

ESTUDO DA PERMEABILIDADE DO MACIÇO CALCÁRIO DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DE ATROZELA (CASCAIS)*

Permeability Studies of the Limestone Reservoir of Atrozela Dam (Cascais)

por

RICARDO OLIVEIRA** e A. S. COSTA PEREIRA***

RESUMO – Com a finalidade de aumentar a capacidade de abastecimento de água do trecho final da rede de distribuição, a EPAL, empresa pública encarregada de fornecer água a Lisboa e aos concelhos limítrofes, considerou a possibilidade de criar uma albufeira para armazenamento de água com a construção de uma barragem, com cerca de 20 m de altura na ribeira de Penha Longa, próximo de Cascais.

A albufeira criada pela barragem tem aproximadamente 2 km de comprimento e uma capacidade de armazenamento de $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ e interessa, na sua extensão total, um maciço calcário com intercalações de leitos margosos.

A fim de determinar a viabilidade da obra, foi efectuado um estudo das características de permeabilidade do maciço rochoso, que abrangeu igualmente o projecto das obras necessárias para assegurar a estanqueidade da albufeira.

SYNOPSIS – with a view to increasing the water supply capacity at the terminal section of the distribution lines, EPAL, the public company in charge of the water supply to Lisbon and surrounding districts, considered the possibility of creating a storage reservoir by the construction of a dam, about 20 m high, on the Penha Longa river near Cascais.

The reservoir to be created by this dam is approximately 2 km long, with a storage volume of $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ and is, in its entire extent, situated in a limestone mass with interbedded marl layers.

* Trabalho apresentado no III International Congress of Engineering Geology. Madrid. September 1978.

** Geólogo. Especialista e chefe da Divisão de Prospeção do LNEC. Lisboa.

*** Geólogo. Chefe do Serviço de Geologia e Geotecnia da COBA, Lisboa.

In order to define the feasibility of the undertaking, a study of the permeability characteristics of the rock mass was carried out, this study including the project for the works required to ensure the watertightness of the reservoir.

1 – INTRODUÇÃO

Com a finalidade de aumentar a capacidade de abastecimento de água na parte terminal da conduta de distribuição, a EPAL, empresa pública encarregada da distribuição de água à cidade de Lisboa e concelhos vizinhos, considerou a possibilidade da criação de uma albufeira de armazenamento com cerca de $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $0,5 \text{ km}^2$ de área, à custa da construção de uma barragem com cerca de 20 m de altura na ribeira da Penha Longa, ficando o NPA à cota 109,40.

Os estudos foram iniciados por um reconhecimento geológico de superfície, quer do local da barragem, quer dos terrenos da albufeira, numa extensão de cerca de 2 km, com vista à elaboração de um programa de estudos que esclarecesse as condições geotécnicas do maciço de fundação da barragem e as características de estanqueidade do reservatório e que permitisse definir soluções para garantir a viabilidade da obra.

2 – CONDIÇÕES GEOLÓGICAS GERAIS

As formações que ocorrem no local são constituídas por calcários, por vezes margosos, e margas, datadas do Cretácio Inferior (Valanginiano) (Fig. 1) de atitude sub-vertical. As camadas margosas apresentam leitos com espessura que varia, no local da barragem, de alguns centímetros a um metro. O leito da ribeira encontra-se encaixado num complexo essencialmente aluvionar, argiloso, cuja espessura é da ordem dos 3 a 4 metros. O leito de cheias ao longo de toda a albufeira tem uma largura de cerca de 100 m, à excepção do local da barragem, onde não excede 20 m.

Na área da albufeira e suas imediações, sensivelmente dois terços da zona são constituídos por calcários margosos e margas, com alguns traços de dissolução, embora ligeiros (Fig. 1). Para montante, e contactando concordantemente e segundo uma direcção ENE-WSW, ocorrem formações margo-calcárias de aspecto “xistoso”, que devem corresponder aos “xistos” do Ramalhão, formação tipo flysch de origem metamórfica.

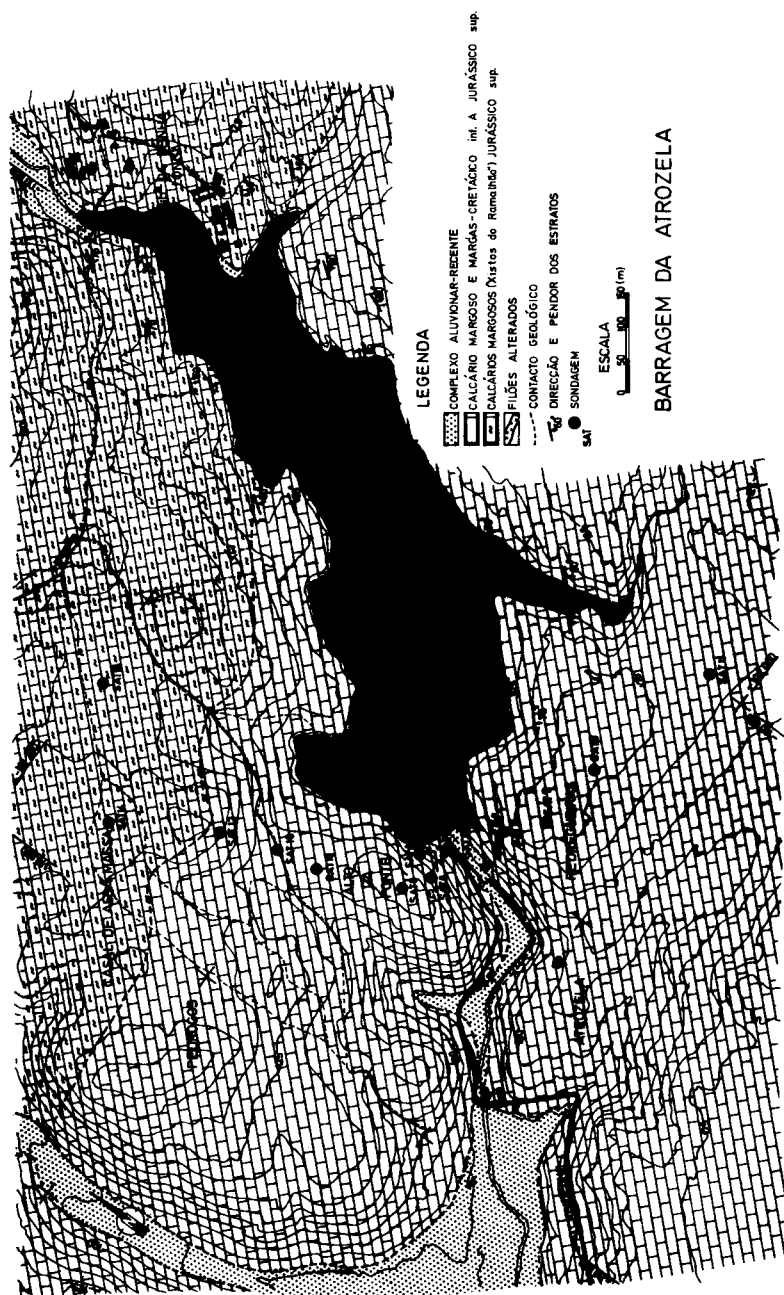


Fig. 1 – Carta geológica

O reconhecimento de superfície não permitiu a observação de qualquer acidente tectónico; no entanto, foi detectada uma diferença de orientação dos estratos de um e de outro lado da ribeira, de cerca de 25°, no local da barragem, o que levou a considerar a possibilidade da ocorrência de um acidente tectónico nesta zona. A campanha de prospecção entretanto realizada, não permitiu detectar vestígios desse eventual acidente.

Ao longo da albufeira, a orientação geral da estratificação é idêntica à da margem direita do local da barragem, N (55°-75°) E; 75° E a vertical.

O maciço rochoso calcário encontra-se compartimentado por uma família de diaclases importante, de direcção sensivelmente perpendicular à estratificação, a qual varia igualmente de 25° numa e noutra margem da ribeira, no local da barragem. Ocorre ainda uma outra família de diaclases de atitude sub-horizontal, mas de importância reduzida.

3 – CONDIÇÕES DE PERCOLAÇÃO

A permeabilidade da fundação da barragem foi, num primeiro estágio, estudada a partir da realização de quatro furos de sondagem, sendo dois na margem direita e dois na margem esquerda. Em face da atitude das formações, as sondagens foram executadas com uma inclinação de 60°, sendo acompanhados da realização de ensaios de injeção de água em trechos de 5 m, utilizando os seguintes estágios de pressão: 2,5 – 5 – 2,5 kg/cm².

Os resultados dos ensaios realizados, desde logo mostraram a grande permeabilidade da fundação da barragem até grande profundidade (30 m), verificando-se, nas zonas onde ocorre escoamento laminar, que o coeficiente de permeabilidade é superior a $3,8 \times 10^{-5}$ cm/s.

A posição do nível freático nos maciços das margens da ribeira, em época de estiagem, mostrou também a grande permeabilidade do maciço de fundação, até às profundidades assinaladas.

Em face destes resultados e do reconhecimento de superfície, considerou-se que a percolação no maciço rochoso se daria sobretudo através das superfícies de estratificação, em consequência dos estratos margosos intercalados entre os calcários, impedirem, ou pelo menos dificultarem muito, a percolação nas fracturas transversais à estratificação, nos calcários.

Atendendo à orientação relativa dos estratos e do eixo da barragem e à morfologia da região, considerou-se ainda que seria muito difícil garantir a estanqueidade do reservatório sem qualquer tratamento do maciço que impedisse a percolação fácil segundo direcção sensivelmente perpendicular ao eixo da barragem, quer sob a fundação, quer nos maciços das margens.

As hipóteses consideradas para esse tratamento foram: i) a construção de uma cortina de impermeabilização e ii) o revestimento da albufeira, quer com terras impermeáveis, quer com materiais plásticos.

Feita uma previsão dos custos de cada uma das soluções, e tendo em atenção que é praticamente inexistente carsificação dos calcários, que os estratos margosos dificultam a percolação segundo direcções normais à estratificação e que seria de 0,5 km² a área do reservatório a revestir, desde logo a solução cortina de impermeabilização apareceu como a mais interessante, a exigir, contudo, estudo mais cuidado de todo o maciço rochoso do reservatório, com vista à definição da sua geometria (extensão e profundidade).

Elaborou-se então um programa de prospecção e ensaios, contemplando tanto a zona do eixo da barragem como a albufeira e constituído por sondagens orientadas de tal modo, que atravessassem quer as camadas calcárias quer as camadas margosas.

Este programa consistiu em 12 sondagens de rotação acompanhadas de ensaios de injeção de água em trechos de 5 m, utilizando pressões de 2,5 – 5 – 2,5 kg/cm² e aumentando até 10 kg/cm² no último trecho de cada furo. Destas sondagens, 4 foram executadas ao longo do eixo da barragem e as restantes 8 foram localizadas à volta da albufeira. A orientação das sondagens foi tal que cruzassem quer as superfícies de estratificação quer a família de diaclases normal à estratificação. A única excepção foi a sondagem S₁₈, executada na vertical, através de uma camada de marga com 4 m de espessura seleccionada na fase de reconhecimento de superfície, com vista a confirmar a impermeabilidade dos leitos margosos.

Analisados os resultados dos ensaios obtidos no eixo da barragem e seu prolongamento (Fig. 2), verifica-se que até grande profundidade o coeficiente de permeabilidade é superior a $3,8 \times 10^{-5}$ cm/s, sendo frequentes valores entre 10^{-4} e 5×10^{-4} cm/s.

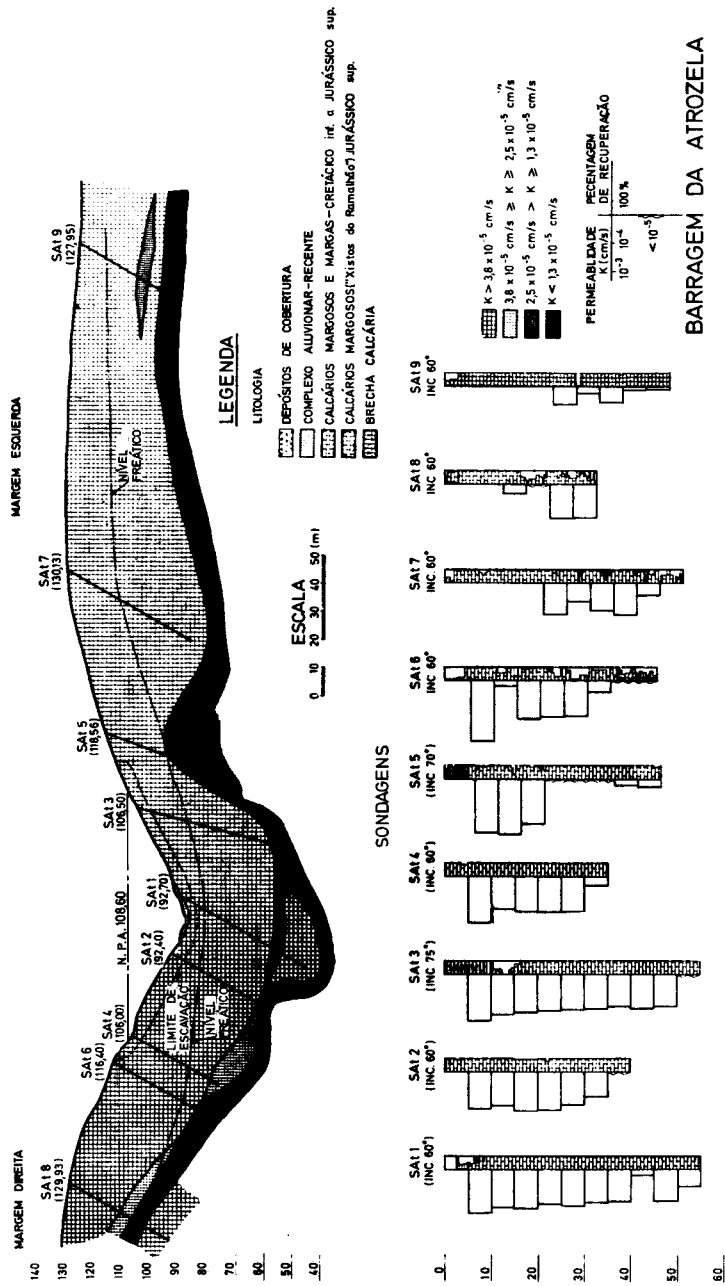


Fig. 2 – Perfil hidrogeológico ao longo do eixo

4 – SOLUÇÃO PROPOSTA E CONCLUSÕES

Considerou-se que se conseguiria uma estanqueidade satisfatória do maciço rochoso de fundação e das suas imediações com a execução de uma cortina de impermeabilização até às profundidades em que os coeficientes de permeabilidade são menores do que $3,8 \times 10^{-5}$ cm/s.

De acordo com os resultados indicados na Fig. 2, esta cortina atingirá uma profundidade de cerca de 30 a 35 m abaixo da cota actual do terreno, entre as sondagens S_7 na margem esquerda e S_8 na margem direita. Nos maciços das encostas, em que o terreno natural sobe até cerca da cota (130), o comprimento da cortina será substancialmente menor, dado se atingir o limite aceite para o coeficiente de permeabilidade, a cotas superiores e só ser necessário construir a cortina de impermeabilização para baixo da cota de retenção da água. Nestas condições, ainda que subjacentes àqueles níveis considerados praticamente impermeáveis ocorram de novo zonas mais permeáveis, a profundidade a que tal se passará e os pequenos gradientes resultantes da pouca altura de água na albufeira, deixam prever que daí não resultam perdas de água apreciáveis.

Apreciada a planta geológica da albufeira e a direcção das camadas em relação à orientação do eixo da barragem, verifica-se que não será suficiente a construção da cortina no trecho compreendido entre as sondagens S_7 e S_8 para atingir os fins em vista, sendo necessário prolongá-la, na margem direita, cerca de 150 m na direcção perpendicular à direcção das camadas, portanto até à zona entre as sondagens S_{10} e S_{18} . Reforça este ponto de vista a existência de uma linha de água a jusante, apenas a cerca de 250 m da albufeira, que facilitaria a ressurgência de água acima da cota (95). Também neste trecho é apenas necessária a construção da cortina na zona de cotas inferiores à da retenção da água na albufeira, interessando uma profundidade média de cerca de 20 m.

Na margem esquerda não parece necessário prolongar a cortina para além da sondagem S_7 . Com efeito, segundo o raciocínio utilizado na margem direita, a percolação ao longo dos planos de estratificação ficará impedida com a cortina que se preconiza, com excepção apenas de uma pequena zona correspondente à linha de água cavada que conflui com a ribeira, cerca de 450 m a montante do local da barragem. Dado, no entanto, que nesta zona a altura máxima de água será de 5 a 6 m, que o caminho preferencial para o seu escoamento tem cerca de 600 m de extensão e que o recobrimento de terreno atinge 20 m acima da cota correspondente ao N.P.A., considera-se que não serão significativas as perdas de água que vierem a verifi-

car-se. Acresce que os resultados dos ensaios realizados na sondagem S₉ e a posição do nível freático, mostram tratar-se de zona bastante impermeável.

Analizada assim a zona correspondente ao eixo da barragem e seu prolongamento, onde se reconheceu necessária a execução de uma cortina de impermeabilização com extensão de cerca de 400 m (Fig. 3), resta considerar o comportamento dos terrenos interessados pela albufeira no que se refere a perdas de água em direcções não coincidentes com a direcção da estratificação.

Como já foi referido, as formações geológicas da albufeira consistem de camadas de calcário intercaladas com níveis margosos, alguns destes com alguns metros de espessura. Estas formações margosas, embora fracturadas e fissuradas quando secas, são quase impermeáveis debaixo de água, devido às suas características de expansibilidade. Nessas condições, funcionam como “barragens naturais”, tornando difícil a passagem de água através delas. Os resultados dos ensaios de água na sondagem S₁₈ confirmam este raciocínio.

A topografia das margens da albufeira, sem linhas de água cavadas nas proximidades, pode ser considerada como favorável à retenção de água no maciço. Na margem esquerda as cotas sobem, embora de forma suave, mas contínua, ultrapassando a cota (130). Na margem direita, a linha de água bem pronunciada que poderia permitir o esvaziamento da albufeira, está afastada de cerca de 700 m, no alinhamento mais curto, sensivelmente normal à direcção dos estratos.

De acordo com o atrás exposto, e considerando que não será de prever a ocorrência de zonas importantes de dissolução (não detectadas no reconhecimento nem com os trabalhos de prospecção), parece razoável admitir que, os trabalhos de impermeabilização preconizados, eliminarão fluxos importantes de água através do maciço rochoso. Contudo se se vier a detectar alguns fenómenos de carsificação, localizado, na fase de exploração da albufeira, será possível proceder a tratamento de impermeabilização, que, embora delicado, não exigirá o seu esvaziamento.

Como complemento do tratamento da fundação da barragem e para evitar a ocorrência de subpressões na obra, considera-se também necessária a execução de uma cortina de drenagem, que se preconiza seja executada logo a jusante da cortina de impermeabilização, conforme vai indicado na Fig. 3.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EPAL – Empresa Pública das Águas de Lisboa a sua autorização para publicar estes dados.