

Contributo do LNEC nos estudos de apoio ao projeto recente de doze grandes barragens de betão

Carlos Pina¹

José Vieira de Lemos²

Luís Nolasco Lamas³

António Lopes Batista⁴

Teresa Viseu⁵

RESUMO

Apresentam-se os aspetos relevantes dos estudos realizados pelo LNEC no apoio ao projeto recente de doze grandes barragens de betão, todas integradas nos novos aproveitamentos hidroelétricos. A intervenção do LNEC envolveu um vasto conjunto de atividades, nomeadamente: o estudo dos maciços rochosos de fundação, incluindo ensaios de campo e laboratório; os estudos em modelo matemático para análise da segurança estrutural, considerando, em particular, as ações sísmicas e os cenários de degradação do betão e de rotura pela fundação; ensaios em modelo físico dos sistemas hidráulicos; e elaboração de planos de observação (Quadro 1).

Quadro 1 – Estudos realizados pelo LNEC no apoio ao projeto recente de doze grandes barragens de betão

Barragem	Tipo estrutural	Altura (m)	Caraterização geomecânica do local de implantação	Análise de cenários correntes e de rotura	Elaboração do plano de observação	Ensaio em modelo físico de sistemas hidráulicos
Alto Ceira	Abóbada	41,00	X	X	-	X
Baixo Sabor (montante)	Abóbada	123,00	X	X	-	X
Baixo Sabor (jusante)	Gravidade	45,00	X	X	-	X
Ribeiradio	Arco-gravidade	83,00	X	X	-	X
Foz Tua	Abóbada	108,00	X	X	-	X
Fridão (montante)	Abóbada	98,00	X	X	-	X
Fridão (jusante)	Gravidade	34,00	X	-	-	X
Alvito	Gravidade	89,00	X	X	X	X
Alto Tâmega	Abóbada	106,50	X	X	X	X
Daivões	Arco-gravidade	77,50	X	X	X	X
Gouvães	Gravidade	30,00	X	-	X	-
Girabolhos	Abóbada	105,50	X	X	X	X

Os estudos foram realizados diretamente para os concessionários ou para as empresas encarregues da elaboração dos projetos.

Palavras-chave: barragens de betão, projeto, maciços rochosos, cenários correntes e de rotura, plano de observação, ensaios hidráulicos

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, cpina@lnec.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, vlemos@lnec.pt

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, llamas@lnec.pt

⁴ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, a.l.batista@lnec.pt

⁵ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, tviseu@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

Aaaa

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS APROVEITAMENTOS

Aaaa



	Barragem	Rio
1	Alto Ceira	Ceira
2	Baixo Sabor (montante)	Sabor
3	Baixo Sabor (jusante)	Sabor
4	Ribeiradio	Vouga
5	Foz Tua	Tua
6	Fridão (montante)	Tâmega
7	Fridão (jusante)	Tâmega
8	Alvito	Ocreza
9	Alto Tâmega	Tâmega
10	Daivões	Tâmega
11	Gouvães	Torno/Tâmega
12	Girabolhos	Mondego

Figura 1 – Localização das 12 barragens estudadas

As barragens de Foz Tua, Fridão, Alvito, Alto Tâmega, Daivões, Gouvães e Girabolhos foram concessionadas no âmbito do Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), em concurso promovido em 2008.

Barragem	Tipo	Altura (m)	Volume da albufeira (hm ³)	Potência a instalar (MW)	Concessionário
Alto Ceira	Abóbada	41,00		-	EDP
Baixo Sabor (montante)	Abóbada	123,00	1095,0		
Baixo Sabor (jusante)	Gravidade	45,00		30,6	
Ribeiradio	Arco-gravidade	83,00	136,4	72,0	
Foz Tua	Abóbada	108,00	106,1	262,0	
Fridão (montante)	Abóbada	98,00	195,5		
Fridão (jusante)	Gravidade	34,00	5,3	-	
Alvito	Gravidade	89,00	425,0		
Alto Tâmega	Abóbada	106,50	131,7	160,0	
Daivões	Gravidade	77,50	56,0	114,0	
Gouvães	Gravidade	30,00	13,7	880,0	
Girabolhos	Abóbada	105,50	143,0	354,8	ENDESA

3. CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS

Aaaaa

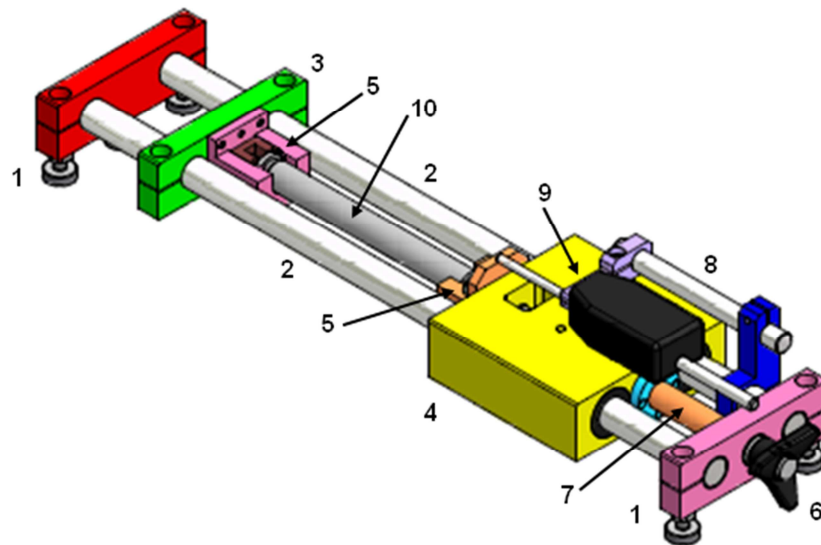


Figura 4 – Esquema geral

4. ANÁLISE DE CENÁRIOS CORRENTES E DE ROTURA

Aaaaa

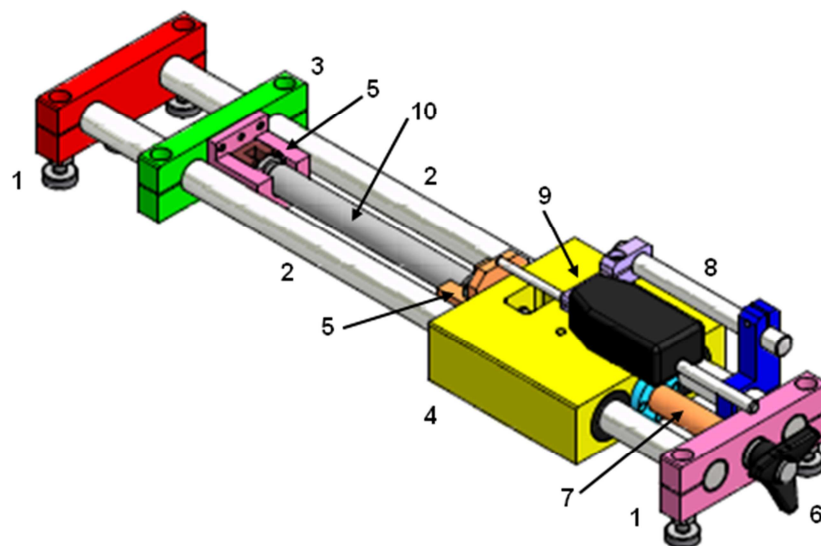


Figura 4 – Esquema geral da nova prensa de calibração de dispositivos de resistência eléctrica do tipo Carlson

5. PLANOS DE OBSERVAÇÃO DAS BARRAGENS

Os planos de observação das barragens do Alvito, Alto Tâmega, Daivões, Gouvães e Girabolhos foram elaborados pelo LNEC tendo em consideração as características das obras e a regulamentação portuguesa de segurança de barragens (RSB, 2007; NOIB, 1993). Na definição dos planos houve uma interação significativa com os concessionários, nomeadamente no que respeitou às experiências específicas nos domínios da instrumentação, observação e controlo de segurança de obras similares.

Os planos de observação incluíram a definição dos sistemas de observação e dos critérios da sua exploração, bem como o planeamento genérico das visitas de inspeção, visando a avaliação das condições de segurança das obras durante as suas fases de vida, nomeadamente a construção, primeiro enchimento da albufeira e exploração. Referem os estudos específicos de caracterização das propriedades mecânicas dos materiais das barragens e suas fundações, bem como os meios utilizados na recolha, arquivo e tratamento dos resultados das observações, assim como a forma como a interpretação do comportamento estrutural e hidráulico das obras deverá ser feita com vista ao controlo da segurança.

Foi considerada a redundância na medição de deslocamentos absolutos e relativos das estruturas e das fundações, dada a sua importância na auscultação do comportamento das obras. Assim, os deslocamentos planimétricos das estruturas serão observados por meio de fios de prumo e por métodos geodésicos. Quanto aos deslocamentos relativos entre blocos, a medição de movimentos de abertura/fecho de juntas será realizada com medidores de juntas (dispositivos de resistência elétrica embebidos no betão) e através de dispositivos superficiais, a instalar nas galerias, que permitem observar, para além dos referidos movimentos, os deslizamentos verticais e os de direção montante-jusante.

Nas barragens abóbada, para a medição direta de tensões considerou-se a instalação de um número reduzido de células tensométricas, dada a sua pequena fiabilidade. No entanto, as observações a efetuar nos grupos de extensómetros de resistência elétrica, associadas ao conhecimento das propriedades reológicas do betão que as células de fluência e os ensaios previstos deverão proporcionar, permitirão uma estimativa das tensões com aproximação suficiente.

No Quadro 9 apresenta-se, para cada uma das barragens, uma síntese das grandezas a observar e os tipos de dispositivos previstos para esse efeito.

Quadro 9 – Tipos de dispositivos de observação considerados nas barragens

Grandezas	Método ou dispositivo	Barragem / Tipo estrutural e altura				
		Alvito	Alto Tâmega	Daivões	Gouvães	Girabolhos
		Gravidade em BCC, 89,00 m	Abóbada, 106,50 m	Arco-gravidade, 77,50 m	Gravidade, 30,00 m	Abóbada, 105,50 m
Pressão hidrostática	Escalas de níveis e limnímetros	X	X	X	X	X
Subpressões na fundação	Piezómetros com tomada manométrica	X	X	X	X	X
Temperatura e humidade do ar e precipitação	Estação meteorológica (termómetro, higrómetro e udómetro)	X	X	X	X	X
Temperaturas do betão	Termómetros de resistência elétrica	X	X	X	X	X
Pressões da água no betão	Medidores de pressão	X	-	-	-	-
Deslocamentos da	Geodesia (triangulação planimétrica e nivelamento geomé-	X	X	X	X	X

Contributo do LNEC nos estudos de apoio ao projeto recente de doze grandes barragens de betão

estrutura	trico de precisão)					
	Fios de prumo direitos e invertidos	X	X	X	X	X
Deslocamentos da fundação	Extensómetros de varas	X	X	X	X	X
Movimentos de juntas	Medidores de movimentos de juntas de resistência elétrica	X	X	X	-	X
	Bases tridimensionais	X	X	X	X	X
Extensões no betão	Extensómetros de resistência elétrica	X	X	X	-	X
Tensões no betão	Células tensométricas	-	X	-	-	X
Deformabilidade do betão	Ensaio laboratoriais	X	X	X	X	X
	Células de fluência	-	X	X	-	X
Acelerações dinâmicas	Acelerómetros triaxiais	X	X	X	-	X
Caudais drenados e infiltrados	Drenos e bicas totalizadoras	X	X	X	X	X
Inspeções visuais	Rotina, especialidade e excepcional	X	X	X	X	X
Análise das águas da albufeira e drenadas	Análises físicas e químicas	X	X	X	X	X

6. ENSAIOS EM MODELO FÍSICO DE ÓRGÃOS HIDRÁULICOS

A análise do comportamento do escoamento em estruturas hidráulicas com base na modelação física é uma peça imprescindível para o dimensionamento destas estruturas. Os estudos em modelo físico visam essencialmente analisar as condições de funcionamento hidráulico e caracterizar as ações hidrodinâmicas que atuam sobre as fronteiras sólidas do escoamento em descarregadores de cheias, descargas de fundo, tomadas de água e circuitos hidráulicos. Na grande maioria dos casos, estes estudos em modelo físico permitem definir formas alternativas ao projeto com um melhor desempenho hidráulico ou, mantendo este desempenho, representando uma maior economia de construção.

Atualmente, estão a ser conduzidos no LNEC vários estudos em modelo físico de aproveitamentos inseridos no Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico, nomeadamente os relativos aos descarregadores dos aproveitamentos de Foz Tua (neste caso está, igualmente, em fase de ensaio o circuito de produção de energia), Daivões e Alto Tâmega. Prevê-se a curto prazo o início do estudo em modelo reduzido dos descarregadores de Girabolhos e de Fridão (escalões de montante e jusante). Os estudos em modelo físico dos órgãos hidráulicos dos descarregadores do Alto Ceira, Baixo Sabor (escalões de montante e jusante) e Ribeiradio estão terminados (Figura 5).

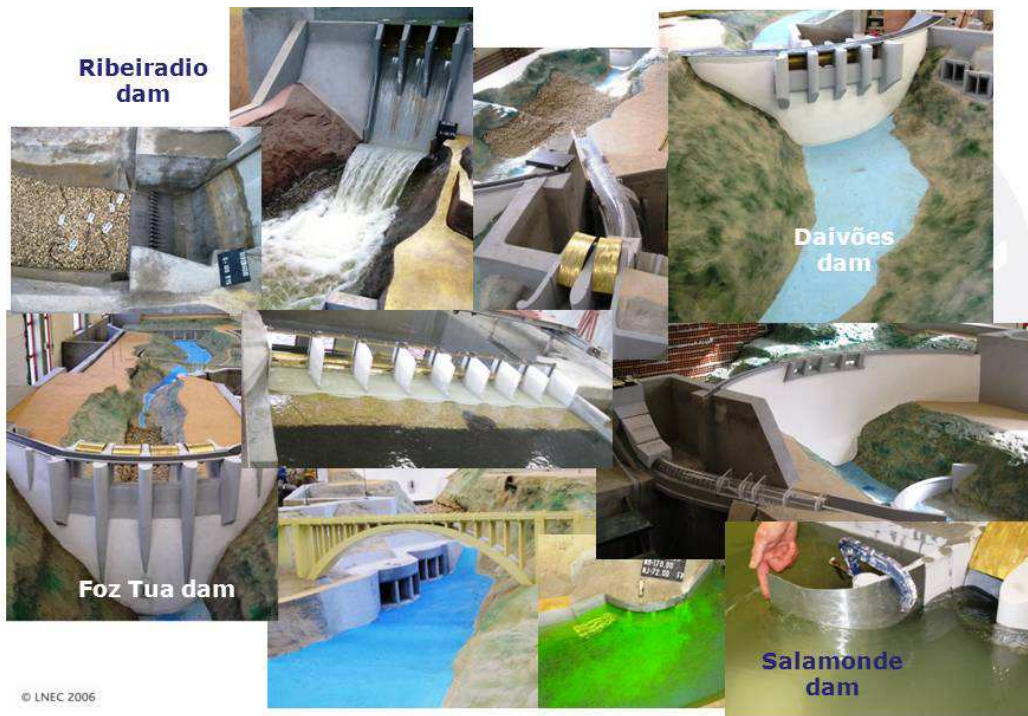


Figura 5 – Modelos físicos de descarregadores atualmente em fase de ensaio no LNEC

As características dos descarregadores destas barragens encontram-se sumarizadas no **Quadro 10**, verificando-se que estas são muito diferentes. Desta forma, os estudos foram conduzidos em função da especificidade de cada uma das soluções testadas mas, envolveram, de uma forma geral, os seguintes aspetos:

- análise das condições de chegada e do escoamento sobre soleiras descarregadoras bem como melhoria de capacidade de vazão por eliminação de eventuais contrações introduzidas por pilares e muros-guia;
- determinação do campo de pressões sobre soleiras descarregadoras;
- determinação de curvas de vazão (com abertura total e, eventualmente, parcial das comportas) e definição da lei de abertura das mesmas;
- caracterização do campo de pressões (médias e flutuações) nas fronteiras sólidas com o escoamento, nomeadamente em bacias de impacto;
- determinação do alcance de jatos descarregados;

- análise do funcionamento e melhoria da eficiência de soluções de dissipação de energia (bacias dissipação por ressalto hidráulico ou de impacto, saltos de esqui e conchas por rolos);
- estudo das erosões a jusante e medições de velocidades na restituição de caudais.

Quadro 10 – Características gerais dos descarregadores ensaiados no LNEC

Barragem	Tipo descarga e solução de dissipação	Caudal de projeto	Descrição do descarregador	Rio
Alto Ceira	Lamina livre e 3 bacias (no talvegue e nas encostas)	200	Descarregador frontal com sete vãos sem comportas	Ceira
Baixo Sabor (montante)	Lâmina livre e bacia de impacto	5000	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Sabor
Baixo Sabor (jusante)	Lâmina guiada e roller bucket	5000	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Sabor
Ribeiradio	Lâmina guiada e concha de rolo com blocos	2750	Descarregador frontal equipado com 3 comportas	Vouga
Foz Tua	Lâmina livre e bacia de impacto	5500	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Tua
Fridão (montante)	Lâmina livre e bacia de impacto	4000	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Tâmega
Fridão (jusante)	Lamina guiada e bacia de dissipação	4100	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Tâmega
Alto Tâmega (descarregador principal)	Galeria na margem esquerda e salto de esqui	1510	Descarregador frontal equipado com 3 comportas	Tâmega
Daivões	Lamina guiada e bacia de dissipação	2944	Descarregador frontal equipado com 4 comportas	Tâmega
Girabolhos	Canal na marge direita e salto de esqui	1166	Descarregador lateral não controlado	Mondego

7. CONCLUSÕES

8. AGRADECIMENTOS

9. REFERÊNCIAS

[1] RSB.

- [2] NOIB.
- [2] LNEC – Plano de observação da barragem do Alvito. Relatório 428/2010 – NO, Lisboa, 2010.
- [2] LNEC – Barragem do Alto Tâmega. Planos de observação e de primeiro enchimento da albufeira. Relatório 52/2011 – NO, Lisboa, 2011.
- [2] LNEC – Barragem de Daivões. Planos de observação e de primeiro enchimento da albufeira. Relatório 53/2011 – NO, Lisboa, 2011.
- [2] LNEC – Barragem de Gouvães. Planos de observação e de primeiro enchimento da albufeira. Relatório 54/2011 – NO, Lisboa, 2011.
- [2] LNEC – Barragem de Girabolhos. Planos de observação e de primeiro enchimento da albufeira. Relatório 201/2011 – NO, Lisboa, 2011.