

MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

NÚCLEO DE FUNDAÇÕES

Proc. 053/1/14276

**Avaliação preliminar das condições de segurança da barragem do
Lapão**

Relatório ??/2002 - NF

Lisboa, Janeiro de 2003

Estudo realizado para Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	INSPECÇÃO VISUAL	1
3	LEITURAS DOS DISPOSITIVOS DE OBSERVAÇÃO	8
4	DIAGNÓSTICO DO INCIDENTE	18
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Aspecto da guarda de montante (2001/12/13).....	2
Fig. 2 - Aspecto da guarda de montante (2002/02/16).....	3
Fig. 3 - Aspecto da rotação da guarda de montante (2002/02/16).....	3
Fig. 4 - Aspecto da evolução de uma fenda localizada no lancil de montante (de 2001/12/13 a 2002/02/16). Foi artificialmente aberta uma junta precisamente sobre o dreno.	4
Fig. 5 - Diversos aspectos de fendas no pavimento, na ligação pavimento lancil e desalinhamentos nas peças constituintes do lancil (2002/02/16).....	4
Fig. 6 - Aspecto das fendas no pavimento em 2002/02/26	5
Fig. 7 - Abatimento do revestimento em terra vegetal a jusante.....	6
Fig. 8 - Alguma fendilhação pavimento da estrada de acesso ao pé de talude (zona da 2ª curva, junto à ME).....	6
Fig. 9 - Aspecto da crista do talude junto à zona inferior da estrada de acesso à saída do evacuador de cheias e descarga de fundo.....	7
Fig. 10 – Fendilhação no pavimento da estrada e caleira parcialmente obstruída.	7
Fig. 11 – Aspecto do pé de talude sendo visível o arrastamento de material dos taludes acabando por se depositar sobre este órgão	9
Fig. 12 - Evolução da cota da albufeira desde o início do enchimento.....	10
Fig. 13 – Deslocamentos nas marcas superficiais do coroamento referidos a 11/12/2001	10
Fig. 14 – Evolução temporal dos deslocamentos das marcas superficiais do coroamento e comparação com as variações do nível da albufeira	11

Fig. 15 – Diagrama de assentamentos das marcas superficiais no paramento de jusante (1º lanço de Estrada)	12
Fig. 16 - Diagrama de assentamentos das marcas superficiais no paramento de jusante (2º lanço de Estrada)	12
Fig. 17 – Comparação entre a tensão vertical dos grupos de células de tensão total e a tensão geoestática	13
Fig. 18 – Representação esquemática do efeito de arco com transferência de tensões para os encontros	14
Fig. 19 – Valores de σ_v em percentagem dos valores de γh desde a data de colocação das células de tensão total.....	15
Fig. 20 – Piezómetros do aterro. Perfil P49	16
Fig. 21 – Piezómetros da fundação. Perfil P49	16
Fig. 22 – Piezómetros do aterro. Perfil P64	17
Fig. 23 – Piezómetros da fundação. Perfil P64	17

1 Introdução

O presente relatório tem origem na comunicação da Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral (DRABL) ao LNEC, em 2002/02/15, que dava conta de deslocamentos anormais nas marcas superficiais da barragem do Lapão. A DRABL teria comunicado os mesmos resultados ao INAG.

O LNEC decidiu, em face do resultado das observações, efectuar uma inspecção visual de carácter excepcional à barragem em 2002/02/16 que envolveu os Eng^s Silva Gomes, Laura Caldeira e João Marcelino. Essa visita contou ainda com a participação do Eng. Alcindo Cardoso, em representação da DRABL.

Posteriormente, foram realizadas outras visitas de inspecção, nomeadamente nos dias 2002/02/19 e 2002/02/26. Neste último dia foi elaborada uma acta da visita, que se anexa.

Neste relatório descrevem-se os aspectos essenciais sobre os quais incidiram as visitas, apresentam-se os resultados da observação da barragem e as medidas que foram recomendadas em face da situação e dos cenários eventualmente explicativos das ocorrências observadas na obra.

2 Inspeção visual

Nos parágrafos que se seguem descrevem-se alguns dos aspectos que foram detectados no decorrer da visita de carácter excepcional e recorre-se a alguns registos fotográficos retirados por ocasião da visita preliminar ao primeiro enchimento em 2001/12/13, onde são visíveis as diferenças entre as condições de diversas zonas da barragem nas duas datas.

Na Fig. 1 apresenta-se o aspecto da guarda de montante em 13 de Dezembro de 2001, por ocasião da visita preliminar ao primeiro enchimento. Na Fig. 2 apresenta-se o aspecto da mesma zona no dia 2002/02/16, sensivelmente da mesma posição. Nesta data, a albufera encontrava-se à cota 211,4, apenas a 1,0 m do patamar de enchimento estabelecido no plano de primeiro enchimento (LNEC, 2001). Já havia sido detectado, em 2001/12/13 durante a inspecção prévia, uma depressão na guarda junto à ME mas que à data se supunha ser

resultante de imperfeição na construção. Verifica-se afinal que essa depressão poderia já ser a manifestação de assentamentos pós construtivos que se agravaram com o início do primeiro enchimento e progrediram no sentido da MD. Para além desta manifestação de deslocamento vertical nota-se também haver rotação da guarda no sentido de montante (Fig. 3).

Em diversas zonas do lancil, a montante, notam-se indícios de movimentos. Na Fig. 4 apresentam-se duas fotografias da mesma zona entre as datas acima indicadas. Nota-se que, apesar de ter sido aberta uma junta artificialmente, o movimento relativo das duas peças provocou a rotura de uma cunha de betão do lancil.

O grupo de imagens da Fig. 5 apresenta diversas fendas que ocorrem no pavimento de betuminoso, zonas onde há separação entre o lancil e o pavimento e outras zonas do lancil onde se verificam desalinhamentos. A Fig. 6 apresenta o aspecto de outras fendas em 2002/02/26, em que se nota a abertura significativa das mesmas.

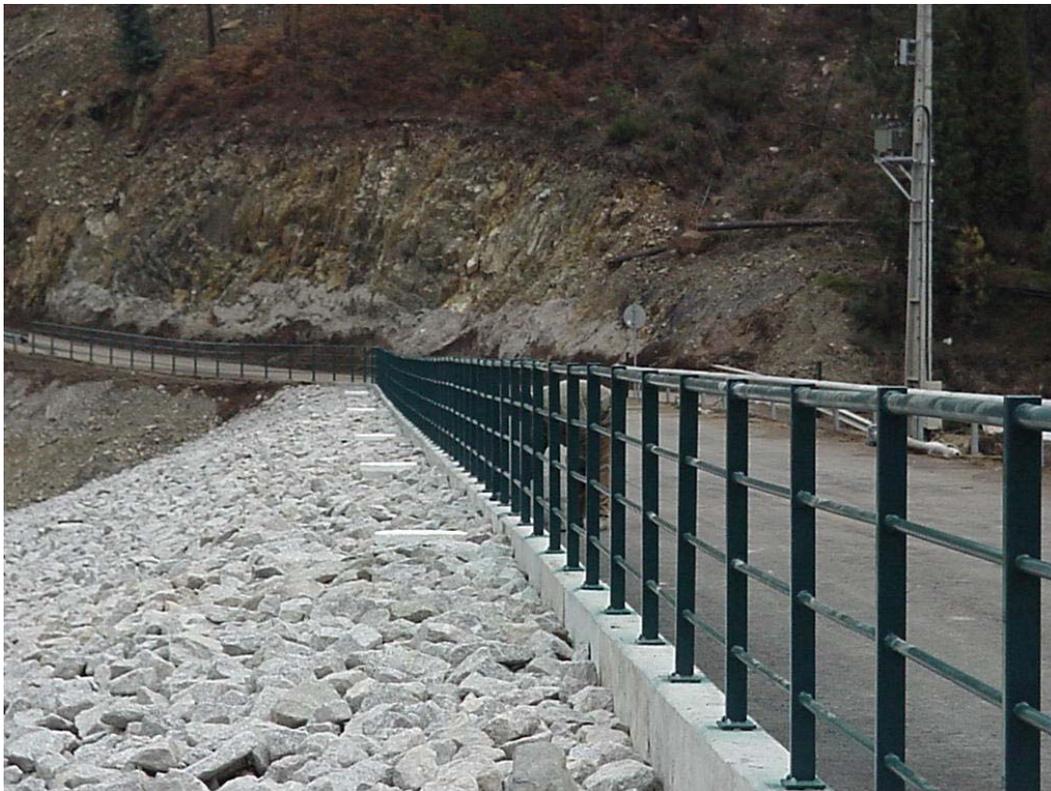


Fig. 1 - Aspecto da guarda de montante (2001/12/13)



Fig. 2 - Aspecto da guarda de montante (2002/02/16)



Fig. 3 - Aspecto da rotação da guarda de montante (2002/02/16)



Fig. 4 - Aspecto da evolução de uma fenda localizada no lancil de montante (de 2001/12/13 a 2002/02/16). Foi artificialmente aberta uma junta precisamente sobre o dreno.



Fig. 5 - Diversos aspectos de fendas no pavimento, na ligação pavimento lancil e desalinhamentos nas peças constituintes do lancil (2002/02/16)



Fig. 6 - Aspecto das fendas no pavimento em 2002/02/26

Para além destes aspectos que refletem um assentamento significativo do maciço de montante da barragem, e que se manifestam por deslocamentos de cerca de 9 cm nas marcas de assentamento em 2002/02/16, há outros aspectos na barragem que devem ser tidos em consideração, especialmente porque alguns mostram evolução significativa desde a inspeção preliminar ao primeiro enchimento. De salientar que os deslocamentos destas marcas evoluíram desde a data da inspeção excepcional em 2002/02/16 e, em 2002/03/01, o valor máximo de deslocamento era de 14,3 cm na marca MS3, localizada, sensivelmente no perfil de maior altura.

O revestimento em terra vegetal no paramento de jusante apresenta alguns indícios de escorregamento superficial que, embora pouco significativo, implicam a sua manutenção a curto prazo (Fig. 7). Ainda nesta zona, o maciço junto ao encontro encontrava-se empapado, verificando-se infiltração de água a partir das ressurgências do encontro, a qual saía a jusante da estrada, tendo originado um pequeno escorregamento.

Junto à ME, na segunda curva da estrada de acesso, a jusante, o pavimento apresenta alguma fendilhação o que traduz provavelmente deficiências construtivas associadas à presença de água, provavelmente proveniente das ressurgências existentes na zona. Aliás, convém referir o maciço, nesta zona apresenta indícios de arrefriamento.

Na zona adjacente à casa de manobra da descarga de fundo verificam-se também importantes deficiências na estrada de acesso (Fig. 10) e nos taludes adjacentes (Fig. 9).



Fig. 7 - Abatimento do revestimento em terra vegetal a jusante



Fig. 8 - Alguma fendilhação pavimento da estrada de acesso ao pé de talude (zona da 2ª curva, junto à ME)



Fig. 9 - Aspecto da crista do talude junto à zona inferior da estrada de acesso à saída do evacuador de cheias e descarga de fundo



Fig. 10 – Fendilhação no pavimento da estrada e caleira parcialmente obstruída.

Toda a zona junto ao pé de talude deve, aliás, ser alvo de uma reformulação, dado que a sua geometria é particularmente desfavorável e susceptível de deterioração por acção dos agentes

atmosféricos. Notam-se indícios de diversos escorregamentos mais ou menos superficiais que virão a afectar esta zona, notam-se também indícios de erosão dos taludes adjacentes ao evacuador de cheias e, finalmente, a geometria das descontinuidades dos blocos de rocha é particularmente desfavorável, sendo muito provável que se verifique queda de blocos na zona adjacente à casa de manobra da descarga de fundo, com todos os inconvenientes que daí advêm.

Para além destes aspectos, na entrada do evacuador de cheias, a montante, os taludes junto ao muro apresentam-se bastante inclinados verificando-se inclusivamente a queda de blocos na zona de aproximação a este órgão com os inconvenientes que, naturalmente, daí resultam para o escoamento nesta zona.

3 Leituras dos dispositivos de observação

O plano de observação da barragem (LNEC 2000) incluiu a instalação de diversos dispositivos de observação que permitiram o acompanhamento da evolução de diversas grandezas durante a fase de construção, de primeiro enchimento e de exploração.

Foi precisamente a análise dos valores de alguns destes dispositivos, complementados com a inspecção visual, que contribuiriam para a decisão de baixar o nível da albufeira para a cota 200, decisão que foi tomada a 2002/02/18.



Fig. 11 – Aspecto do pé de talude sendo visível o arrastamento de material dos taludes acabando por se depositar sobre este órgão

Na Fig. 12 apresenta-se a evolução da cota da albufeira desde o início do enchimento em (13/12/2001) até a 5/03/2002. Durante o enchimento, a cota da albufeira evoluiu a uma taxa média de 29 cm/dia, enquanto que o esvaziamento se processou à taxa de cerca de 1 m /dia, (aprox. 4.2 cm/hora).

Os deslocamentos resultantes da observação das marcas superficiais instaladas no coroamento está ilustrada no diagrama da Fig. 13. Na Fig. 14 apresenta-se a evolução temporal dos deslocamentos das mesmas marcas. Nesta figura é bastante clara a evolução desfavorável dos assentamentos especialmente desde o início do mês de Fevereiro, sendo também visível que, numa primeira fase, os assentamentos estabilizam com a descida do nível da albufeira, enquanto que, aparentemente numa fase posterior, volta a haver um acréscimo de deslocamento, aparentemente injustificado.

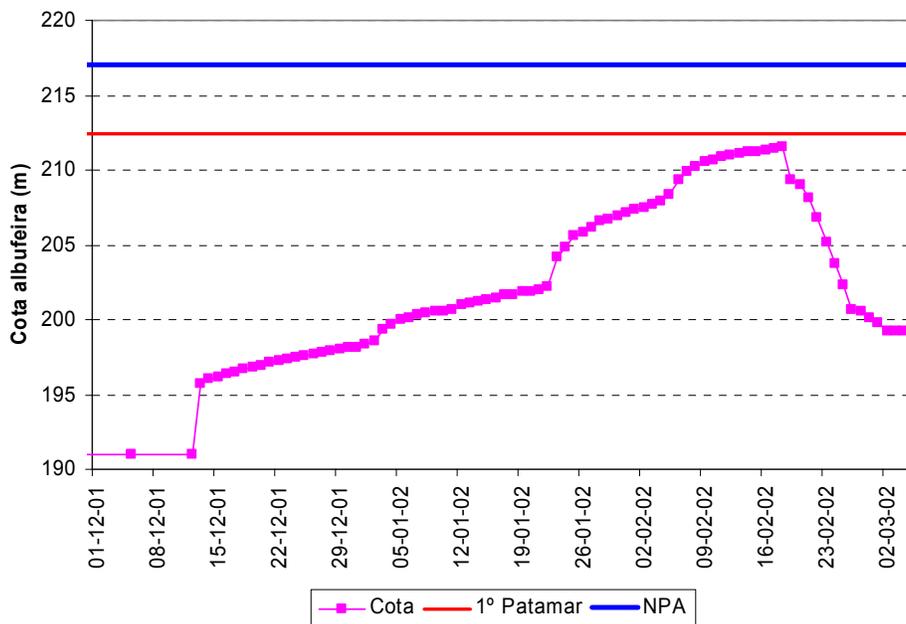


Fig. 12 - Evolução da cota da albufeira desde o início do enchimento

As leituras mais recentes, nomeadamente as de 2002/03/05 parecem mesmo corresponder um processo de aumento da taxa de deformação, mesmo com a albufeira praticamente vazia, o que pode querer indiciar um fenómeno de instabilização eminente do talude de montante.

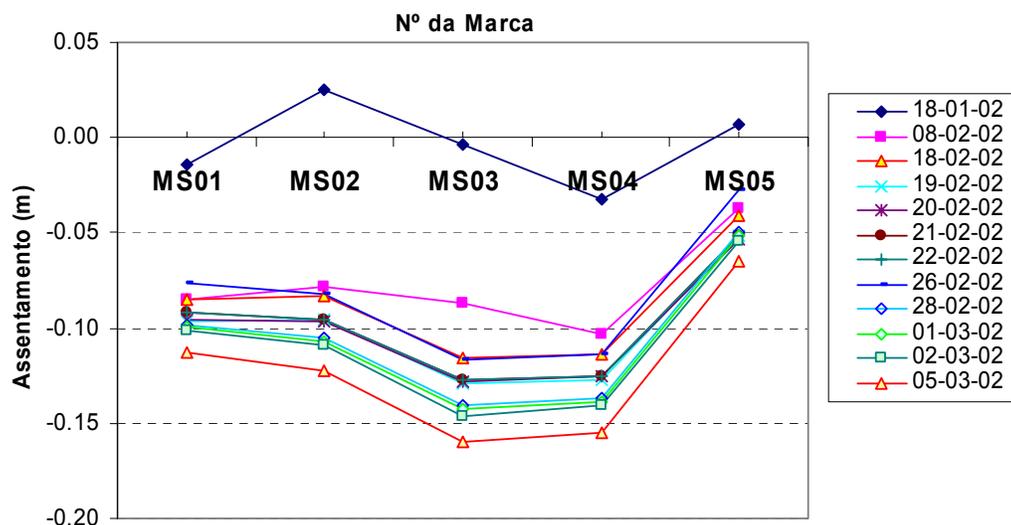


Fig. 13 – Deslocamentos nas marcas superficiais do coroamento referidos a 11/12/2001

Embora, com expressão mais reduzida, os deslocamentos registados nas marcas colocadas no paramento de jusante apresentam também valores que podem ser considerados como demasiado elevados, especialmente tendo em consideração a zona em que se encontram.

É importante notar que as maiores deformações parecem concentrar-se no perfil P49 (Marcas MS3, MS8 e MS13) a que corresponde o perfil (teórico) de maior altura da barragem, apesar de, no coroamento, as marcas MS4 e MS5 apresentarem deslocamentos muito elevados, tendo em atenção a espessura de aterro sob essas marcas.

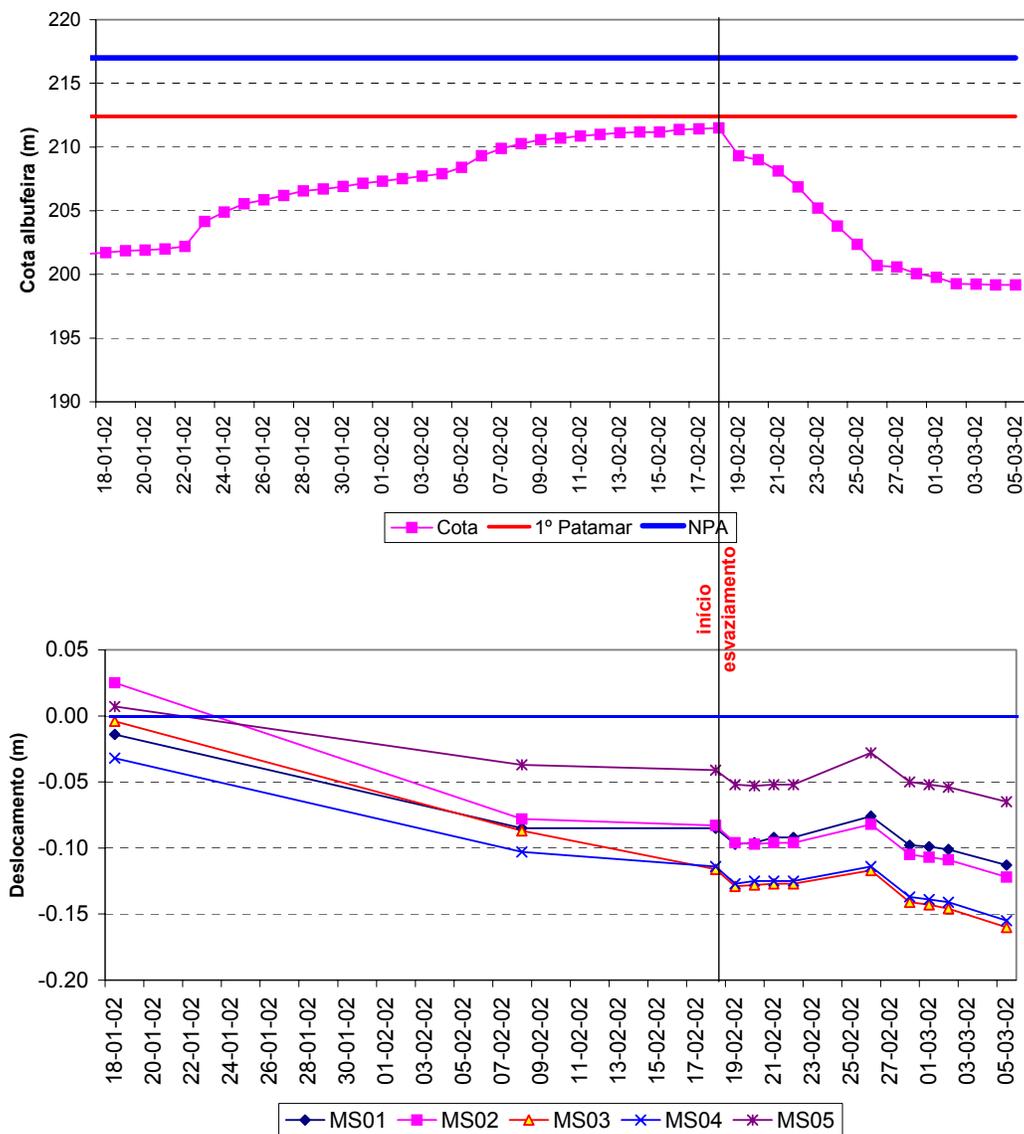


Fig. 14 – Evolução temporal dos deslocamentos das marcas superficiais do coroamento e comparação com as variações do nível da albufeira

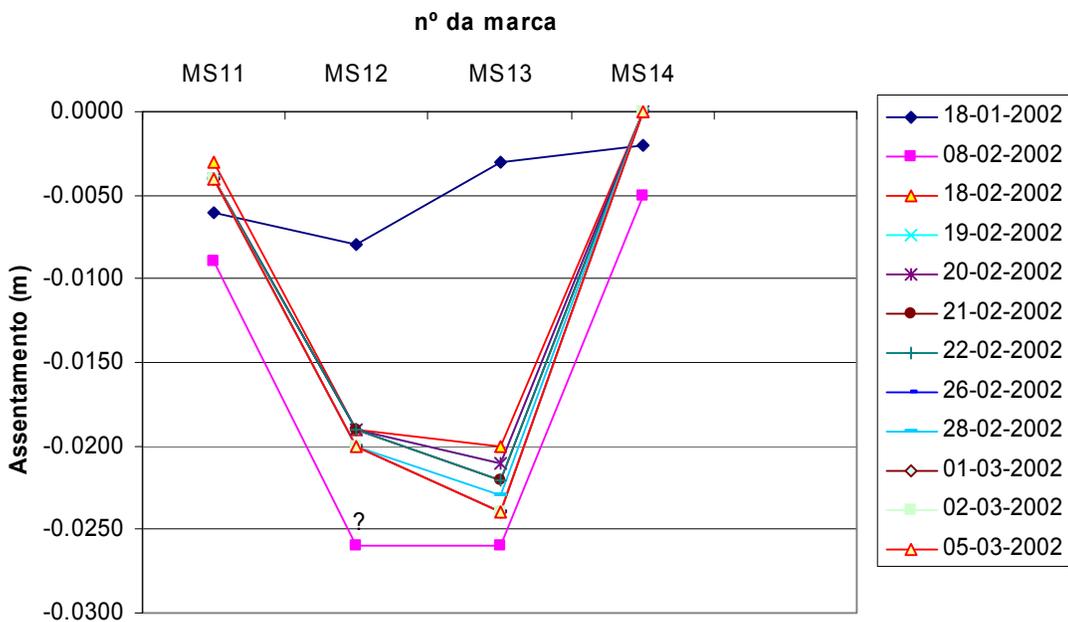
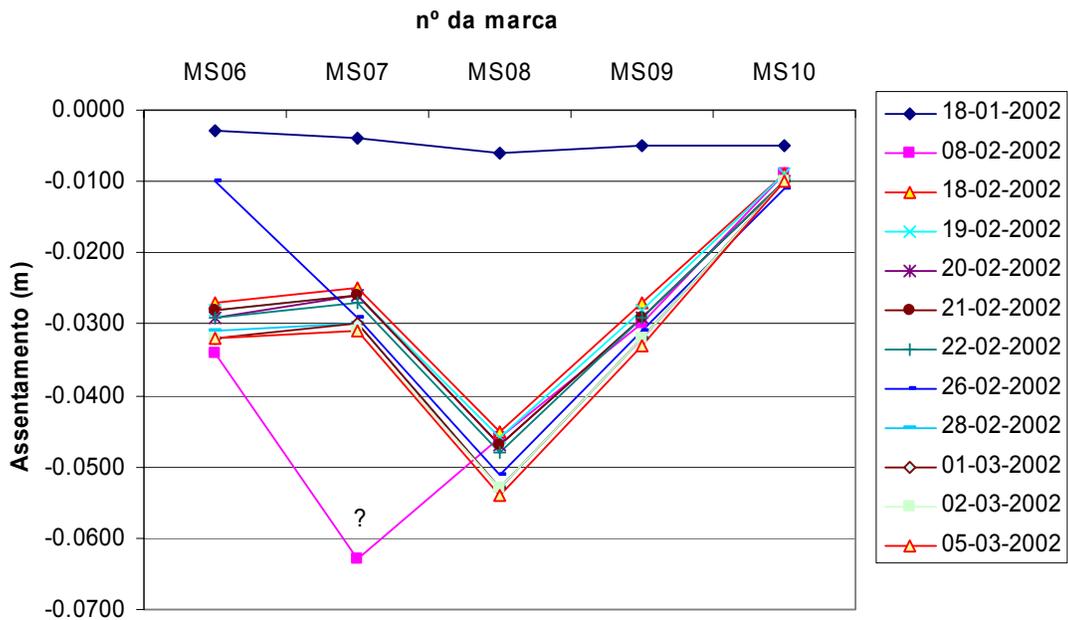


Fig. 16 - Diagrama de assentamentos das marcas superficiais no paramento de jusante (2º lanço de Estrada)

Na Fig. 17 apresenta-se o diagrama das tensões totais verticais comparadas com a tensão resultante das camadas de solo subjacentes a cada grupo de células. Conforme se pode

verificar, há um pronunciado fenómeno de transferência de tensões, que se traduz por uma acentuada redução da tensão vertical quando comparada com o peso das terras sobrejacentes.

O valor da tensão vertical máxima na zona do grupo de células nº 1 é atingido em finais de Setembro (cerca de 58% de γh), verificando-se depois uma redução desse valor até cerca de 40% de γh .

Após o início da descida da albufera a tensão vertical neste grupo de células reduz-se ainda mais, tendo actualmente apenas 30% do valor de referência. Esta redução pode ser explicada pela transferência de tensões, por efeito de arco, para as encostas o que, aliás, parece ser traduzido pelo aumento da tensão vertical na zona do grupo de células nº2.

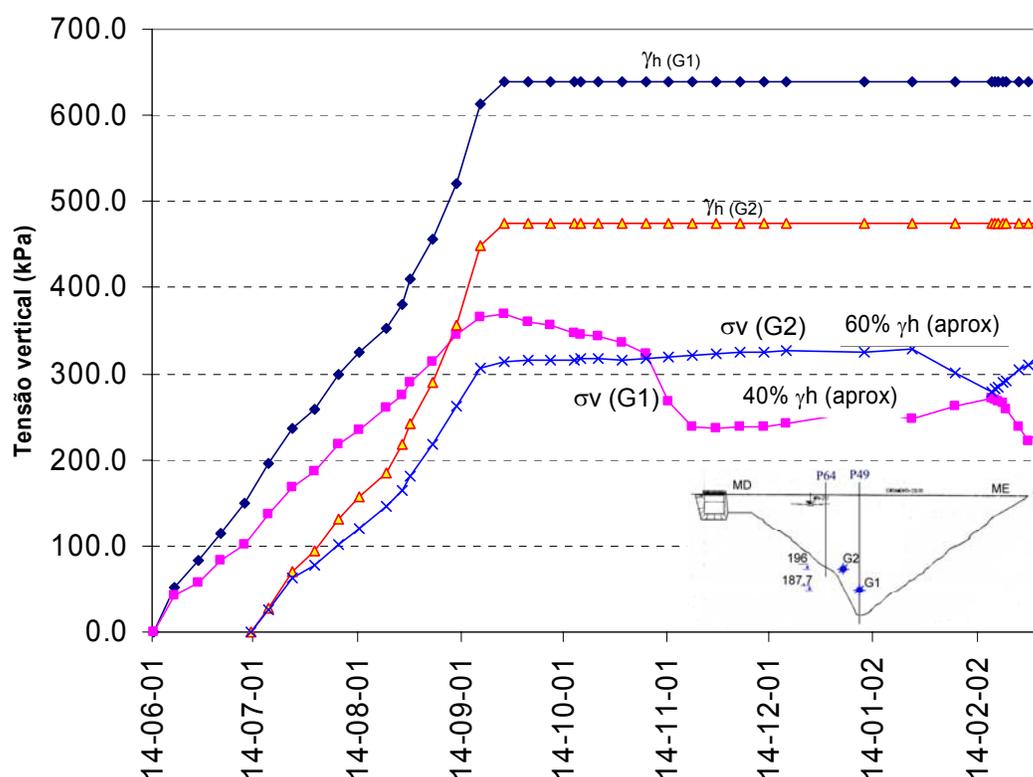


Fig. 17 – Comparação entre a tensão vertical dos grupos de células de tensão total e a tensão geostática

O fenómeno de transferência de tensões para os encontros está esquematicamente explicado na Fig. 18. À medida que se processa a deformação da barragem, as tensões principais evoluem da situação representada por (1) para a situação representada por (2), notando-se um alívio da tensão na zona inferior da barragem e um aumento da tensão nos encontros, com a conseqüente rotação da orientação das tensões principais. Este é um fenómeno esperado em

vales estreitos como este e, por isso, foi decidido instalar os grupos de células de tensão total nas zonas indicadas (LNEC 2000).

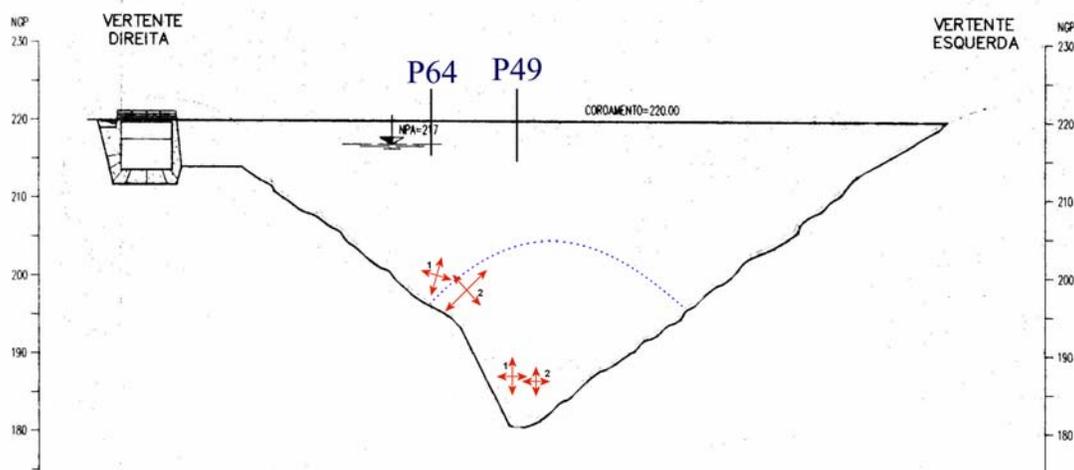


Fig. 18 – Representação esquemática do efeito de arco com transferência de tensões para os encontros

O fenómeno de transferência de tensões é, como foi dito, habitual neste tipo de vales e, dentro de determinados valores não é especialmente problemático. A análise deve ainda levar em consideração o valor das pressões intersticiais instaladas na zona. De acordo com os resultados dos piezómetros eléctricos, que são corroborados por alguns dos piezómetros hidráulicos instalados em zonas semelhantes, as pressões intersticiais são ainda reduzidas no corpo do aterro, pelo que não está eminente qualquer fenómeno lesivo da segurança, no presente momento, devido ao fenómeno de transferência de tensões.

No limite, com a redução da tensão total mínima e com o aumento da pressão intersticial devida ao enchimento da albufeira, se esta última igualar ou superar a primeira, pode-se instalar uma situação de fracturação hidráulica, que constituiria um cenário muito inconveniente sob o ponto de vista da segurança da barragem.

O historial completo da variação da tensão total está ilustrado na Fig. 19, onde se representa em ordenadas o valor da tensão vertical como percentagem do valor do peso das terras sobrejacentes a cada grupo de células. Conforme se pode constatar, os valores registados no grupo de células nº 1 são sempre inferiores aos do grupo nº 2, este último onde, em teoria, se concentrarão as tensões resultantes do efeito de arco. Verifica-se, além disso, uma tendência para o aumento da tensão vertical no grupo 2 quando se dá uma redução da tensão no grupo 1 (de final de Setembro até ao início do esvaziamento em final de Fevereiro). Essa tendência é contrariada pela sua inversa durante o processo de esvaziamento e retomada no final deste.

Embora não seja perfeitamente evidente este processo de transferência de tensão, provavelmente pelo carácter pontual das medições, as variações registadas podem ser justificadas pelas deformações verificadas na barragem.

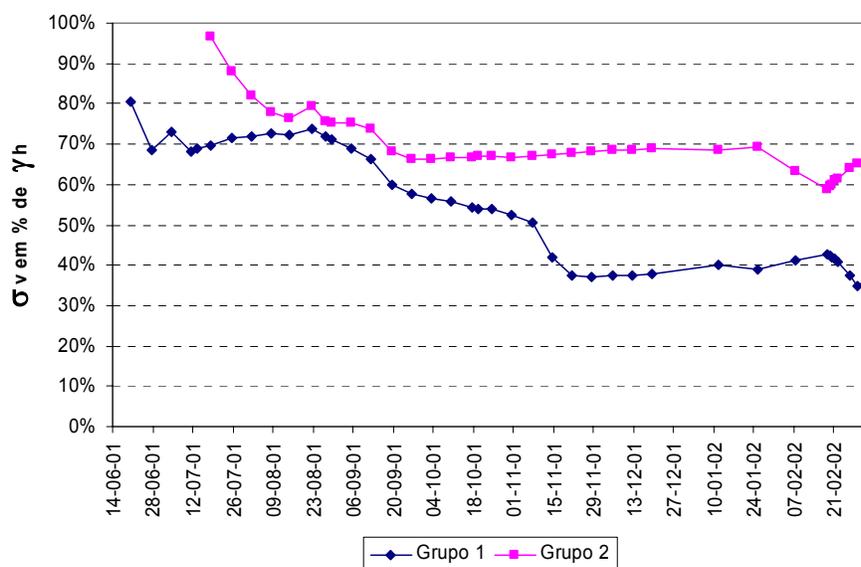


Fig. 19 – Valores de σ_v em percentagem dos valores de γh desde a data de colocação das células de tensão total

Nas figuras seguintes (Fig. 20 a Fig. 23) apresentam-se os valores das pressões intersticiais registadas nos diversos piezómetros instalados no aterro e fundação da barragem (perfis 49 e 64). Os resultados caracterizam-se por, no aterro, não estar ainda instalada qualquer pressão intersticial resultante do enchimento da albufeira (piezómetros 1, 3, 5 e 7).

Os piezómetros da fundação, pelo contrário, traduzem de forma directa os acréscimos de pressão devidos à subida da cota da albufeira. Destes piezómetros é necessário salientar o comportamento do piezómetro PH4 que, não obstante a subida do nível da albufeira, acusa uma descida do nível piezométrico, ainda que ligeira. Assim, entre 25/01/2002 e 16/2/2002 a albufeira regista uma subida de 5,82 m enquanto que o piezómetro PH4 regista uma descida de 0,15 m. Este comportamento do piezómetro pode indicar a abertura de um caminho preferencial de escoamento ou a lavagem de uma descontinuidade que leve à redução do valor da pressão.

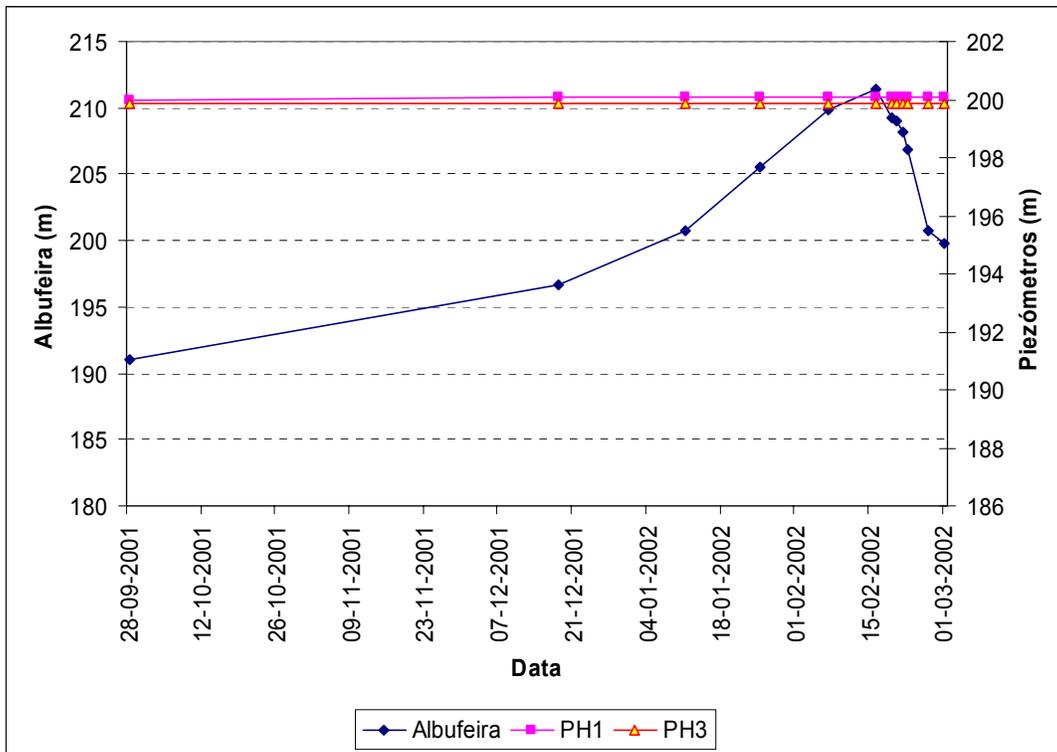


Fig. 20 – Piezómetros do aterro. Perfil P49

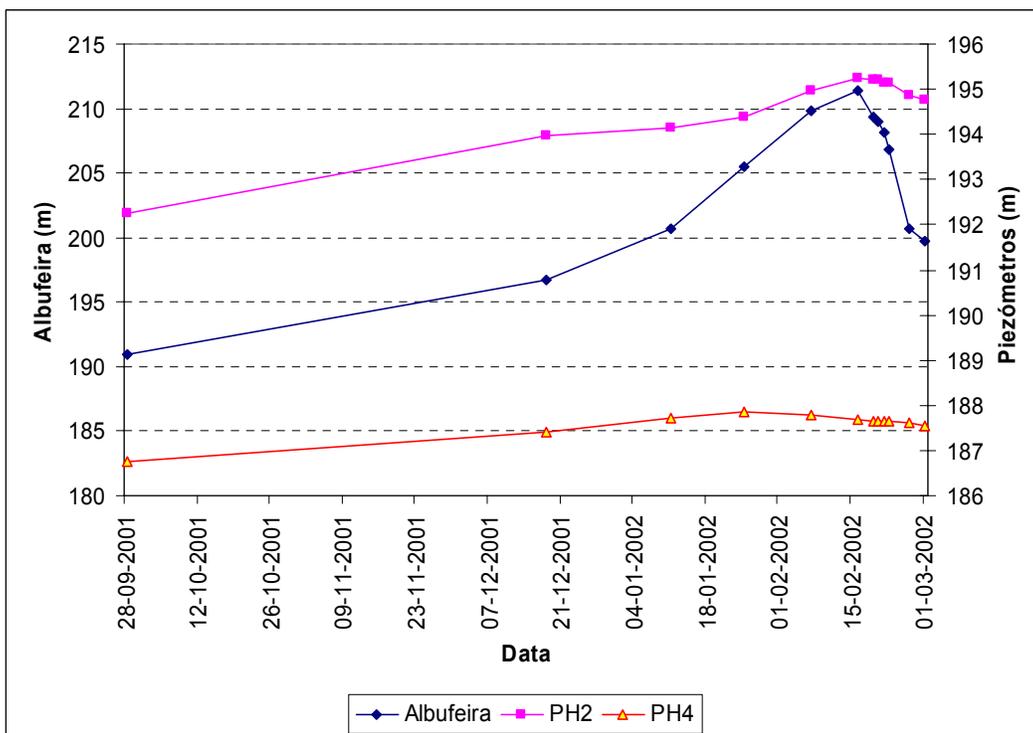


Fig. 21 – Piezómetros da fundação. Perfil P49

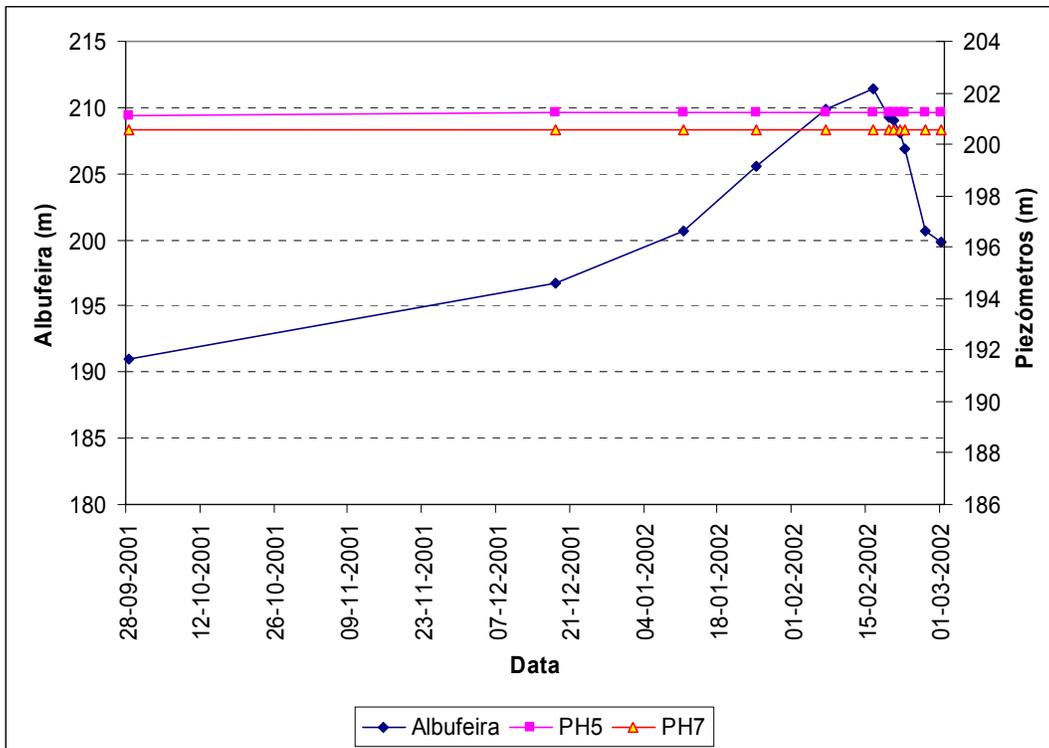


Fig. 22 – Piezómetros do aterro. Perfil P64

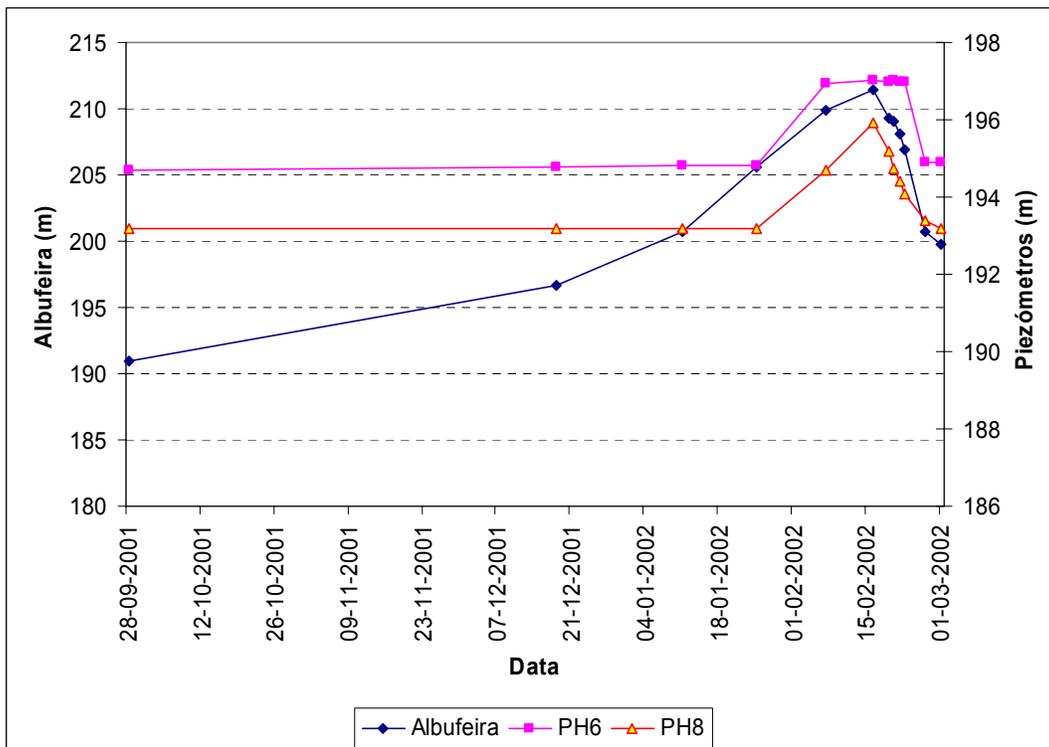


Fig. 23 – Piezómetros da fundação. Perfil P64

4 Diagnóstico do incidente

Os acontecimentos acima relatados e complementados pelos resultados da observação da barragem configuram um cenário de incidente na barragem.

Com efeito, desde a sua deteção, a evolução das anomalias, com particular destaque dos deslocamentos e das suas manifestações, em especial no coroamento da barragem, indiciam um comportamento deficiente da barragem.

A decisão de esvaziar a barragem até à cota 200 permitiu evitar a progressão descontrolada dos acontecimentos e seguir a evolução do processo em condições de segurança, no que respeita a pessoas e bens, a jusante do empreendimento.

De acordo com as informações disponíveis até ao momento, podem-se adiantar três causas possíveis para os fenómenos observados, como se apresenta de seguida:

- Deformações provocadas pelo colapso volumétrico por molhagem do material de aterro: este foi, inicialmente, o mecanismo que se admitiu poder provocar as deformações registadas no início dos acontecimentos. De facto, alguns materiais, mesmo de aterro em solos (o fenómeno é mais típico de alguns aterros de enrocamento), podem sofrer acentuadas reduções volumétricas por acção da molhagem que ocorre durante o primeiro enchimento. Nos solos, o fenómeno é menos frequente porque as tensões nos contactos interpartículas não são muito elevadas, dado que existe um grande número desses contactos. Atendendo à natureza do processo, seria expectável que com a redução do nível da albufeira a deformação estabilizasse ou, pelo menos, tivesse uma redução de taxa substancial. De facto, inicialmente verificou-se uma redução mas que, posteriormente, foi contrariada, pelo que se conclui, que esta não será, pelo menos, a causa principal das deformações registadas. Estão em curso ensaios que permitirão quantificar se este fenómeno tem expressão que justifique, pelo menos parcialmente, as deformações da barragem.
- Erosão interna da zona de contacto aterro-fundação: este é o fenómeno que, a verificar-se, se considera mais preocupante. As características da fundação, a forma particularmente desfavorável do vale, as características dos solos empregues na construção e o facto de não haver tratamento da fundação, à excepção da zona da

margem direita, são factores que podem concorrer para a ocorrência de erosão interna. Tratando-se de um cenário de significativa gravidade, com um elevado risco associado, foi este que motivou a decisão de promover o abaixamento imediato da albufeira para a cota 200. É necessário salientar que as deformações ocorrem com maior expressão na margem esquerda (onde não houve tratamento) e é precisamente nessa margem que foram detectadas, durante a construção, importantes ressurgências e linhas de água que obrigaram a escavações adicionais e a cuidados especiais nesta fase, de forma a ser possível a construção dos aterros. Outro factor preocupante está associado com a forma do vale e com as dificuldades de fazer uma compactação eficiente nas zonas com maciços rochosos praticamente verticais, como veio a verificar-se nesta obra. Essas zonas podem ser potencialmente perigosas no que respeita à criação de caminhos preferenciais de percolação.

- Escorregamento, para montante, de porções significativas do paramento de montante: atendendo às características do material de aterro, quando molhado (estão a decorrer ensaios que permitirão esclarecer mais detalhadamente este aspecto) e atendendo a que parte do maciço de montante estará nestas condições, podem ocorrer escorregamentos de partes do maciço de montante para a albufeira. Dado que se promoveu o esvaziamento parcial da albufeira, não haverá qualquer risco para pessoas e bens a jusante. É importante referir que, de acordo com os dados disponíveis, este processo pode estar já em andamento embora, possa também estabilizar. De facto, as taxas de deformação (visíveis no andamento dos diagramas de deslocamento *vs* tempo) parecem indicar que há um aumento da velocidade de deformação. Por outro lado os lábios das fendas no paramento de montante apresentam desníveis (recentes), para além do aumento da abertura, e, finalmente, no piezómetro PH2 há dificuldades em introduzir a sonda para fazer a medição do nível piezométrico. Todos estes aspectos, em conjunto, indicam que se estão a processar deformações que são compatíveis com um mecanismo de instabilização do tipo do que foi apontado.

Qualquer um dos cenários de incidente apontado requer, naturalmente, um conjunto de medidas que passam pelo esclarecimento das reais causas dos fenómenos verificados, pela sua reparação, pelo reforço significativo do sistema de observação da barragem e, finalmente, pelo estabelecimento de um novo plano de primeiro enchimento que contabilize todos os aspectos entretanto detectados.

Ao longo de todo o processo que se iniciou com a primeira comunicação da DRABL ao LNEC, houve troca de correspondência que, em face da evolução dos acontecimentos dava indicação das medidas a tomar em cada momento. Essa correspondência encontra-se em anexo ao presente relatório.

5 Considerações finais

Durante o primeiro enchimento da albufeira da barragem do Lapão, ocorreram fenómenos que podem ser considerados como anómalos em face do comportamento esperado da barragem.

Na sequência desses acontecimentos, foram realizadas diversas visitas de inspeção, tendo-se decidido promover o abaixamento do nível da albufeira com vista a permitir o esclarecimento do sucedido, em condições de segurança.

Para além de um reforço significativo na frequência de observação dos diversos dispositivos instalados na barragem, será necessário proceder a uma série de estudos complementares que permitirão, averiguar as causas dos incidentes ocorridos.

A DRABL enviou ao LNEC um pedido de colaboração, no sentido de o LNEC acompanhar a totalidade do processo, encontrando-se em preparação um plano de trabalhos, nesse sentido.

O LNEC considera que o reinício do enchimento, em segurança, da albufeira, terá de passar pelo diagnóstico do sucedido e eventual reparação e reforço da barragem.

Lisboa e LNEC em Março de 2002

VISTOS

AUTORIA

O Chefe do Núcleo de Fundações

Laura Caldeira

João M. Marcelino Mateus da Silva
Investigador Auxiliar

O Chefe do Departamento de Geotecnia

António Gomes Coelho

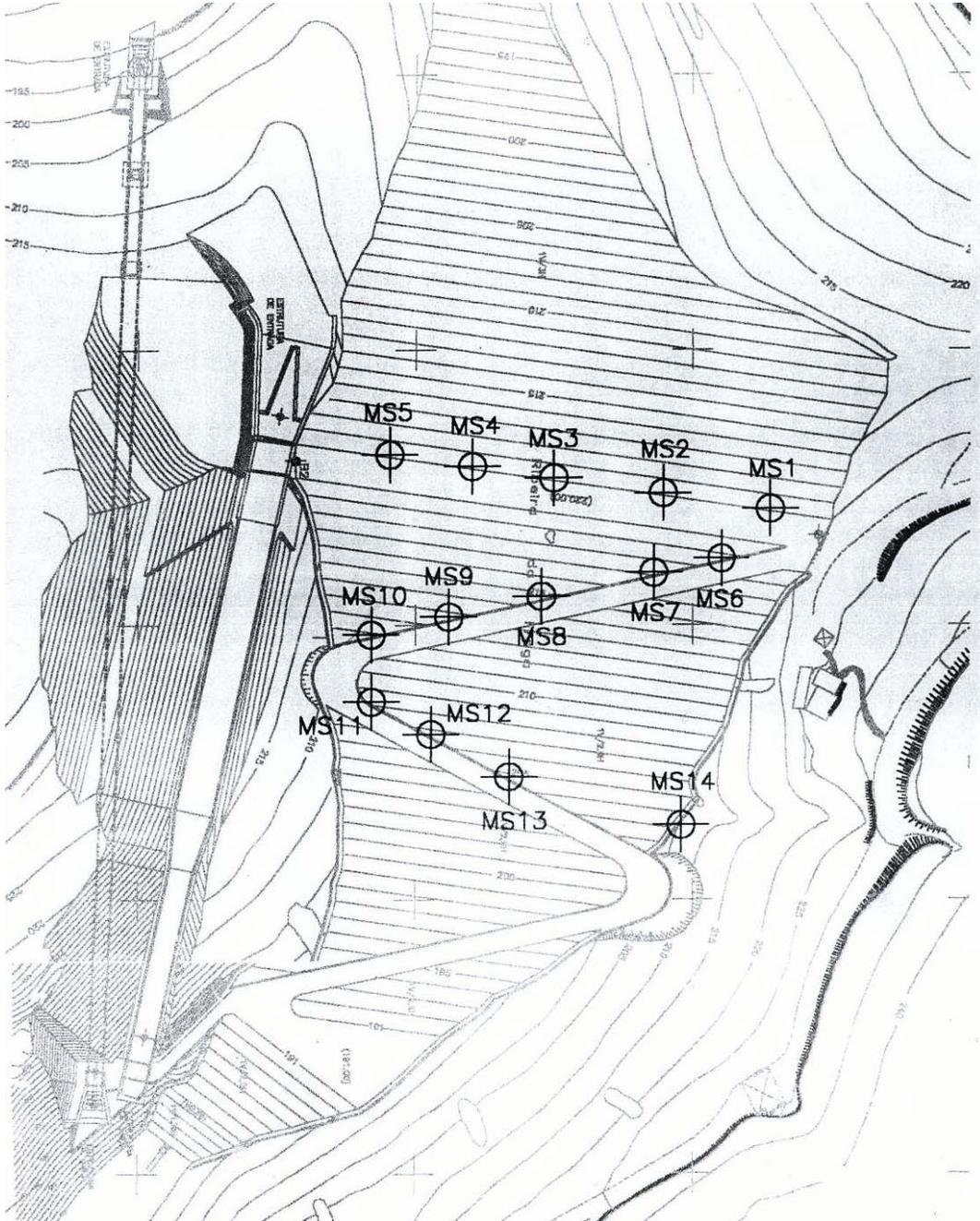
6 Referências bibliográficas

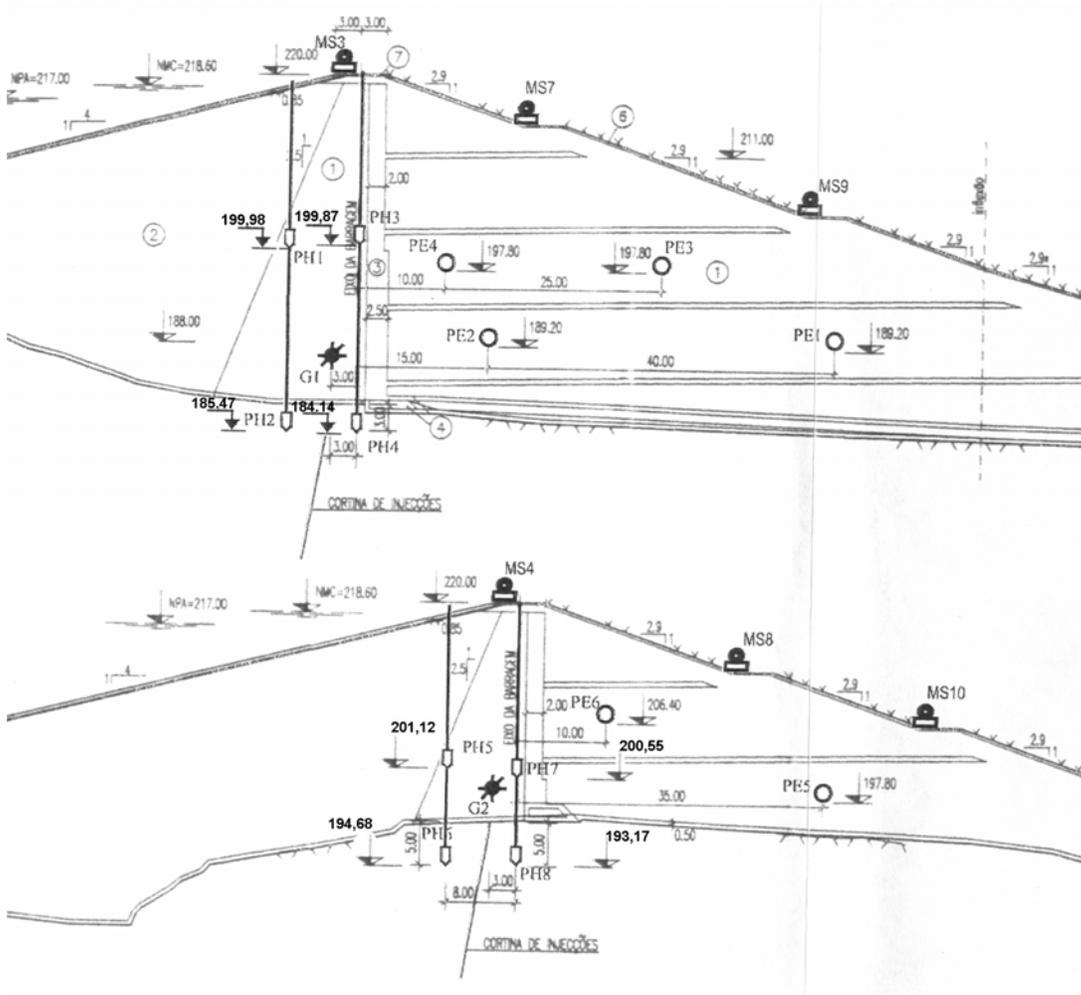
LNEC 2000 – “Plano de observação da barragem do Lapão”. Relatório 245/00-NF. Outubro de 2000

LNEC 2001 – “Plano de primeiro enchimento da albufeira da barragem do Lapão”. Relatório 219/01-NF. Setembro de 2001

ANEXO I

Localização das marcas superficiais e perfis transversais com a localização final dos equipamentos de observação





ANEXO II

Correspondência entre:

o LNEC e a DRABL

LNEC e o INAG



MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO, SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Geotecnia

Av. do Brasil, 101

PT-1799 LISBOA CODEX, PORTUGAL

Telefones: +351 21 844 3338; Fax: +351 21 844 3021

<http://www.lnec.pt>

FAX

PARA/TO

Nome/Name EXMO SR. ENG. ALCINDO CARDOSO	N.º _____
Entidade/Organization DRABL	Data/Date 18-02-2002
Morada/Address COIMBRA	Páginas/No. of pages 1+
País/Country PORTUGAL	Proc. 053/001/14276
N.º de Fax/Fax No. 239 833 679	
DE/FROM JOÃO MARCELINO	

Assunto/Subject: Visita excepcional à Barragem do Lapão em 2002/02/16

Na sequência da visita excepcional realizada em 2002/02/16 apresentam-se neste fax algumas medidas de implementação imediata para reforçar o sistema de observação da barragem do Lapão onde se verificam assentamentos superiores aos que seriam de esperar.

Encontra-se em elaboração uma Nota Técnica sobre este mesmo assunto onde se desenvolvem mais estes e outros aspectos.

Medidas de implementação imediata:

- Aumento da frequência de observação. Todos os aparelhos, marcas superficiais, piezómetros hidráulicos, células de tensão total e células de pressão intersticial devem ser medidos semanalmente, preferencialmente no mesmo dia da semana;
- As fendas existentes no coroamento devem ser mapeadas numa planta da barragem devendo-se, para cada uma, medir o comprimento e a abertura;
- As fendas que entretanto surgirem devem ser acrescentadas a esse mapeamento, com a data em que foram detectadas, seguindo-se desde aí o mesmo procedimento que para as fendas já existentes;
- Devem ser medidas as inclinações em diversos pontos da guarda de montante, com a mesma frequência dos restantes equipamentos;
- Na caleira da ME onde afluem diversas ressurgências devem ser instalados dispositivos que permitam a medição dos caudais escoados;
- Na junção do enrocamento de protecção de montante com a parede do evacuador de cheias deve ser desenhada uma linha que servirá de referência a registos fotográficos que permitirão acompanhar os deslocamentos relativos entre o enrocamento e aquela estrutura.

Com os melhores cumprimentos,

João Marcelino
Investigador Auxiliar



MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO, SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Geotecnia

Av. do Brasil, 101

PT-1799 LISBOA CODEX, PORTUGAL

Telefones: +351 21 844 3338; Fax: +351 21 844 3021

<http://www.lnec.pt>

FAX

PARA/TO

Nome/Name DRABL / A/C EXMO SR. ENG. ALCINDO CARDOSO **N.º** _____
Entidade/Organization DRABL **Data/Date** 18-02-2002
Morada/Address COIMBRA **Páginas/No. of pages** 1+
País/Country PORTUGAL **Proc.** 053/001/14276
N.º de Fax/Fax No. 239 833 679

DE/FROM JOÃO MARCELINO

Assunto/Subject: Visita excepcional à Barragem do Lapão em 2002/02/16

Em face dos resultados da inspeção visual realizada em 2002/02/16 e de posteriores contactos da DRABL com o LNEC relativamente à barragem do Lapão considera-se ser necessário proceder à abertura imediata e total da descarga de fundo desta barragem.

A par desta medida, e reforçando o fax enviado hoje de manhã, será necessário proceder à leitura diária de todos os equipamentos de observação instalados na barragem.

Com os melhores cumprimentos,

João Marcelino
Investigador Auxiliar



MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO, SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Geotecnia

Av. do Brasil, 101

PT-1799 LISBOA CODEX, PORTUGAL

Telefones: +351 21 844 3338; Fax: +351 21 844 3021

<http://www.lnec.pt>

FAX

PARA/TO

Nome/Name ENG. BARROS GOMES	N.º
Entidade/Organization INAG	Data/Date 18-02-2002
Morada/Address LISBOA	Páginas/No. of pages 1+
País/Country PORTUGAL	Proc. 053/001/14276
N.º de Fax/Fax No. 21 843 01 51	

DE/FROM JOÃO MARCELINO

Assunto/Subject: Cópia de Fax enviado para a DRABL em 2002-02-18 relativo à Barragem do Lapão

Junto envio cópia do fax enviado hoje para a DRABL.

Com os melhores cumprimentos,

João Marcelino
Investigador Auxiliar



MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Geotecnia

Av. do Brasil, 101

PT-1700 066 LISBOA, PORTUGAL

Telefones: +351 21 844 3335; Fax: +351 21 844 3021

<http://www.lnec.pt>

FAX

4

PARA/TO

Nome/Name ENGENHEIRO BARROS GOMES N.º _____
Entidade/Organization INAG Data/Date 02.02.18
Morada/Address _____ Páginas/No. of pages 1+
País/Country _____ Proc. 53/1/14276
N.º de Fax/Fax No. 21 843 01 51
DE/FROM JOÃO MARCELINO

Assunto/Subject: Condições de segurança da barragem do Lapão

Como é do seu conhecimento, foi, pelo Engenheiro Alcindo Cardoso, comunicada, na passada sexta-feira, a ocorrência de deslocamentos significativos nas marcas colocadas a montante do coroamento, com particular incidência nas localizadas na margem esquerda. Na mesma data foi ainda referida a abertura de algumas fissuras no pavimento do coroamento.

Na sequência desta comunicação deslocaram-se, no passado sábado, à barragem três técnicos do LNEC para apreciar as mencionadas ocorrências. Durante a inspeção foram ainda realizadas leituras dos piezómetros, observados os caudais afluentes à encosta da margem esquerda e ao fundo do vale na zona do dreno do pé de jusante e consultados elementos do projecto e construção.

Atendendo a que apenas se torna possível estimar o caudal afluente às referidas zonas e que a água saía límpida, embora numa quantidade apreciável, pôs-se então a hipótese de se tratar de um fenómeno de colapso por molhagem dos materiais de montante sujeitos a tensão, associado ao facto de os aterros terem presumivelmente sido compactados do lado seco.

Em resultado de uma reflexão posterior e dada a aparentemente rápida evolução dos efeitos observados, designadamente no que se refere à abertura das fissuras no pavimento e a perda de

Se não recebeu todas as páginas, por favor contacte o nosso operador de fax – Telefone (01) 848 21 31, ext. 2321.
If you have not received all pages, please call our fax operator - Telephone no. (+351 1) 848 21 31, ext. 2321.

pressão verificada num dos piezómetros da fundação, admitiu-se a hipótese de estar instalado o início de um fenómeno de erosão interna, potenciado pela inexistência de cortina de impermeabilização na margem esquerda e pela natureza e características da fundação da obra, de consequências muito mais gravosas para a segurança da obra do que o anteriormente referido.

Face a esta última hipótese e atendendo a que se está na fase mais crítica da vida da obra, afigurou-se urgente, para prevenir eventuais danos de monta, promover um abaixamento do nível da albufeira, mediante a abertura total da descarga de fundo. Para além do acautelar das questões relativas à segurança, o esvaziamento da albufeira permitirá desencadear um conjunto de medidas de diagnóstico capazes de determinar as causas do comportamento observado.

Com os melhores cumprimentos,

João Marcelino
Investigador Auxiliar

*Se não recebeu todas as páginas, por favor contacte o nosso operador de fax –Telefone (01) 848 21 31, ext. 2321.
If you have not received all pages, please call our fax operator - Telephone no. (+351 1) 848 21 31, ext. 2321.*

(k)

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Av. do Brasil 101, 1700-066 LISBOA CODEX
Tel. (+351.21) 844 30 00 Telefax: (+351.21) 844 30 21



Para/To Ex.mo Sr. Eng. Alcindo Cardoso

DRA...

Cidade/País Coimbra/Portugal
City/Country

Fax 239 833 679

De/Sent by João Marcelino

Nº

Proc. 53/1/14276

Data 02.03.05

Paginas/Pages 1 + 1

Visto:

A evolução verificada nos resultados da observação da barragem, que nos foram hoje comunicados, designadamente os que se referem aos valores dos assentamentos das marcas superficiais (cerca de 12 mm desde a campanha de medição de Sábado passado e a de hoje), à progressão da abertura das fendas longitudinais, ao início da formação de uma escarpa entre os lábios da fenda correspondendo a um maior assentamento do seu lado de montante e à verificação de alguma dificuldade de introdução do sensor de níveis hidráulicos no piezómetro PH2 a cerca de 15 m de profundidade (eventualmente indiciadora da existência de uma superfície de deslizamento que intersecta o tubo piezométrico a essa profundidade) impõe a adopção de medidas visando o rápido diagnóstico da situação.

Os cenários passíveis de explicar a evolução dos fenómenos que tem sido observada são individual ou conjuntamente, salvo outros que os ensaios e medições complementares a propor venham eventualmente a sugerir, os seguintes:

- colapso por molhagem dos materiais submetidos a tensão que, ocorrendo certamente, não parecem explicar na totalidade, os fenómenos observados;
- erosão interna na zona de contacto aterro-fundação - atendendo às características do maciço e ao facto de não ter sido executado o tratamento da fundação na zona do fundo do vale e na margem esquerda; este cenário, a verificar-se, constituiria um risco inaceitável para a barragem quando em curso de primeiro enchimento, razão pela qual se recomendou o abaixamento do nível da albufeira;
- escorregamentos, para montante, de zonas significativas do corpo do aterro - atendendo às características do material quando molhado, o que se verifica na parte confinante com a albufeira e com a fundação; este cenário, a verificar-se, poderia traduzir-se por um escorregamento de uma massa significativa do maciço de montante do corpo da barragem para o interior da albufeira, não colocando, no entanto, em risco população e bens a jusante atendendo a que se promoveu o esvaziamento parcial.

Face às evidências observadas e à sua evolução afigura-se recomendável proceder, no mais curto prazo possível (no que se refere à execução de furos de sondagem para ensaios e instalação de equipamentos de observação, no prazo mínimo compatível

com a mobilização de um empreiteiro de sondagens), à adopção das seguintes medidas:

- remoção manual do enrocamento de protecção ao longo de uma zona com cerca de 1 m de largura envolvente do perfil transversal P49, visando a detecção de eventuais fendas longitudinais concordantes com as fendas observadas no coroamento;

- execução de três furos de sondagem cujas bocas deverão ser posicionadas a meia distância entre as marcas superficiais MS1 e MS2 (F1), MS2 e MS3 (F2) e MS3 e MS4 (F3) e, em princípio, todas a cerca de 20 cm acima do NPA; no decurso da furação serão efectuados ensaios tipo SPT com recolha de amostras; na zona de interface aterro-fundação deverão ser efectuados ensaios de admissão de água para avaliar a forma como se processa a percolação nessa zona (em termos de caudais e de pressões) estes furos deverão atravessar a fundação em cerca de 3 m; concluído o furo e os ensaios serão instalados três inclinómetros, ao longo dos quais serão medidos deslocamentos horizontais internos visando a detecção de zonas de deslocamentos diferenciais;

- instalação de um pilar de estacionamento na margem esquerda em posição próxima da intersecção da linha que une as marcas superficiais colocadas a montante, no sentido de medir deslocamentos dessas marcas na direcção transversal e a variação da distância entre elas;

- instalação de marcas superficiais na zona imediatamente a jusante do coroamento, nos mesmos perfis transversais das marcas de montante para medição das mesmas componentes (assentamentos, deslocamentos horizontais na direcção transversal e variação das distâncias).

No âmbito das medidas agora sugeridas, o LNEC poderá encarregar-se, para além da análise e interpretação dos resultados, do acompanhamento dos trabalhos e da execução de algumas actividades, designadamente as que se referem à instalação e leitura dos inclinómetros e à realização dos ensaios de admissão de água. O plano de trabalhos da intervenção do LNEC e a respectiva estimativa de custos serão enviadas à DRABL logo que recebida a correspondente solicitação.

Tendo em atenção a possibilidade de estar em desenvolvimento um processo de instabilização na barragem deve ser vedado o trânsito e estacionamento de veículos e máquinas no coroamento da barragem na zona afectada pela fissuração.

Com os melhores cumprimentos

João Marcelino



MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO SOCIAL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Geotecnia

Av. do Brasil, 101

PT-1700 066 LISBOA, PORTUGAL

Telefones: +351 21 844 3335; Fax: +351 21 844 3021

<http://www.lnec.pt>



PARA/TO

Nome/Name ENGENHEIRO BARROS GOMES

N.º _____

Entidade/Organization INAG

Data/Date 02.04.05

Morada/Address _____

Páginas/No. of pages 1+

País/Country _____

Proc. 53/1/14276

N.º de Fax/Fax No. 21 843 01 51

DE/FROM JOÃO MARCELINO

Assunto/Subject: Barragem do Lapão

Junto envio cópia do fax enviado hoje para a DRABL relativamente ao assunto em epígrafe.

Com os melhores cumprimentos,

João Marcelino
Investigador Auxiliar

Se não recebeu todas as páginas, por favor contacte o nosso operador de fax – Telefone (01) 848 21 31, ext. 2321.
If you have not received all pages, please call our fax operator - Telephone no. (+351 1) 848 21 31, ext. 2321.

ANEXO III

Acta da visita excepcional de Inspeção de 2002/02/26

Acta da Visita de Inspeção Realizada à Barragem do Lapão

Em cumprimento do estipulado no artigo 36 do Regulamento de Segurança de Barragens, realizou-se uma visita de inspeção no dia 26 de Fevereiro de 2002, com a presença do Eng. João Manuel Pinto Barros Gomes do INAG tendo a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) sido assegurada pelo Eng. João Manuel Marcelino Mateus da Silva. O dono de obra, Direcção Regional de Abicultura da Beira Litoral (DRABL) fez-se representar pelo Eng. Alcindo José de Oliveira Monteiro Cardoso que é também o técnico responsável pelas fases de enchimento e exploração da albufeira da barragem do Lapão.

Esta inspeção realizou-se na sequência de diversas anomalias verificadas nesta barragem durante o primeiro enchimento até ao patamar situado à cota 212,40 e que motivaram o esvaziamento parcial da albufeira da cota 211,50 até à cota 200,00. O esvaziamento continua a processar-se encontrando-se, nesta data, o nível à cota 202,04. O esvaziamento tem-se vindo a processar-se à razão aproximada de 5 cm / h, de acordo com as orientações do INAG e de parecer do LNEC.

O resultado da inspeção efectuada consta da ficha de inspeção visual que faz parte integrante desta acta.

Nesta inspeção notou-se que o medidor de caudais não tem condições de funcionamento, em face do arranjo actual da zona em que se insere, considerando-se necessário repensá-lo por forma a que seja possível medir os caudais captados pelo dreno.

Constatou-se a operacionalidade dos órgãos de segurança e exploração da albufeira.

No que se refere ao sistema de observação verificou-se que duas células apresentaram leituras anómalas (CTT 1378 do grupo 1 e PE 1384 do grupo 3).

Constatou-se, também, que ao nível dos piezómetros hidráulicos as leituras do PH 4, de fundação, antes do esvaziamento apresentava 3,70 m de altura de água (25/1/2002) com o NAA a 205,59 m enquanto que com NAA a 211,37 apresentava 3,55 m de altura de água (16/2/2002).

Com objectivo de avaliar a eventual evolução da obra, no que se refere as taludes de jusante e de montante, foi julgado conveniente definir perfis transversais e efectuar levantamentos topográficos periódicos.

O LNEC está a elaborar um documento mais pormenorizado sobre o diagnóstico do sucedido onde serão dadas orientações sobre as medidas a adoptar futuramente.

O INAG referiu que considera fundamental a continuação do acompanhamento do LNEC, pelo que aconselha a DRABL a envolver aquela entidade no controlo de segurança da barragem até à resolução das anomalias verificadas.

Para melhorar a visualização do aspecto actual da obra apresentam-se algumas fotografias.

Barragem do Lapão em 26 de Fevereiro de 2002

BARRAGEM DO LAPÃO
FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

<i>Inspeção efectuada por</i>		Eng. Barros Gomes/Eng. João Marcelino/ Eng. Alcindo Cardoso
Data		2002-02-26
Nível da albufeira		202,04
Estado do tempo		Bom, céu nublado
Estado do tempo na semana anterior		Bom, céu limpo
DESCARREGADOR DE CHEIAS		
<i>Muro de ala esquerdo</i>	Apresenta um desalinhamento, provavelmente devido a rotação da base da fundação.	
<i>Muro de ala direito</i>	Nada a assinalar	
CORPO DA BARRAGEM		
<i>Paramento de montante</i>		
Protecção	Tipo	Enrocamento de granito
	Estado geral	Razoável
	Perturbações localizadas (deslocamentos erosões, fendas, assentamentos)	Verificam-se várias depressões e irregularidades
<i>Coroamento</i>		
Pavimento	Estado geral	Medíocre
	Nivelamento Visual	Desnivelado, notando-se evolução dos assentamentos desde a data da inspeção prévia ao primeiro enchimento
	Descrição de perturbações localizadas (fissuração ou depressões)	Existem diversas fissuras com expressão significativa, tendo havido aumento do seu comprimento e abertura. Foram mapeadas e estão sujeitas a medições semanais.
	Sistema de escoamento para montante, das águas pluviais	Alguma deterioração em resultado dos movimentos registados no coroamento. Havendo zonas onde a água não escoa.
Guarda de montante	Estado geral	Medíocre
	Descrição de perturbações localizadas	Há fortes evidências de deslocamentos importantes
	Alinhamento	Registam-se desalinhamentos, principalmente, junto à MS4
	Nivelamento	Grandes desnivelamentos com alterações visíveis especialmente entre as MS1 e a MS4
Lancil de montante	Estado geral	Medíocre
	Descrição de perturbações localizadas	Verificam-se fracturas e desalinhamentos em diversas zonas
	Alinhamento	Ver guarda de montante
	Nivelamento	Ver guarda de montante
Guarda de segurança de jusante	Estado geral	Bom

BARRAGEM DO LAPÃO
FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL
(CONTINUAÇÃO)

	Descrição de perturbações localizadas	Não se verificam
	Alinhamento	
	Nivelamento	
Paramento de jusante		
Protecção	Tipo	Revestimento em terra vegetal
	Estado geral	Razoável, tendo em atenção que o revestimento vegetal ainda está em crescimento. Existência de várias zonas húmidas não associadas ao NAA, com excepção da localizada na banquetta do dreno de pé jusante que não se tem essa certeza. Indícios de escorregamento de terra vegetal (próximo da caixa de instrumentação).
	Ravinamentos	Existem diversas zonas ravinadas
	Buracos escavados por animais	Não
	Vegetação de excessivo porte	Não
Valeta da margem esquerda	Estado geral	Medíocre, diversos elementos não apresentam uma boa ligação não captando a totalidade do caudal da encosta
Valeta da margem direita	Estado geral	Razoável
Estrada/Banqueta	Estado geral	Razoável, havendo zonas com algumas fissuras em especial na 1ª curva junto à ME e no primeiro troço (próximo da caixa de instrumentação).
Dreno do pé de jusante		
Banqueta	Estado geral	Mau
	Descrição de perturbações localizadas	Encontra-se parcialmente assoreada de materiais provenientes do talude de jusante e da zona terminal da estrada de acesso à câmara de válvulas
Percolação		Verificou-se, antes do início do esvaziamento parcial da albufeira, passagem de algum caudal de água limpa, não tendo sido possível medi-la devido à inoperacionalidade do medidor de caudais.
Encontros		
Encontro direito	Ressurgências/esco rrências	Não detectadas.
	Deslizamentos	Zonas com potencial queda de blocos em especial no terço inferior
	Fendas	Não visíveis

BARRAGEM DO LAPÃO
FICHA DE INSPEÇÃO VISUAL
(CONTINUAÇÃO)

Encontro esquerdo	Ressurgências/esco rrências	Existe uma importante ressurgência junto à 1ª curva da ME.
	Deslizamentos	Existe potencial queda de blocos de pequena dimensão
	Fendas	Não visíveis
ZONA A JUSANTE DA BARRAGEM		
Ressurgências	Não visíveis em face da presença da descarga em curso	
Depressões		
Vegetação	Existe vegetação natural na zona	
SISTEMA DE OBSERVAÇÃO		
<i>Instrumentos e dispositivos de observação</i>		
Piezómetros hidráulicos	Operacional	
Marcas superficiais	Operacional	
Células de tensão total	Parcialmente operacional	
Células de pressão intersticial	Parcialmente operacional	
Medidores de caudais	Inoperacional	
Medição do nível da albufeira	Operacional	
QUADROS EM SERVIÇO NA OBRA		
Técnico responsável pelo enchimento e exploração	Eng. Alcindo Cardoso	