolvimento do processo construtivo houve muitas situações em que a compactação não foi feita recorrendo ao cilindro dado que a forma do vale, muito abrupta, com superfícies pouco rugosas, criava muitas situações que obrigaram a compactação manual ou mecânica ligeira.

As condições de execução dos aterros revelar-se-iam particularmente difíceis quer pela geometria da fundação, com espaços exíguos (Figura 32), especialmente no início dos aterros (Figura 33), quer pela existência de sobre-escavações de alguma monta (Figura 35), em especial na ME quer ainda pela existência de numerosas ressurgências. As figuras seguintes apresentam diversas etapas da fase construtiva da barragem.



Figura 32 – Início da construção dos aterros, sendo apreciável a exiguidade de espaço



Figura 33 - Pormenor das condições de circulação e de deposição do material de aterro no início da construção



Figura 34 – Evolução da construção



Figura 35 – Sobre-escavação na ME



Figura 36 - Tratamento das fundações na MD



Figura 37 - Aspecto da obra próximo do final de construção. Colocação da camada de transição e do enrocamento de montante

8. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES FINAIS

A barragem do Lapão possuía um plano de observação que foi implementado no decorrer da fase construtiva muito embora só ficasse concluído no final desta fase. O Dono de Obra (DRABL) entendeu perfeitamente a importância dessa peça no âmbito da segurança da barragem e executou as medidas preconizadas no plano no que respeita à frequência de observação e aos mecanismos de transmissão da informação resultante. Este facto permitiu a detecção atempada do comportamento da barragem e a implementação atempada das medidas consideradas adequadas a cada fase da obra.

No decorrer do enchimento súbito e indesejado da barragem, uma vez mais, o sistema de observação permitiu a verificação da situação da barragem possibilitando que fossem tomadas as medidas de emergência adequadas à situação da barragem.

O exemplo do Lapão permitiu testar a eficácia dos sistemas de observação quando as diversas entidades ligadas à segurança de barragens articulam os seus esforços em prol da segurança.

A simples instalação de equipamentos, sem o acompanhamento devido por parte do TRE, de nada teria servido. Foi o facto do TRE estar sensibilizado para a segurança de barragens que permitiu o funcionamento do sistema. Salienta-se por isso a importância dos planos de observação e do seu cumprimento escrupuloso.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Plano de Observação da Barragem do Lapão. Relatório 245/00 - NF. LNEC. 2000.
- [2] Plano de primeiro enchimento da Barragem do Lapão. Relatório 219/01 - NF. LNEC. 2001.
- [3] Plano de trabalhos e de reforço da observação para o diagnóstico dos incidentes ocorridos na barragem do Lapão. Nota Técnica 12/2002 - NF. LNEC. 2002.
- [4] Aproveitamento Hidroagrícola das Várzeas das Ribeiras da Fraga e de Mortágua. Projecto de Execução. Volume 3 – Barragem do Lapão. Anexo 1 – Estudos Geológicos-Geotécnicos. Hidrotécnica. Fevereiro, 1997.
- [5] Aproveitamento Hidroagrícola das Várzeas das Ribeiras da Fraga e de Mortágua. Projecto de Execução. Volume 3 – Barragem do Lapão. Anexo 3 – Estudos da Barragem. Hidrotécnica. Fevereiro, 1997.

Agradecimentos

O autor deseja expressar o seu agradecimento à DRABL, na pessoa do Director Regional, Eng. Leonel Amorim, pela autorização para a realização desta conferência sobre este tema.