

# **A CONTRIBUIÇÃO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NO PROJECTO DE REABILITAÇÃO DE BARRAGENS - O CASO DA BARRAGEM DA PÓVOA**

## **CONTRIBUTION OF ENGINEERING GEOLOGY TO THE REHABILITATION DESIGN OF DAMS - THE POVOA DAM CASE STUDY**

Ferreira, Fernando - *Engenheiro Geólogo - Hidrorumo, Projecto e Gestão, SA*

Monteiro, Gilberto - *Engenheiro Civil - Hidrorumo, Projecto e Gestão, SA*

### **RESUMO**

Significativa parte das primeiras barragens construídas em Portugal são estruturas de alvenaria. A avaliação do seu estado de conservação e o diagnóstico do seu processo de envelhecimento tem sido possível através da intervenção de técnicos da área da geologia de engenharia. Nesta comunicação é apresentado o caso da barragem da Póvoa, construída nos anos 20, onde a realização de estudos geofísicos, sondagens mecânicas e ensaios de caracterização laboratorial permitiram definir diferentes soluções de reabilitação do aproveitamento.

### **ABSTRACT**

Most of the oldest dams in Portugal are masonry structures. The need to assess their current condition and ageing involves an extensive engineering geological field investigation programme. The detailed study of the Povoá dam, with emphasis on the drilling survey, geophysical prospection and characterization of material in laboratory are described.

## **1 - INTRODUÇÃO**

A barragem da Póvoa localiza-se no distrito de Portalegre, a cerca de 14 km da localidade de Nisa, e insere-se no aproveitamento do curso superior da ribeira de Nisa. A obra foi concluída em 1928, pelo que tem cerca de 70 anos de vida.

A barragem compreende 4 corpos, dos quais o principal tem implantação ligeiramente arqueada (Fig. 1), com 28,5 m de altura máxima acima da cota mínima de fundação (Fig. 2). Os outros fecham as portelas da margem direita, com alturas máximas de 13,5 e 4,5 m. À excepção do corpo onde se insere o descarregador de cheias, os elementos têm perfil gravidade, constituídos por um núcleo em enrocamento argamassado contido pelos muros dos paramentos em alvenaria argamassada.

No sentido de diagnosticar o processo de envelhecimento da barragem da Póvoa, testemunhado pelas importantes infiltrações de água da albufeira através da barragem e da fundação, a Hidrorumo procedeu a diversos estudos com o objectivo de verificar as condições de segurança estrutural da barragem, em cumprimento do Regulamento de Segurança de Barragens. Para o efeito consideraram-se as acções que intervêm nos cenários correntes de rotura: peso próprio, pressão hidrostática devida à albufeira, subpressão e acção sísmica. No estudo não foram consideradas as acções térmicas por os seus efeitos serem pouco relevantes numa barragem deste tipo estrutural, constituída por enrocamento argamassado. No decorrer de uma campanha de inspecção subaquática, reconheceu-se a existência de depósitos de “lodo” na proximidade da barragem principal, com excepção das zonas adjacentes às bocas das tomadas de água dos circuitos hidráulicos que atravessam o corpo da barragem. A acção do impulso desses depósitos no corpo da barragem é desprezável, pelo que não foi considerado.



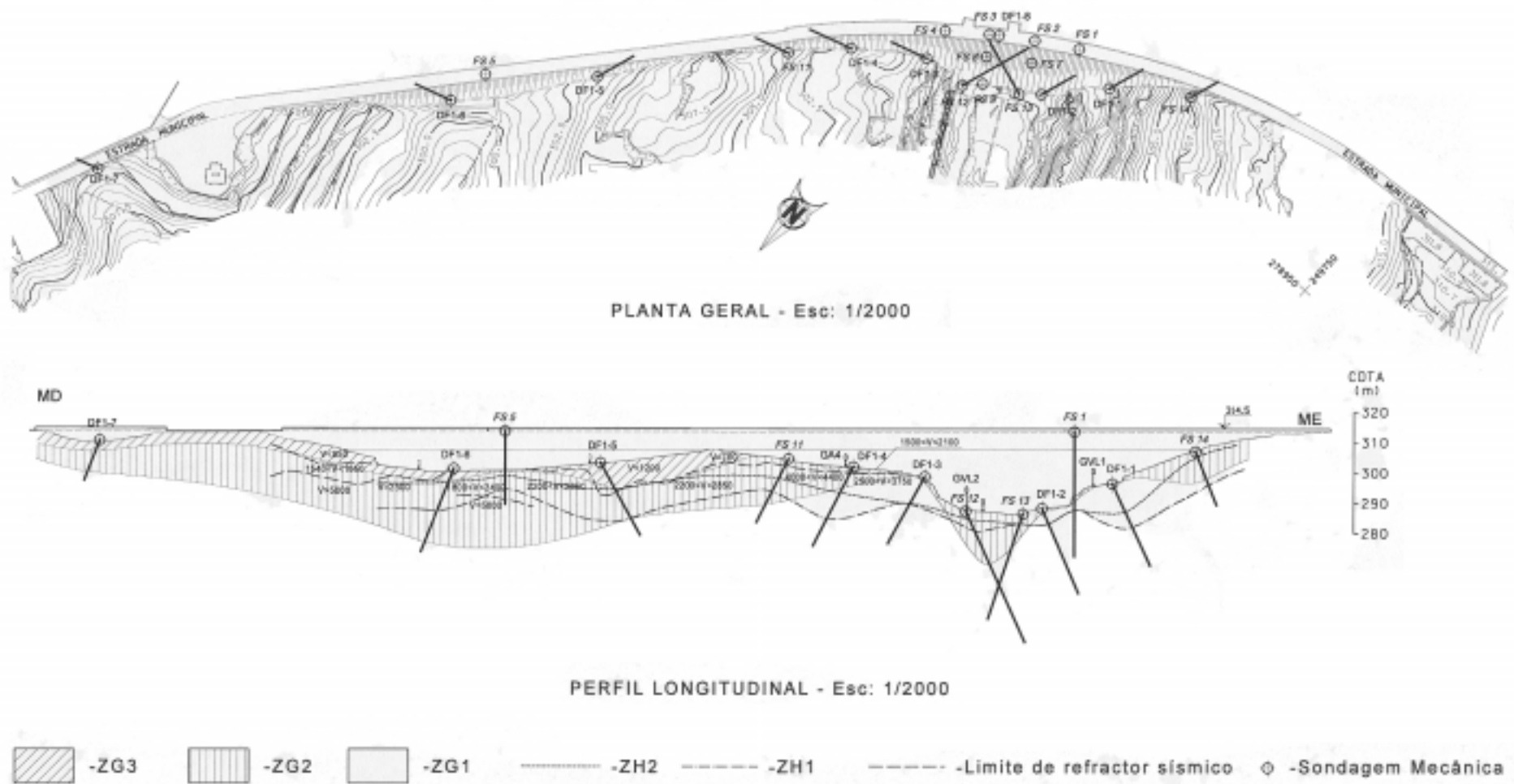


Figura 1 - Planta de localização dos trabalhos de prospecção mecânica e corte geológico-geotécnico pelo pé de jusante da barragem.



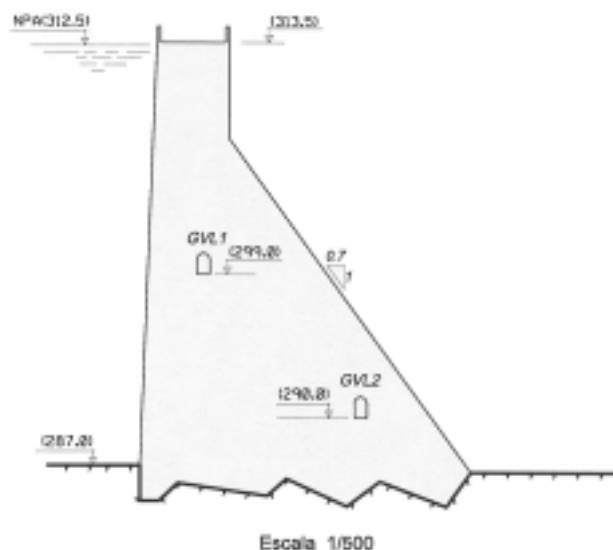


Figura 2 - Corte transversal do corpo da barragem principal e localização das galerias de visita.

## 2 - GEOLOGIA

Na região envolvente da barragem predominam rochas graníticas, que condicionam as formas de relevo da paisagem, nomeadamente através dos frequentes blocos pedunculados e caos de blocos. Estas rochas são contemporâneas dos movimentos hercínicos e instalaram-se simultaneamente ou logo após os movimentos que ocorreram segundo tensões NE-SW. Numa fase final, os movimentos hercínicos actuaram numa direcção E-W, provocando a fracturação de todo o maciço testemunhada pelas inúmeras fracturas e os esmagamentos lineares.

A nível litológico, no local de inserção da barragem aflora o designado Granito de Nisa. É um granito calco-alcalino, de duas micas, de grão grosseiro e com frequentes fenocristais de feldspato. Na dependência dos fenómenos de granitização, formaram-se aplito-pegmatitos e numerosos filões de quartzo, por vezes associados a falhas e com direcção predominante NNW-SSE e NNE-SSW.

## 3 - SISMICIDADE

O local da barragem insere-se numa região de sismicidade moderada (Mendes, 1971), com sismos de intensidade VI na escala internacional (período 1902-1972).

O sismo máximo expectável (SME) foi estimado por via determinística, tendo-se considerado os sismos de magnitude igual ou superior a 4, com epicentro a distância inferior a 350 km do local da barragem, e averiguada a relação existente entre os respectivos epicentros e as falhas reconhecidas como activas. Em função da distribuição espacial dos referidos epicentros, foram delimitadas as províncias sismotectónicas consideradas mais relevantes. Para cada uma das províncias sismotectónicas foi seleccionado o sismo de maior magnitude cujo epicentro foi deslocado ao longo da falha activa para o ponto mais próximo da barragem, pela técnica do *floating earthquake*.

No sentido de majorar as acções associadas ao SME determinado com base nessa metodologia, adoptou-se o critério empírico de incrementar de uma unidade a magnitude máxima seleccionada para cada região. Com base nas magnitudes corrigidas dos sismos característicos de cada província sismotectónica, determinaram-se os valores da aceleração horizontal máxima esperada no local da barragem, tendo-se adoptado a lei de atenuação proposta por Oliveira C. S. (1977). Para o conjunto das diferentes províncias verifica-se que o valor máximo de aceleração é da ordem dos  $180 \text{ cm s}^{-2}$ , associado ao sismo de Benavente, com magnitude 7,6 e ocorrido em 1909.04.23.

O sismo base de projecto (SBP) foi estimado por via probabilística, considerando o conjunto de sismos posteriores a 1900 cujos epicentros se localizam a uma distância não superior a 350 km do local da barragem. Com base no método da realização ocorrida, avaliou-se o valor dos parâmetros da distribuição de extremos a partir do conjunto dos valores máximos anuais da aceleração horizontal máxima. Posteriormente, utilizou-se uma técnica de ajuste para determinar a função de distribuição de probabilidade (Fig. 3), tornando possível a transformação da distribuição de máximos anuais para a distribuição de máximos para qualquer período de retorno, através da seguinte expressão:

$$-\ln[-\ln(P)] = 0,0566 \times (\ln a_{max})^2 + 1,5705 \times \ln a_{max} - 1,5575$$

Os cenários considerados para o SBP foram: evento sísmico com 5% de probabilidade de ser excedido num período de 50 anos ( $T_{retorno} \approx 1000$ anos) e 50% de ser excedido num período de 100anos ( $T_{retorno} \approx 145$ anos), para os quais se obtiveram, por extrapolação parabólica,  $a_{max} = 102 \text{ cm.s}^{-2}$  e  $a_{max} = 39 \text{ cm.s}^{-2}$ , respectivamente.

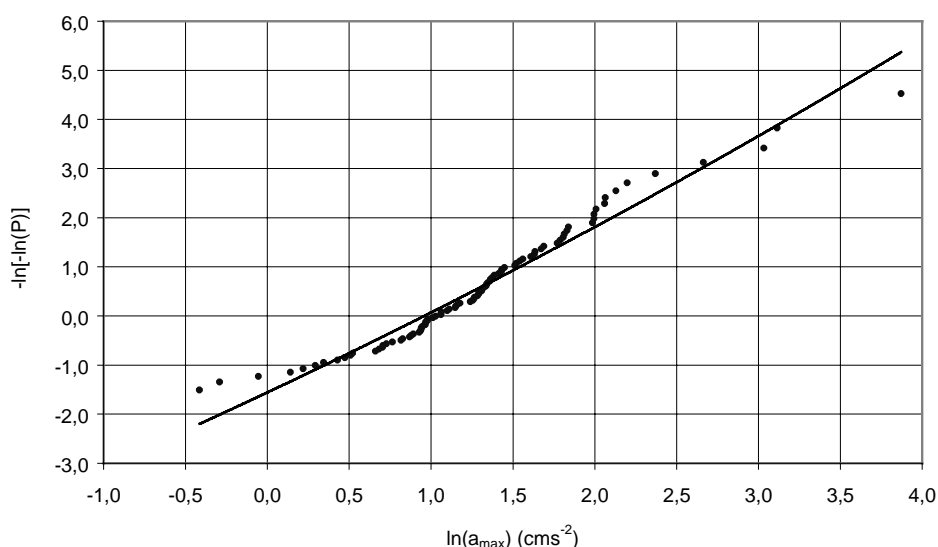


Figura 3- Sismos com distância epicentral inferior a 350 km. Aproximação probabilística.

#### 4 - PROSPECÇÃO MECÂNICA E RESULTADOS OBTIDOS

Em 1991 foi realizada a primeira campanha de sondagens mecânicas à rotação, que compreendeu 7 sondagens para caracterização da fundação e uma sondagem a partir do coroamento da barragem, a que permitiu a caracterização do material constituinte do núcleo da barragem e a ligação desta com o maciço de fundação (TECNASOL, 1991).

Na sequência das visitas de inspecção e diagnóstico efectuadas em 1995, verificou-se a existência de infiltrações de água provenientes da albufeira, dispersas ao longo do corpo da barragem e da fundação, disseminadas por grandes áreas e a diversas cotas. Por este facto e com base nos dados obtidos na campanha de prospecção anterior, decidiu-se executar um conjunto mais amplo de sondagens atravessando o corpo e a fundação da barragem. No âmbito desta campanha de reconhecimento executaram-se 7 sondagens no corpo principal da barragem, 2 na portela da margem direita e 5 na fundação, num total de 14 sondagens, realizadas à rotação, com amostrador duplo e recolha contínua de amostras (RODIO, 1997). A globalidade das sondagens efectuadas permitiram inspeccionar o corpo da barragem, nomeadamente o material constituinte do seu núcleo e a ligação da barragem com o maciço de fundação (Fig. 1).

A observação macroscópica das amostras de argamassa e argamassa/rocha não identificou sinais evidentes de degradação generalizada, embora pontualmente se verifiquem cavidades milimétricas a centimétricas, que terão origem na deficiente compactação durante a construção da barragem. As significativas perdas de recuperação de amostra no decurso da furação do corpo da barragem dever-se-ão a existências de vazios e/ou material facilmente desagregável sob a acção da rotação da coroa e da injeção de água, traduzindo uma menor homogeneidade da estrutura.

No que respeita ao reconhecimento das condições geomecânicas de fundação, verifica-se que nos níveis mais superficiais é nítida a descompressão do maciço rochoso que, em conjunto com os fenómenos físico-químicos de meteorização, é responsável pela degradação progressiva das suas propriedades geotécnicas. A diferença de morfologia entre as duas margens, com zonas aplanadas na margem direita, em contraste com o relevo mais acentuado da margem esquerda, leva a que ocorram distintos graus de evolução dos perfis de meteorização. Efectivamente, os horizontes de alteração da margem direita são mais espessos que os da esquerda, o que se confirma pela simples observação superficial e, com mais justificação, pela análise dos trabalhos de reconhecimento (Fig. 1).

As discontinuidades do maciço rochoso de fundação, observadas nas amostras obtidas com as sondagens, apresentam frequente preenchimento com películas de argila e/ou limonite, em particular nos níveis mais superficiais do maciço rochoso, onde a circulação de água é mais intensa. O grau de rugosidade das discontinuidades é, regra geral, médio a baixo ( $6 < JRC < 10$ ). As sondagens de reconhecimento não atravessaram acidentes tectónicos importantes nem estruturas filonianas dignas de registo.

## 5 - PROSPECÇÃO GEOFÍSICA E RESULTADOS OBTIDOS

A realização de uma campanha de prospecção geofísica (LNEC, 1999) permitiu a investigação de volumes de maciço e do corpo da barragem representativos do seu estado de conservação, em oposição à informação essencialmente linear fornecida pelas sondagens mecânicas.

Os estudos geofísicos consistiram num alinhamento de refração sísmica, com 210 m de extensão e localizado na margem direita do pé de jusante da barragem, e em diversos leques sísmicos (entre furos de sondagem, entre estes e a superfície, entre as galerias de visita e entre as galerias e o coroamento da barragem).

De uma forma geral, verifica-se que existe razoável concordância entre a informação geomecânica e os resultados da sísmica de refração, em particular para a zona mais superficial do maciço de fundação. Os leques sísmicos entre a superfície do terreno e os furos de sondagem DF1-3, DF1-4 e DF1-6 permitiram confirmar que o maciço de fundação envolvente destes apresenta boas características geomecânicas a relativamente baixa profundidade.

Os leques sísmicos entre galerias e estas e o coroamento evidenciaram a heterogeneidade vertical e lateral das propriedades geofísicas do material que compõe o corpo da barragem (Figs. 1, 2 e Quadro 1).

De acordo com a informação obtida, foi possível concluir que, ao reflectirem, indirectamente, as características mecânicas globais do corpo da barragem, as propriedades elásticas dinâmicas do referido material melhoram nitidamente do coroamento da barragem principal para a galeria GVL-2. Na secção GVL1-coroamento, cerca de 82% dos valores situaram-se entre 1400 e 2200  $\text{ms}^{-1}$ , enquanto na zona inferior da barragem (leque GVL2 - GVL1) 68% dos valores encontram-se entre 3000 e 4000  $\text{ms}^{-1}$ . A zona investigada entre a galeria GA-4, localizada na margem direita, e o coroamento revelou velocidades de propagação das ondas sísmicas características de um material alterado e/ou com elevado índice de vazios, onde cerca de 90% dos valores são inferiores a 1800  $\text{ms}^{-1}$ .

Quadro 1 - Análise estatística dos valores de  $V_1$  obtidos nos leques sísmicos realizados no corpo da barragem

Leque sísmico	Velocidade de propagação obtida para cada leque sísmico ( $\text{ms}^{-1}$ )			
	mínimo	máximo	média	desvio padrão
GA4 - coroamento	898	1971	1412	267
GVL1 – coroamento	1228	2843	1911	262
GVL2 - GVL1	2449	5014	3699	424

## 6 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL

Para conhecimento das propriedades do material constituinte do corpo da barragem, foram abertas duas cavidades no interior das galerias de visita GLV1 e GLV2 que permitiram, em conjunto com os furos de sondagem FS1, FS2, FS3, FS4, FS5 e FS13, obter amostras das matrizes rocha, argamassa e rocha/argamassa, para posterior caracterização laboratorial. Os ensaios realizados (Quadro 2) envolveram a determinação das massas volúmicas aparente ( $\gamma$ ), seca ( $\gamma_d$ ) e saturada ( $\gamma_{sat}$ ), da resistência à compressão simples (UCS), do módulo de deformabilidade (E), do teor de absorção de água e da resistência ao desgaste no ensaio de Los Angeles.

Quadro 2 - Características do material constituinte do corpo da barragem

Material do corpo da barragem	$\gamma$ ( $\text{KN/m}^3$ )	$\gamma_d$ ( $\text{KN/m}^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	UCS (MPa)	E (MPa)	Absorção de água (%)	Los Angeles classe G (%)
rocha e argamassa	25	22,1	22,8	41,6	23,0	3,3	—
rocha	—	25,2	25,7	—	—	6,7	51-69
argamassa	—	20,8	22,2	—	—	1,7	—

Os resultados obtidos para as características físicas dos materiais apresentam uma certa uniformidade, em oposição às características mecânicas cuja dispersão de valores traduz a heterogeneidade do material do corpo da barragem. No que respeita à argamassa de ligação da alvenaria, nas zonas em que não há percolação pode concluir-se que aquela se encontra em bom estado de conservação.

Dos resultados obtidos com os ensaios de laboratório interessam, particularmente aqueles que directamente condicionam a verificação das condições de segurança estrutural da barragem, nomeadamente a massa volúmica seca e saturada por afectarem directamente a quantificação da acção do peso próprio.

Complementarmente, procedeu-se à caracterização físico-química de amostras da água infiltrada através do corpo da barragem, recolhidas nas bicas das galerias de drenagem e no furo de sondagem DF-3 (LNEC, 1997). Os ensaios realizados consistiram na determinação do pH, da condutividade, da alcalinidade total [ $\text{CaCO}_3$ ] e da concentração de iões dissolvidos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ). Os resultados obtidos mostram que a água da albufeira é aparentemente pura e tem capacidade de lixiviação do  $\text{CaCO}_3$ , conforme se depreende do valor médio de 64 mg/l obtido para a alcalinidade total. A título meramente indicativo, refere-se que na especificação LNEC E378 concentrações de  $\text{CaCO}_3$  entre 35 e 90 mg/l correspondem à classe EQ1.

## 7 - ZONAMENTO GEOMECÂNICO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

No que respeita às propriedades geomecânicas do maciço de fundação do pé de jusante da barragem, foi possível o seu zonamento (Quadro 3 e Fig.1) através da classificação das amostras de sondagens, nomeadamente quanto aos estados de alteração e fracturação e RQD que o maciço apresenta, e com base na variação da velocidade das ondas sísmicas longitudinais ( $V_L$ ).



A espessura da zona ZG3 é consideravelmente superior na margem direita, atingindo valores máximos de 9 m, embora entre as sondagens FS11 e DF1-3 e na proximidade da sondagem FS5, a sua espessura seja reduzida. Na margem esquerda e fundo do vale esta zona é praticamente inexistente. Na margem direita, a interface das zonas ZG2 e ZG1 ocorre à profundidade máxima de 25 m na zona central da portela maior. Localmente, em particular entre as sondagens FS11 e DF1-3 ela é reduzida. Na margem esquerda apresenta profundidade máxima da ordem dos 10 m, enquanto no leito da ribeira é cerca de 17 m. Face à insuficiência de informação que permita inferir as condições geomecânicas em profundidade, o zonamento definido entre as duas portelas da margem direita deve ser considerado como um modelo aproximado, sujeito a adaptação de acordo com a informação resultante dos estudos que venham a ser posteriormente efectuados.

Quadro 3 - Zonamento geomecânico do maciço de fundação

Zona	Alteração (ISRM)	Fracturação (ISRM)	RQD (%)	$V_L$ (m.s <sup>-1</sup> )
ZG3	W <sub>4-5</sub>	F <sub>3</sub> a F <sub>5</sub>	< 50	< 1200
ZG2	W <sub>2</sub> a W <sub>3</sub>	F <sub>3</sub> a F <sub>5</sub>	50-90	> 2000
ZG1	W <sub>1-2</sub>	F <sub>1</sub> a F <sub>3</sub>	> 90	> 4000

## 8 - HIDROGEOLOGIA E ZONAMENTO HIDRÁULICO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

A elevada pluviosidade, a influência da albufeira gerada pela barragem e a natureza das formações geológicas presentes conferem à região condições de recarga hidrogeológica favoráveis.

O maciço granítico origina redes aquíferas descontínuas cujas densidades e aberturas diminuem em profundidade. Em termos de permeabilidade, capacidade de retenção e cedência de água podem considerar-se duas formações aquíferas diferentes. A um nível superficial, os solos residuais de cobertura, pouco espessos, e o maciço granítico intensamente meteorizado caracterizam-se por uma permeabilidade em pequeno, típica dos meios porosos. Dada a sua natureza superficial, não confinada, encontram-se bastante condicionados por efeitos climáticos sazonais e possuem pouca importância. No entanto, o papel que desempenham no mecanismo de recarga dos reservatórios subterrâneos pode assumir localmente alguma relevância. Subjacente, o maciço rochoso granítico, menos alterado e algo fracturado, caracteriza-se por uma permeabilidade em grande, típica dos meios fissurados, e relativa baixa produtividade aquífera.

A execução das sondagens mecânicas foi acompanhada de ensaios de injeção de água do tipo Lugeon, permitindo a caracterização hidráulica do maciço de fundação da barragem. Regra geral, os troços de ensaio tiveram 5 m de comprimento e as injeções de água processaram-se em 4 patamares de pressão, limitada ao valor máximo de 0,5 MPa. No Quadro 4 encontra-se sintetizada a análise da informação obtida dos ensaios, sob a forma de percentagem de ocorrência dos regimes de escoamento e de tendência das fracturas.

Na maior parte dos ensaios de injeção de água realizados, em particular na margem esquerda e fundo do vale, a absorção foi praticamente nula, podendo inferir-se que, à superfície, as fracturas se encontram preenchidas com material de granulometria fina e, em profundidade, o maciço granítico se apresenta compacto, com fracturas fechadas e pouco contínuas. Na margem direita ocorreu significativa percentagem de casos de absorção total, geralmente associados à elevada permeabilidade da zona de contacto barragem/fundação.

A análise das magnitudes da absorção de água verificadas durante os ensaios permitiu concluir que a permeabilidade do maciço granítico do fundo do vale é baixa, apenas assumindo alguma relevância na ligação barragem/fundação. Por sua vez, o maciço rochoso da margem direita caracteriza-se por

permeabilidade elevada até profundidade máxima da ordem dos 15 a 20 m, enquanto na margem esquerda as principais absorções foram observadas na proximidades da ligação barragem/fundação e às cotas próximas do coroamento.

Quadro 4 - Regime de escoamento e tendência das fracturas

Regime de escoamento e tendência das fracturas	% de casos registados			
	Total	M. Direita	Fundo do vale	M. Esquerda
Absorção nula	46	36	63	50
Absorção total	11	21	—	5
Laminar	3	4	—	5
Intermédio	14	15	8	20
Turbulento	7	6	4	15
Abertura da secção de escoamento	12	6	21	5
Diminuição da secção de escoamento	7	12	4	—

No Quadro 5 e na Fig. 1 apresenta-se o zonamento hidráulico do maciço granítico de fundação da barragem e portelas, tendo-se definido três zonas distintas.

Quadro 5 - Zonamento hidráulico do maciço granítico

Zona	Permeabilidade (UL)	% de ensaios característicos			
		Total	M. Direita	Fundo do vale	M. Esquerda
ZH3	> 4	30	45	8	25
ZH2	1 a 4	15	12	13	25
ZH1	< 1	55	43	79	50

A análise do zonamento hidráulico (Fig. 1) apenas foi efectuada entre a portela maior da margem direita e a fundação da margem esquerda, uma vez que entre as duas portelas da margem direita não existe informação suficiente para avaliar as características hidráulicas do maciço rochoso. A análise do perfil longitudinal pelo pé de jusante da barragem permite concluir que a geometria da curva referente à absorção superior a 4 UL é relativamente regular entre a portela da margem direita e o leito da ribeira, acompanhando a topografia do terreno natural, enquanto na margem esquerda essa curva apresenta contornos mais irregulares. A profundidade máxima de ocorrência é da ordem dos 10 m. A curva que delimita a absorção de 1 UL é irregular nas duas margens, apresentando profundidade máxima da ordem dos 17 m na margem esquerda, 7 m no leito da ribeira e 20 m na margem direita.

## 9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS RELATIVAS À CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO E DO MATERIAL DO CORPO DA BARRAGEM

Do ponto de vista geomecânico, verifica-se que a globalidade da barragem da Póvoa se encontra fundada na zona ZG3, a qual, tendo em consideração o perfil gravidade da barragem, se considera adequada. Genericamente, pode afirmar-se que a barragem assenta num maciço rochoso pouco alterado, embora localmente fracturado, não justificando qualquer tipo de intervenção no sentido da sua consolidação generalizada.

De acordo com a informação disponível, os níveis de absorção de água, observados no decorrer dos ensaios de injeção, revelaram um maciço permeável na zona de ligação da barragem com a fundação e nos horizontes mais superficiais do maciço rochoso, em particular na margem direita. Face aos regimes de escoamento que predominaram nos referidos ensaios, prevê-se que seja possível a injeção

de caldas de cimento e de argamassa, esta última apenas nas zonas onde ocorram vazios de maiores dimensões.

Os ensaios de caracterização do material constituinte do núcleo da barragem permitiram concluir que as infiltrações de água observadas deverão estar relacionados com o localizado elevado índice de vazios e porosidade da argamassa de ligação da alvenaria, como resultado da técnica construtiva utilizada na época. Excluindo as zonas onde essas infiltrações são mais evidentes, a argamassa de ligação aparenta encontrar-se em bom estado de conservação.

## 10 - SOLUÇÕES ANALISADAS PARA A REABILITAÇÃO DA BARRAGEM

No seguimento do desenvolvimento dos estudos realizados sobre a barragem e sua fundação, nos quais se incluem aqueles que dizem respeito especificamente às condições geológicas e geotécnicas, foram definidas as alternativas de reabilitação do aproveitamento que contemplam as soluções técnicas e económicas consideradas mais adequadas e que permitem cumprir os seguintes requisitos:

- garantia da segurança estrutural da barragem;
- impermeabilização do paramento de montante e do corpo da barragem;
- impermeabilização do maciço de fundação e da zona de contacto barragem/fundação;
- reparação e reforço estrutural do pé de jusante da barragem principal e das portelas;
- melhoria das características mecânicas do material constituinte do núcleo da barragem;
- garantia de obtenção de resultados satisfatórios aliada à facilidade na execução dos trabalhos.

Nestes pressupostos, foram analisadas as seguintes soluções com o objectivo de reabilitar a barragem e melhorar as características mecânicas e hidráulicas do maciço de fundação:

1. Tratamento do corpo da barragem e da fundação a partir do coroamento daquela, não exigindo o esvaziamento total da albufeira. Pretende-se com esta intervenção reduzir a sua permeabilidade através de injeções de calda de cimento e argamassa e, acessoriamente, aumentar o peso próprio da superestrutura. Esta solução prevê a abertura, no corpo da barragem principal, de uma galeria longitudinal de drenagem que permitirá o eventual tratamento da barragem e da fundação.
2. Impermeabilização do paramento de montante da barragem através de uma laje de betão armado e execução de uma cortina de estanqueidade na fundação de montante. O reforço da superestrutura e da ligação barragem/fundação do pé de jusante da barragem principal e das portelas será conseguido através de um tratamento de consolidação, mediante injeções de caldas de cimento.
3. Impermeabilização do paramento de montante da barragem e das portelas através da instalação de uma membrana. Esta solução inclui a construção de uma cortina de estanqueidade na fundação, de montante, e a consolidação da ligação barragem/fundação do pé de jusante do corpo principal da barragem e das portelas.
4. Execução, a montante da barragem principal, de uma estrutura de reforço em enrocamento compactado, e construção de uma laje em betão armado no paramento deste. Na restante zona da obra, nomeadamente nas portelas, a solução apresentada corresponde à solução referida em 2.

Embora tenham sido consideradas soluções envolvendo técnicas de realização de obras debaixo de água, verificou-se que, para a dimensão dos trabalhos de tratamento requeridos para esta obra, os custos seriam muito elevados e a qualidade dos trabalhos dificilmente poderia ser garantida.

## BIBLIOGRAFIA

ICOLD (1991) - Ageing of dams and remedial measures. Question 65. 7th International Congress on large dams. Viena.

LNEC (1999) - Prospecção geofísica por métodos sísmicos na barragem da Póvoa. Lisboa.

LNEC (1997) - Observação da barragem da Póvoa. Determinação de características físico-químicas da água percolada e da água da albufeira. Lisboa.

LNEC (1993) - Especificação E378. Betões. Guia para a utilização de ligantes hidráulicos. Lisboa.

LNEC (1992) - Compilação de catálogos sísmicos da região Ibérica. Lisboa.

Hidrorumo (1999) - Remodelação da barragem da Póvoa. Estudo Prévio.

Hidrorumo (1998) - Aproveitamento hidroelétrico da ribeira de Nisa. Barragem da Póvoa. Relatório da caracterização geológica e geotécnica do pé de jusante do maciço de fundação.

Mendes, A. S. (1971) - Seismic zoning map of Portugal. XII Assemblé Generale de la Commission Seismologique Européene. Luxembourg.

Oliveira, C.S. (1986) - A sismicidade histórica e a revisão do Catálogo Sísmico. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Oliveira, C.S.(1977) - Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

RODIO (1997) - Aproveitamento Hidroelétrico da Ribeira de Nisa - barragem da Póvoa. Execução de furos de sondagem e reabilitação de drenos. Abrunheira.

Serviços Geológicos de Portugal (1995) - Carta neotectónica de Portugal.

Serviços Geológicos de Portugal (1989) - Carta geológica de Portugal ; Folha 28/D (Castelo da Vide).