

Utilização em obras geotécnicas de câmaras de televisão para prospecção em furos de sondagem

The use of borehole television camera for geotechnical structures survey

L.R. Sousa, N.S. Leitão e D. Vicente

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

Sumário:

A utilização de câmaras de televisão para inspecção de furos de sondagem tem vindo a revelar-se de grande importância no estudo de obras geotécnicas, nomeadamente na caracterização da compartimentação dos maciços rochosos, particularmente no que se refere à sua orientação, espaçamento e abertura e na detecção de fenómenos de alteração.

Nesta comunicação, é feita uma descrição do sistema de inspecção de furos de sondagem com câmara TV e do equipamento utilizado pelo LNEC, apresentando-se, ainda, uma metodologia numérica para determinação da orientação de descontinuidades em maciços rochosos.

Finalmente, referem-se, sinteticamente, estudos efectuados ou em curso para as encostas do empreendimento hidroeléctrico do Alto Lindoso, para análise do comportamento do betão da barragem de Pracana durante o seu reenchimento, após obras de reabilitação, e para inspecção das encostas a jusante da barragem de Cahora-Bassa, em Moçambique.

Abstract:

The use of TV camera in borehole inspection has revealed itself as being of great importance in the study of geotechnical structures, especially in the characterization of rock mass discontinuities in terms of orientation, spacing and aperture, and in the detection of weathering phenomena.

In this paper, a description is made of the TV camera borehole inspection system and of the equipment used at LNEC. A numerical approach for the definition of the discontinuity orientations in rock masses is also presented.

Finally, studies performed or in progress on the slopes of the Alto Lindoso hydroelectric scheme, on the Pracana dam during reinfilling after its rehabilitation, and on the downstream slopes of the Cahora-Bassa dam, in Mozambique, are shortly presented.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de câmaras de televisão para inspecção de furos de sondagem permite obter informação geotécnica relevante a partir da aquisição contínua de imagens das paredes do furo, possibilitando uma análise da compartimentação dos maciços rochosos, mormente as superfícies de descontinuidade e de baixa resistência, em particular no que

respeita à sua orientação, espaçamento, abertura e material de enchimento. Estas inspecções permitem o registo de imagens vídeo em gravador ou directamente em computador.

As observações com estas câmaras permitem, ainda, detectar, ao longo da vida das obras, fenómenos de alteração nos maciços rochosos e no betão, e sua eventual progressão, bem como o aparecimento de novas fracturas.

Na inspecção de maciços rochosos, com intenção de observar directamente a sua estrutura por intermédio de furos de sondagem, têm sido desenvolvidas outras técnicas com base em equipamentos que permitem obter imagens do interior dos furos com uma rotação completa e em tempo real (Murai et al., 1989). No entanto, apesar de vantagens importantes que estas técnicas permitem, isto é, qualidade de imagem e maior rapidez na sua obtenção, apresentam algumas limitações associadas à necessidade de centrar o 'scanner' no furo, que deverá ser vertical, e inconvenientes associados ao elevado custo dos equipamentos. As câmaras TV permitem, porém, maior versatilidade no seu uso do que qualquer outro equipamento óptico, e, conseqüentemente, uma maior gama de aplicações. A diminuição no tempo das operações de inspecção poderá ser conseguida, desde que se desenvolvam técnicas adequadas de orientação das imagens radiais.

Nas secções seguintes, apresenta-se a metodologia de inspecção de furos de sondagem estabelecida, bem como a sequência numérica seguida para determinação da orientação das descontinuidades, o equipamento com câmara TV utilizado pelo LNEC e referem-se, sinteticamente, alguns estudos em curso ou efectuados, nomeadamente os referentes à inspecção do maciço da encosta da margem esquerda do empreendimento hidroeléctrico do Alto Lindoso, à análise do comportamento do betão do corpo da barragem de Pracana durante o seu reenchimento, após obras de reabilitação do betão e do maciço rochoso de fundação, e à inspecção das encostas imediatamente a jusante da barragem de Cahora-Bassa.

2. SISTEMA DE INSPECÇÃO DE FUROS DE SONDAGEM

2.1. Funções do sistema de inspecção

O sistema de inspecção de furos de sondagem, designado de BIS (Borehole Inspection System), funciona, em princípio, para diâmetros entre cerca de 70 e 100mm, podendo ser facilmente aplicável em observações de obras geotécnicas no campo, mormente de obras subterrâneas e de fundações de barragens. Na Fig. 1, ilustra-se uma operação típica de inspecção de um furo, com o equipamento à superfície, que consiste num tambor de enrolamento do cabo com indicador de distâncias, na unidade de controlo e de visualização de imagens, bem como num computador PC que permite a digitalização e compressão das imagens vídeo e um gravador portátil para arquivo e 'backup' da informação obtida.

A câmara é estanque e pode operar até grandes profundidades, entre 100 e 150m para observações frontais, e funcionar em ambientes térmicos com temperaturas normais, possibilitando a obtenção de imagens com visualização frontal e radial. Estas últimas imagens são obtidas a partir de um espelho instalado em frente da câmara e a

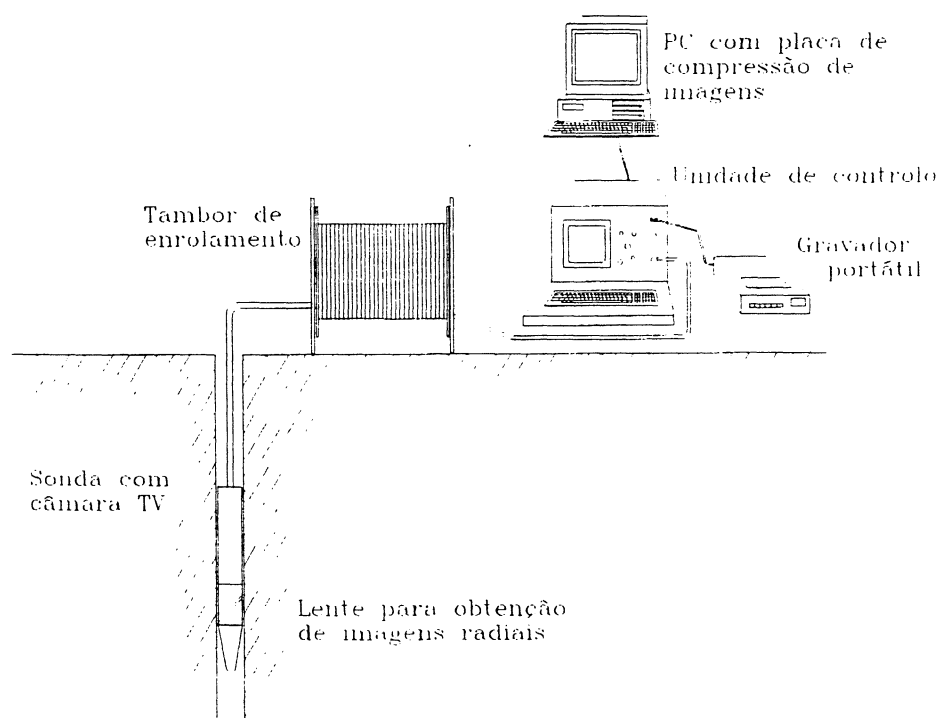


Fig. 1. Esquema de funcionamento de um sistema de câmara TV

45° com o seu eixo, podendo ser obtidas por rotação do conjunto de forma manual ou por intermédio de um controlador do movimento do espelho localizado à superfície.

O sistema BIS para inspecção de maciços rochosos consiste, basicamente, nas seguintes operações:

- i) A sonda com a câmara é instalada no furo, previamente limpo e retirando a água com uma bomba, caso seja possível, procedendo-se, de seguida, à sua inspecção com obtenção de imagens frontais de modo a detectar eventuais acidentes, fenómenos de alteração e obstruções do furo. O registo das imagens é feito em gravador de vídeo e em computador, neste caso quando as condições de acesso o permitam.
- ii) Procede-se à colocação de um dispositivo com espelho de modo a permitir a obtenção de imagens radiais e, em seguida, à inspecção do furo ao longo de uma direcção radial previamente definida, com visualização das paredes do furo para uma rotação de 360°, quando detectadas superfícies de descontinuidade ou zonas perturbadas do maciço. O traço de uma descontinuidade tem a forma de uma elipse (Fig. 2.a), aparecendo durante a operação de prospecção à medida que a câmara roda com a forma de uma curva sinusoidal, com um ponto máximo e mínimo, conforme se ilustra na Fig. 2.b (Boal, 1989).
- iii) Efectua-se, por último, uma análise em computador das imagens obtidas nas operações i) e ii), após a sua descompressão ou digitalização, de forma a obter a atitude das superfícies de descontinuidade e a sua abertura, a que se segue um estudo estatístico das superfícies de descontinuidade para determinação das famílias que compartimentam o maciço.

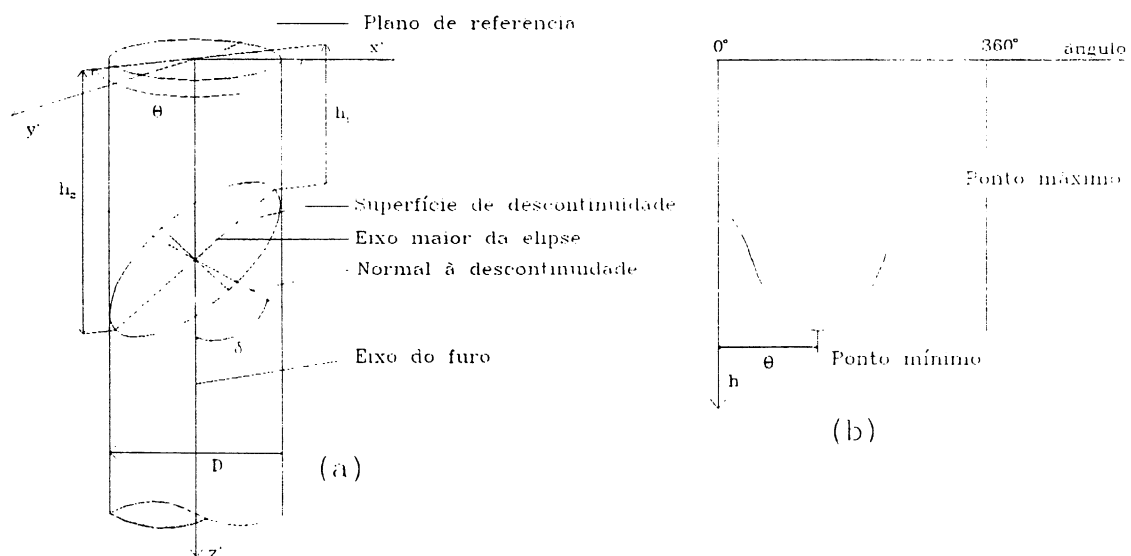


Fig. 2. Intersecção do furo com uma superfície de descontinuidade.

O sistema BIS pode, também, ser aplicado à detecção de fenómenos de deterioração e de geração de fracturas noutros materiais, como o betão, bem como na inspecção de cavidades acessíveis por furos de sondagem.

Pretende-se desenvolver técnicas mais sofisticadas para processamento das imagens, recorrendo a algoritmos standard, nomeadamente para isolar as zonas intersectadas por descontinuidades de modo a melhor quantificar a sua abertura e atitude.

2.2. Determinação da orientação das descontinuidades

Foi desenvolvido um procedimento numérico de modo a ser possível determinar a atitude das descontinuidades a partir das imagens radiais obtidas.

Assumiu-se que a atitude de uma descontinuidade é definida através de dois ângulos, α - direcção da linha de maior declive - e β - inclinação, de acordo com a definição estabelecida por Priest (1985).

A atitude de um plano de descontinuidade pode ser obtida a partir de parâmetros relativamente simples, medidos durante a operação de prospecção. Assim, o ângulo entre a normal à superfície de descontinuidade e o eixo do furo fica definido pela relação:

$$\delta = \arctan(H/D)$$

em que D é o diâmetro do furo e H ($h_2 - h_1$) é a diferença de nível entre os pontos máximo e mínimo da sinusoide.

Se $H=0$, resulta $\delta=0$, o que significa que o eixo do furo é paralelo à normal à superfície de descontinuidade. Neste caso, a orientação da superfície de descontinuidade está univocamente definida. No entanto, em geral, o ângulo δ é diferente de zero, daí que se necessite de mais dados para definir a atitude da descontinuidade. Esta informação adicional pode ser obtida a partir de uma marca de referência no perímetro

do furo, desde a qual é medida a distância angular θ a que se encontra o eixo maior da elipse, isto é, o ponto mínimo da senoide. Dado que o eixo maior da elipse, a normal à superfície de descontinuidade e o eixo do furo estão contidos num mesmo plano, os ângulos δ e θ medidos permitem definir a posição da normal à superfície de descontinuidade no sistema de referência x', y', z' , em que z' coincide com o eixo do furo, e x' passa pela marca de referência. Finalmente, e mediante uma simples transformação de coordenadas, é possível calcular a atitude α/β da superfície de descontinuidade no sistema global de referência, com respeito ao qual se determina a atitude do eixo do furo.

3. EQUIPAMENTO UTILIZADO PELO LNEC

A parte fundamental do equipamento utilizado pelo LNEC para inspecção de furos de sondagem é de marca RICO, e compreende os seguintes componentes (Figs. 1 e 3):

- i) Unidade de controlo. A unidade está inserida numa caixa de alumínio. Contém um monitor, fichas de alimentação e um controlador electrónico, que através de cabo coaxial, permite actuar sobre o sistema de focagem e iluminação da câmara TV. Existe, ainda, um teclado que permite inserir texto nas imagens recolhidas.
- ii) Câmara de televisão. A câmara, ligada à parte terminal de um cabo coaxial, compreende um sistema electrónico para obtenção e processamento de imagens vídeo e um conjunto de lentes especiais, bem como um mecanismo de focagem das imagens. A câmara é à prova de água e está alojada numa peça metálica de forma cilíndrica com 50mm de diâmetro. A ligação da câmara TV à unidade de controlo é efectuada por cabo coaxial de 200m com alma em Kevlar, enrolado num tambor, que dispõe de um dispositivo mecânico de contagem de comprimento de cabo introduzido no furo de sondagem.
- iii) Conjuntos de lentes para obtenção de imagens axiais e dispositivo com espelho para obtenção de imagens radiais. O equipamento dispõe de dois conjuntos para imagens axiais, sendo um composto por lente com iluminação de 12W e funcionando em furos com diâmetros até 15cm, e o outro, com iluminação de 40W é utilizado em furos com diâmetro compreendido entre 15 e 50cm. Ambos os sistemas operam debaixo de água suportando pressões até 20 bar. Dispõe, ainda, de um dispositivo com espelho a 45° , fixado à câmara TV, que permite a obtenção de imagens radiais do furo de sondagem, com grande ampliação e precisão, e opera debaixo de água até 5bar de pressão.
- iv) Controlador remoto. Tem, ainda, um controlador, conectado à unidade de controlo, que dispõe de sistema de focagem da câmara e iluminação das lentes, permitindo a rotação automática do espelho para obtenção de imagens radiais.

Para além das componentes referidas, o equipamento utilizado dispõe, ainda, de outros elementos desenvolvidos no LNEC ou adquiridos para o efeito, que compreendem, no essencial, o seguinte: i) gravador portátil vídeo; ii) máquina fotográfica, do tipo polaroide, que possibilita a obtenção de fotografias de imagens do monitor da unidade de controlo; iii) acessórios de protecção e guiamento da câmara, mormente para furos sub-horizontais; iv) hastes metálicas com comprimentos de 0,5 e 2,0m para

guiamento e orientação da câmara no furo de sondagem; v) gerador portátil para alimentação do sistema, em caso de não existência de energia eléctrica; e vi) dispositivo de orientação localizado à boca do furo que permite a obtenção de imagens radiais orientadas.

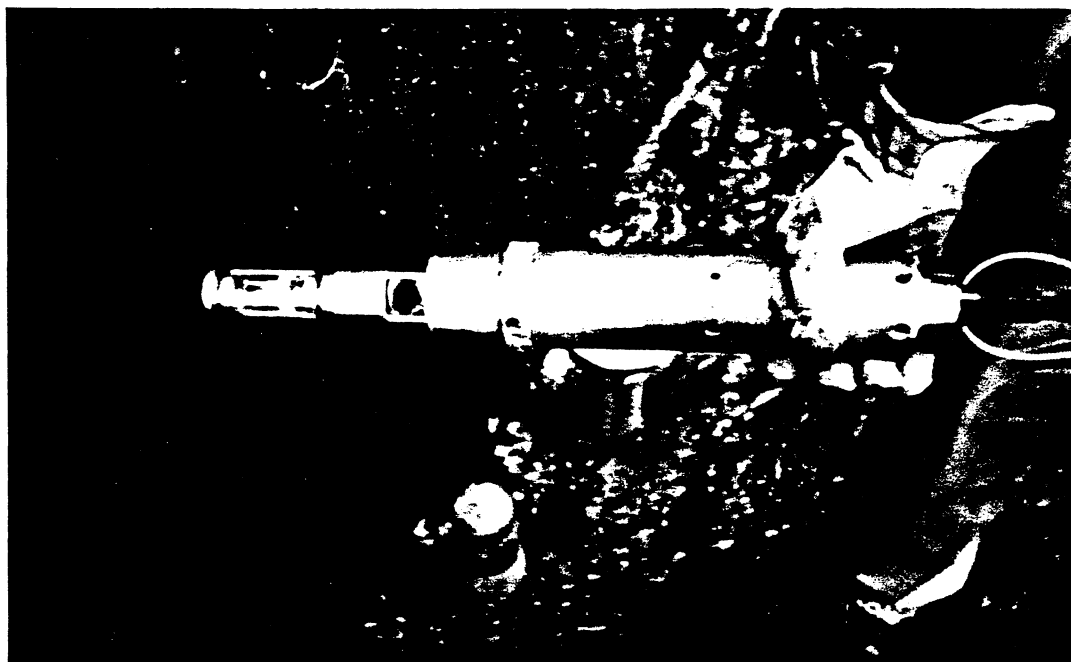


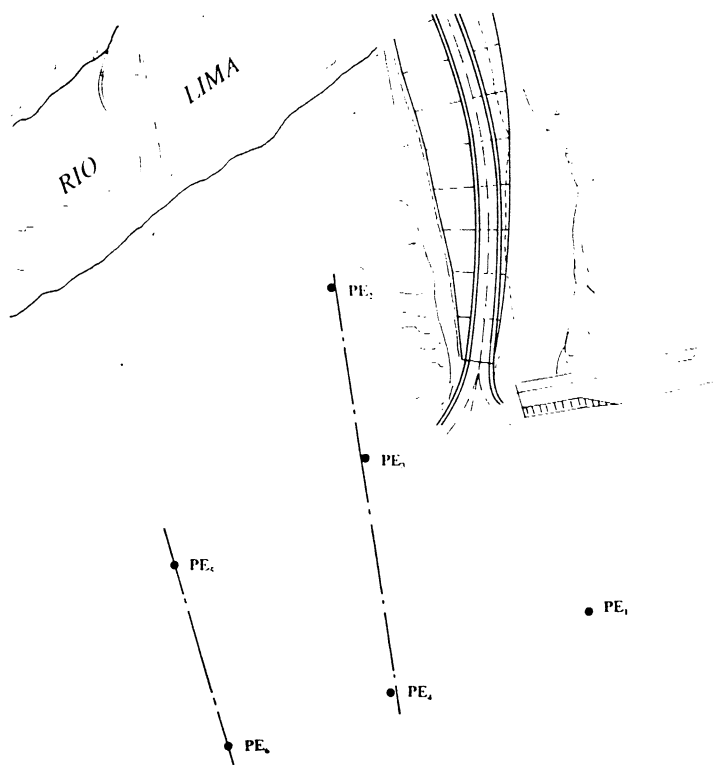
Fig. 3. Câmara TV utilizada pelo LNEC

As imagens vídeo obtidas por este sistema podem ser digitalizadas por intermédio de uma placa de captura e compressão de vídeo, se necessário em tempo real, instalada num computador IBM PC com monitor VGA e disco rígido de grande capacidade. No caso de captura de imagens em tempo real, o gravador portátil funciona como auxiliar de gravação.

4. APLICAÇÕES

O sistema de inspecção por câmara TV tem sido aplicado em várias obras geotécnicas, nomeadamente nos empreendimentos hidroeléctricos do Alto Lindoso, Pracana e de Cahora-Bassa e num túnel da barragem de Campilhas.

No caso do empreendimento hidroeléctrico do Alto Lindoso, foram planeadas observações dos níveis piezométricos em vários furos localizados nas encostas imediatamente a jusante de ambas as margens (Sousa et al., 1994). Os furos PE₂ e PE₄ foram destinados para inspecção regular do maciço da margem esquerda com câmara TV, tendo em vista o controlo da segurança da barragem e das obras subterrâneas do circuito hidráulico (Fig. 4). A Fig. 5 ilustra uma imagem radial de um dos furos intersectado por uma diaclase.



A barragem de Pracana, construída no rio Ocreza, afluente do Tejo, foi recentemente submetida a importantes obras de reabilitação, que envolveram o tratamento dos betões do corpo da barragem, a impermeabilização do paramento de montante, a realização de vigas de contraventamento entre contrafortes e o tratamento da fundação (EDP, 1991). O tratamento do betão envolveu, para as grandes fissuras, a injeção com calda de cimento e, para pequenas fissuras, a injeção com resinas com adequadas características mecânicas e de injectabilidade.

Fig. 4. Barragem do Alto Lindoso. Localização de furos piezométricos na encosta da margem esquerda.

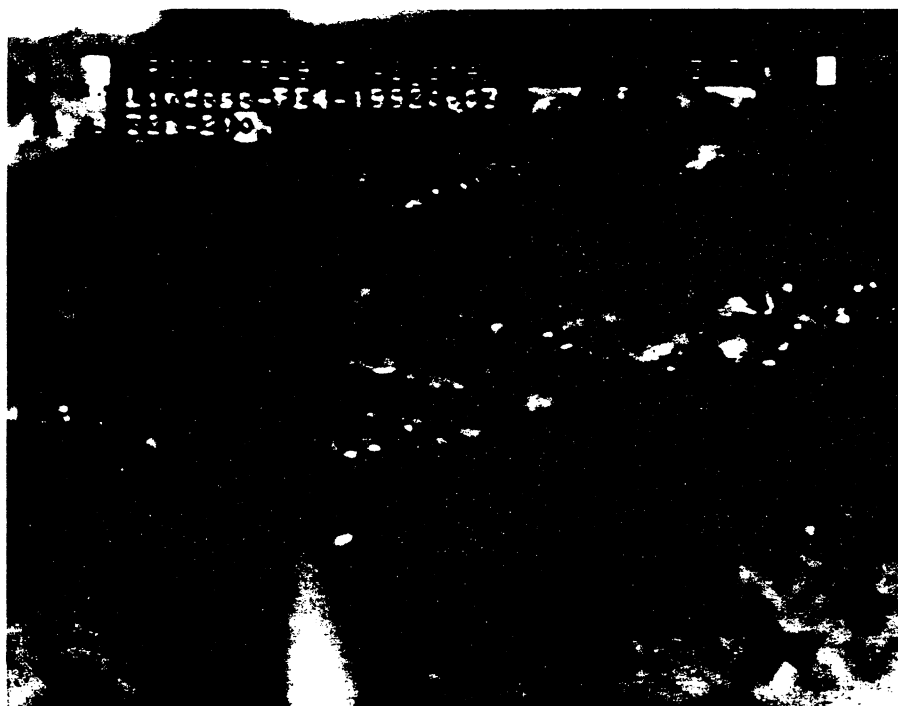


Fig. 5. Imagem de uma diacrise num furo da barragem do Alto Lindoso.

de num padrão de furação sistematizado. Com o projecto de reparação, foi desenvolvido um novo Plano de Observação, que incluiu a execução de dois furos de sondagem nos contrafortes P_4 e P_9 para posterior inspecção com câmara TV, de modo a permitir detectar eventuais fenómenos de alteração no betão da barragem durante o seu reenchimento e exploração (Fig. 6), (Sousa e Vicente, 1995). Na Fig. 7, ilustra-se uma imagem obtida por inspecção radial do furo do contraforte P_4 .

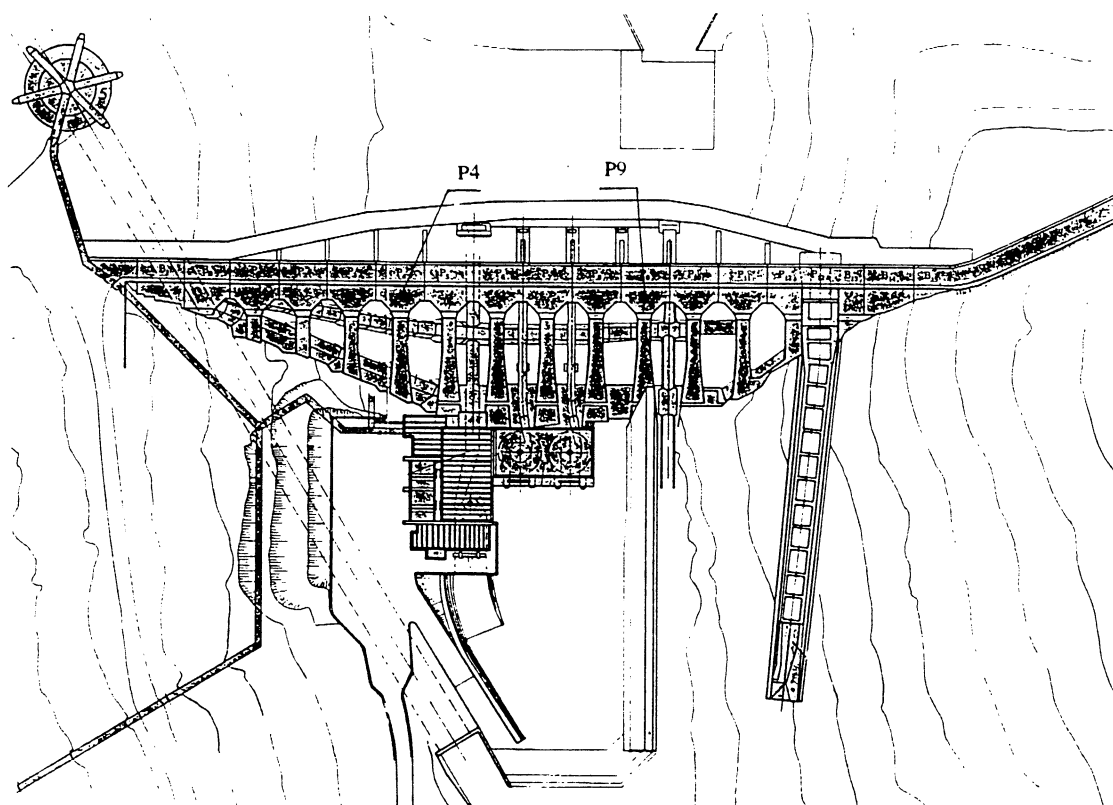


Fig. 6. Barragem de Pracana (EDP, 1991).

No empreendimento hidroeléctrico de Cahora-Bassa, localizado em Moçambique no rio Zambeze, foi recentemente estabelecido um plano complementar de observação de modo a permitir um controlo mais adequado da segurança do empreendimento, para a barragem, as estruturas subterrâneas associadas ao complexo da central e as encostas imediatamente a jusante (Sousa et al., 1995). Assim, em cada encosta, foi prevista a instalação de três extensómetros de barras de recolha automática, submersíveis, com ancoragens a duas profundidades e um furo destinado à inspecção periódica do maciço por câmara TV (Fig. 8). Estas inspecções foram recentemente iniciadas em furos da encosta da margem esquerda e num furo de um extensómetro da margem direita, de modo a permitir avaliar, ao longo da vida da obra, a eventual progressão de fenómenos de alteração que se têm registado nestes maciços.

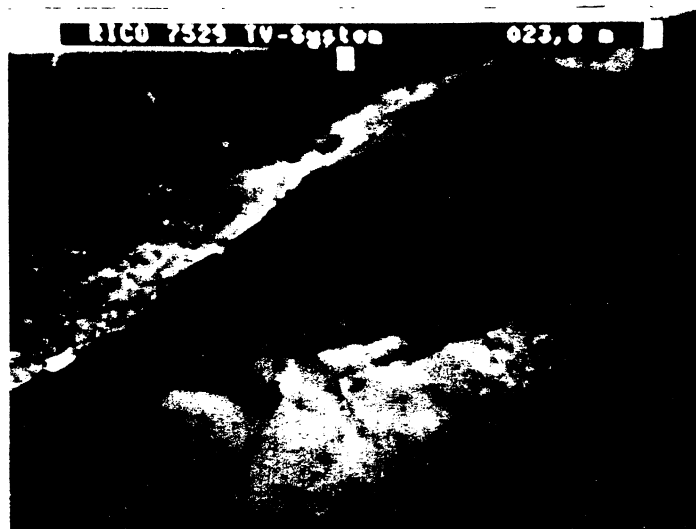


Fig. 7. Imagem do betão obtida na barragem de Pracana.

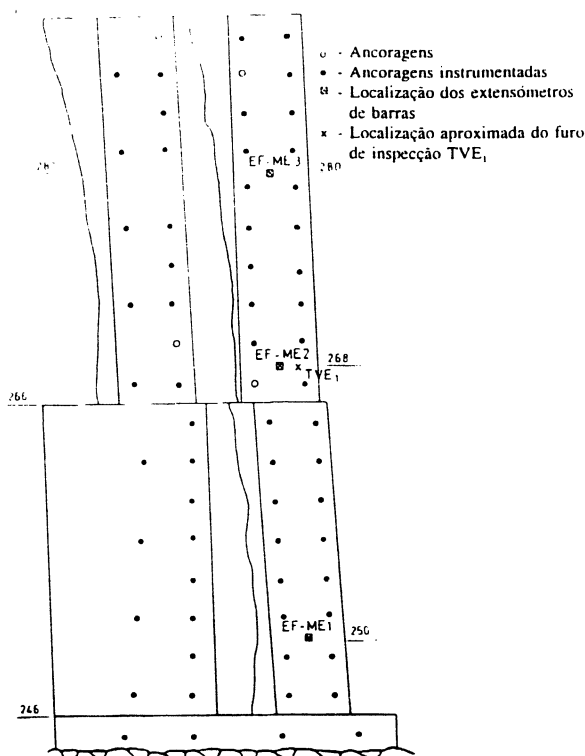


Fig. 8. Encosta da margem esquerda a jusante da barragem de Cahora-Bassa.

5. CONCLUSÃO

Foi desenvolvido no LNEC um sistema de inspecção de furos de sondagem com câmara de televisão para prospecção de maciços rochosos, que permite a obtenção de informação geotécnica respeitante à compartimentação dos maciços e de eventuais fenómenos de alteração que aí ocorram. O sistema permite, ainda, a análise do comportamento do betão em obras hidráulicas, como se tem a vindo a processar na barragem de Pracana, assim como a inspecção de suportes de betão em obras subterrâneas, para estudo de processos de deterioração e de tratamento destes materiais.

O sistema está em fase de desenvolvimento, pretendo-se desenvolver técnicas mais sofisticadas para processamento das imagens vídeo obtidas com a câmara e melhorar a sua eficácia em termos de rendimento das operações no campo, introduzindo aperfeiçoamentos tecnológicos no que respeita à orientação das imagens radiais.

REFERÊNCIAS

Boal, M.A. - Video-câmeras em furos de sondagem. Técnica para modelação tridimensional das descontinuidades dos maciços rochosos. 3º Encontro Nacional de Geotecnia, Porto, 1989.

EDP - Obras de recuperação e remodelação da barragem de Pracana. Electricidade de Portugal, Porto, 1991.

Murai, S.; Tanimoto, C.; Matsumoto, Y.; Nagata, K. - Development of borehole scanner for underground geological survey. 16º Cong. Int. da Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, 1989.

Priest, S.D. - Hemispherical projection methods in Rock Mechanics. Ed. George Allen & Unwin, Londres, 1985.

Sousa, L.R.; Lamas, L.N.; Ramos, J.M. - Observação das obras subterrâneas do empreendimento hidroeléctrico do Alto Lindoso. Análise das observações efectuadas durante a construção nos anos de 1989 e 1990. LNEC, Relatório, Lisboa, 1994.

Sousa, L.R.; Ramos, J.M.; Silva, H.S. - Cahora-Bassa hydroelectric scheme. A new monitoring plan. 8º Congresso da ISRM, Tóquio, 1995.

Sousa, L.R.; Vicente, D. - Inspeção com câmara TV da barragem de Pracana durante o seu reenchimento. LNEC, Relatório (a publicar), Lisboa, 1995.