

MELHORAMENTOS RECENTES NO PROJETO E INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA EM BARRAGENS DE BETÃO

Carlos Serra

Departamento de Barragens de Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

António Lopes Batista

Departamento de Barragens de Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Nuno Monteiro Azevedo

Departamento de Barragens de Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil



RESUMO

A presente comunicação descreve as características gerais das instalações experimentais *in situ* para a determinação da deformabilidade do betão de barragens, habitualmente designadas por células de fluência, e os melhoramentos realizados nos últimos anos no seu projeto e instalação.

As células de fluência são provetes de betão embebidos no corpo das barragens para a execução de ensaios de determinação do módulo de elasticidade ao longo do tempo e da função de fluência nas condições termo-higrométricas da obra.

Nos últimos anos têm sido feitos vários desenvolvimentos no projeto e instalação deste tipo de dispositivos, com aplicação nas barragens do Baixo Sabor, em 2012, Ribeiradio, em 2013, e Foz Tua, em 2014.

Palavras-chave: Ensaios de fluência / Ensaios *in situ* / Células de fluência / Instalação experimental

1. INTRODUÇÃO

O betão em massa constitui o principal material utilizado na construção de barragens de betão. Contudo, o conhecimento do seu comportamento é ainda incompleto, principalmente no que diz respeito à evolução da deformabilidade e da resistência ao longo do tempo. O

betão em massa corresponde, segundo o *American Concrete Institute* (ACI), a qualquer volume de betão cujas dimensões impliquem medidas de controlo da geração do calor de hidratação do cimento e dos seus efeitos, nomeadamente para minimização da fendilhação (ACI Commitee 207, 2005). Neste sentido, o conhecimento da evolução da deformabilidade e da resistência ao longo do tempo deste material é importante para a determinação das tensões, na avaliação da ocorrência de fendilhação e na análise do comportamento e das condições de segurança das obras ao longo do tempo.

O betão integral das barragens corresponde ao betão proveniente diretamente da produção industrial em massa, sendo que a dimensão máxima dos agregados pode atingir 150 mm. Trata-se de um betão com características macroscópicas distintas dos betões utilizados em outras obras de engenharia civil, designadamente em edifícios e pontes. No caso em que a dimensão dos dispositivos de observação embebidos não é compatível com a máxima dimensão do agregado do betão integral, opta-se por envolver os aparelhos em betão crivado. O betão crivado é obtido do betão integral por crivagem dos agregados em fresco, isto é, os agregados com dimensão superior a um determinado valor são retirados da massa de betão (em geral, 38 mm). Dada a dimensão requerida para os provetes de betão integral, os ensaios de determinação das propriedades mecânicas deste tipo de betão são de difícil execução, sendo que o controlo de qualidade e a caracterização das propriedades do material é feito, maioritariamente, com provetes de betão crivado. Contudo, o betão integral e os correspondentes betões crivados são materiais com características e propriedades diferentes, já que as dosagens dos componentes são distintas.

A caracterização da evolução da deformabilidade de betão de barragens consiste usualmente na determinação dos valores de módulo de elasticidade a várias idades e da determinação da função de fluência dos betões integral e crivado, que, em conjunto com a caracterização da resistência do betão efetuada através dos ensaios destrutivos correntes, permitem avaliar as propriedades reológicas do material. A caracterização deste tipo de betão pode passar pela instalação de células de fluência de betão integral, a partir das quais se poderão determinar os módulos de elasticidade a qualquer idade e obter diretamente a função de fluência. Uma célula de fluência consiste num provete cilíndrico de betão incorporado no interior da barragem, isolado dos campos de tensões da estrutura, sujeito a um carregamento controlado por um sistema de carga.

Nesta comunicação apresentam-se as soluções adotadas para a instalação de células de fluência nas barragens portuguesas, desde o sistema tradicional utilizando moldes metálicos e um sistema de carga não acessível até ao sistema atual utilizando moldes de EPS

(Expanded PolyStyrene, Poliestireno expandido), vulgo esferovite, e um sistema de carga acessível para eventuais reparações e substituições. As alterações de moldes e de sistema de carga foram implementadas progressivamente, primeiro nas barragens do Baixo Sabor e de Ribeiradio e posteriormente na barragem de Foz Tua, e apresentam algumas vantagens face à solução tradicional. No final da comunicação apresentam-se alguns resultados referentes a cada uma das soluções instaladas e são retiradas conclusões sobre as vantagens e desvantagens de cada sistema.

É também apresentada uma tabela resumo com as características das células de fluência instaladas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ao longo das últimas 5 décadas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMABILIDADE DO BETÃO ATRAVÉS DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA

2.1. Objetivos

As células de fluência constituem uma técnica específica de caracterização do comportamento diferido do betão. Cada célula é constituída por um provete cilíndrico de betão inserido no corpo da barragem, de modo a estar sujeito às mesmas condições termo-higrométricas, mas isolado do seu campo de tensões. Através de um macaco plano, acionado por um sistema de carga, pode aplicar-se ao provete uma tensão normal, sendo a correspondente extensão medida, no seu interior, através de extensómetros embebidos. Com este sistema podem realizar-se ensaios de deformabilidade instantânea, para avaliação do módulo de elasticidade, ou ensaios de fluência, mantendo a tensão constante no tempo.

Os moldes a utilizar devem permitir que haja continuidade entre uma extremidade do provete (em geral, o topo) e o betão estrutural da barragem, sendo que o próprio corpo da barragem serve de apoio ao provete e de reação às forças aplicadas. A outra extremidade (em geral, o topo) deve permitir a colocação de uma almofada, do tipo macaco plano (*flat-jack*), para aplicação de uma pressão uniforme em toda a base.

A medição das deformações é realizada através de extensometria embebida, pois constitui a única possibilidade viável para a medição das extensões. A colocação dos extensómetros no interior do provete deverá ser feita com o cuidado necessário para garantir a posição, a verticalidade e a integridade do aparelho.

Para cada célula instalada com sistema de carga, designada por célula ativa, existe uma célula corretora correspondente, executada com as mesmas dimensões e com o mesmo tipo de betão, sendo instrumentada de forma a medir as deformações livres.

Como referido, neste tipo de ensaio garante-se a determinação das propriedades de deformabilidade do betão estrutural em condições de cura e de endurecimento semelhantes às da obra.

2.2. Evolução dos moldes

2.2.1. Moldes metálicos

Nas células de fluência das barragens de Fronhas, Torrão, Funcho, Alto Lindoso e Alqueva, entre outras, a separação física entre os provetes e o corpo da barragem é obtida através de um balde de latão de parede dupla, criando-se uma câmara vazia em torno do provete (Fig. 1).

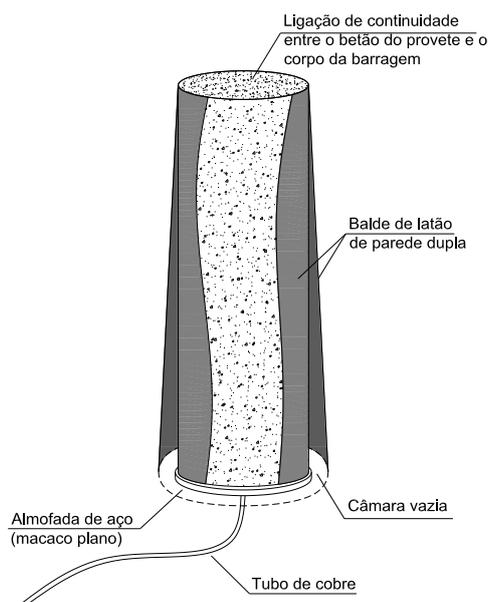


Fig. 1 – Esquema das células de fluência com moldes metálicos

A Fig. 2 mostra as dimensões usualmente utilizadas nos provetes, em função da máxima dimensão do agregado, podendo notar-se que são respeitados, genericamente, os critérios gerais para as dimensões dos provetes e para a dimensão da base de medida (RILEM TC 107 1995).

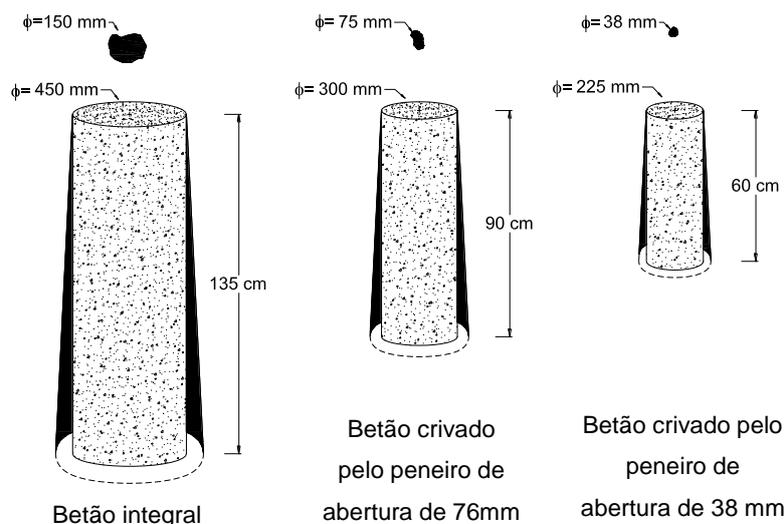


Fig. 2 – Dimensões usuais das células de fluência com moldes metálicos e correspondente máxima dimensão do agregado

As células de menores dimensões permitem o ensaio de betões crivados por peneiros de diferentes aberturas. Usualmente, o betão crivado pelo peneiro de 75 mm (crivado #76) é usado numa célula intermédia, que tem diâmetro de 300 mm, e o betão crivado pelo peneiro de 38 mm (crivado #38) é colocado numa célula com diâmetro de 225 mm.

2.2.2. Moldes de EPS

O sistema de células de fluência com moldes metálicos, atrás descrito, foi melhorado em 2012 para as aplicações nas barragens do Baixo Sabor e de Ribeiradio, tendo sido introduzidas alterações no tipo de moldes e na dimensão dos provetes, bem como na instrumentação utilizada e no sistema de carga. Estes melhoramentos deveram-se a algumas dificuldades e incertezas com as células de fluência de barragens em exploração. No sentido de reduzir o efeito da rigidez do molde perdido na rigidez total do provete, de minimizar os custos associados à construção do molde e de melhorar a transmissão de força para o provete, foi implementada uma solução alternativa para os moldes. A solução consiste na utilização de um tubo em poliestireno expandido (expanded polystyrene, EPS), que permite a obtenção de formas cilíndricas com as dimensões pretendidas a um custo inferior ao do latão e a eliminação da rigidez do molde.

As classes de EPS escolhidas foram EPS 150 na barragem do Baixo Sabor, com massa volúmica de 25 kg/m^3 , módulo de elasticidade a 2% de deformação de 1,75 MPa e resistência à compressão a 10% de deformação igual a 150 kPa, e EPS 100 na barragem de Ribeiradio, com massa volúmica de 20 kg/m^3 , módulo de elasticidade a 2% de deformação de 1,5 MPa e resistência à compressão a 10% de deformação igual a 100 kPa

(LNEC 2013). As propriedades mecânicas garantiam a rigidez e resistência dos moldes necessárias durante o transporte até ao local, durante a instalação dos extensómetros no seu interior e durante a betonagem. Os moldes foram reforçados com cintas metálicas ao longo da altura do provete para evitar a abertura do molde durante a betonagem.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores percentuais da rigidez axial do balde de latão em relação à rigidez total dos provetes. Pode concluir-se que, para as idades mais jovens e para a célula de betão crivado, a influência da rigidez do balde metálico é significativa. Considera-se que a rigidez do molde de EPS é desprezável face à rigidez do provete de betão.

Tabela 1 – Influência da rigidez do balde de latão no conjunto de cada célula de fluência

		Célula de betão integral	Célula de betão crivado
$E_{\text{latão}} \approx 100 \text{ GPa}$	$E_{\text{betão}} = 15 \text{ GPa}$	2,9%	5,6%
	$E_{\text{betão}} = 30 \text{ GPa}$	1,5%	2,9%

A alteração do molde implicou um ajuste do sistema de aplicação da carga ao provete. Na solução com moldes metálicos, este sistema consistia numa almofada de aço (macaco plano) que era colocada na zona inferior do provete e estava diretamente em contacto com a base do molde. A solução melhorada consiste num conjunto de chapas rígidas de reação (placas de interface), inferior e superior à almofada, que permitem uma uniformização da pressão e que estão diretamente em contacto com o betão (Fig. 3).

No sentido de avaliar a uniformidade da aplicação da pressão do óleo para o provete, através da almofada, o que é especialmente importante nos provetes de maior dimensão, optou-se, nesta nova solução, por embeber três extensómetros A20 do tipo Carlson no provete de betão integral, dispostos radialmente e igualmente espaçados. Para acomodar os três extensómetros e aumentar a relação entre a dimensão da secção transversal do provete e a máxima dimensão dos agregados do betão integral (150 mm), optou-se por construir moldes de EPS com 48 cm de diâmetro e 150 cm de altura, em detrimento das dimensões utilizadas nos moldes metálicos (45 cm de diâmetro e 135 cm de altura). As dimensões dos restantes provetes não foram alteradas (Fig. 4). A espessura dos moldes cilíndricos de EPS para os três tipos de provetes foi de 100 mm. Os procedimentos e recomendações para a instalação de células de fluência e a para a realização de ensaios estão detalhados em (LNEC 2013).

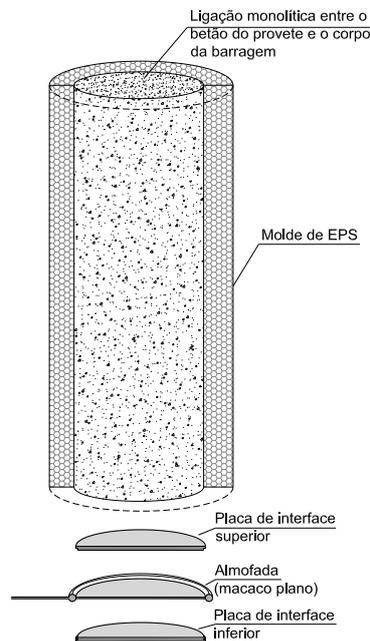


Fig. 3 – Esquema das células de fluência com moldes de EPS, incluindo o sistema de carga embebido

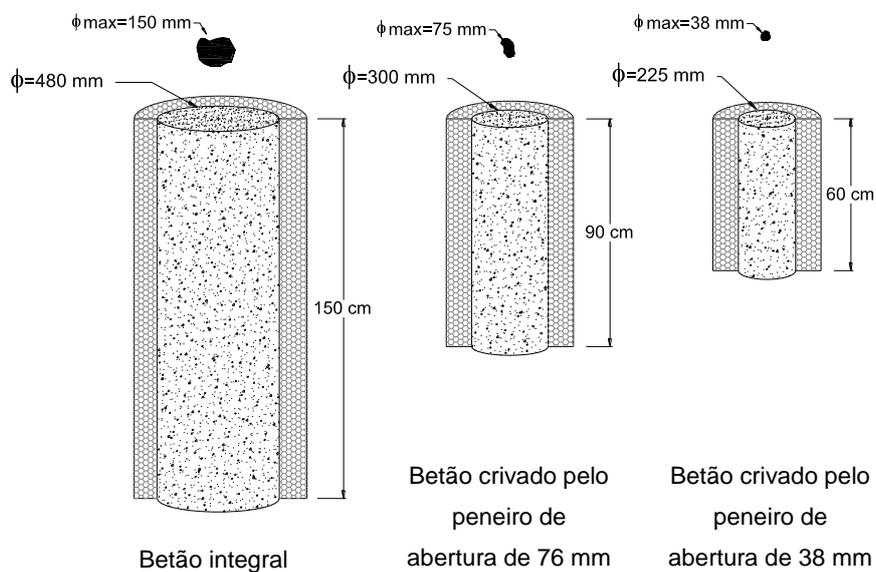


Fig. 4 – Dimensões das células de fluência (sistema melhorado) e correspondente dimensão máxima do agregado

2.3. Evolução do sistema de carga

2.3.1. Macacos planos não acessíveis

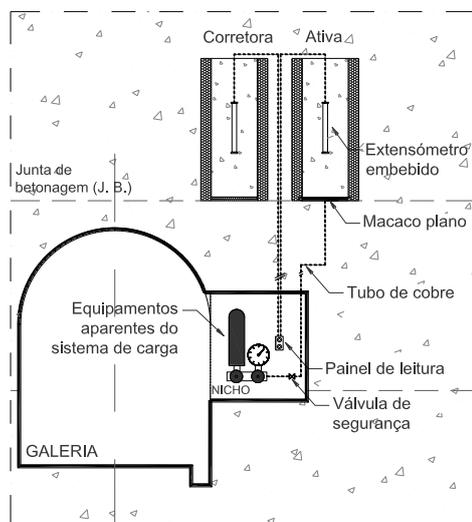
As células de fluência instaladas nas barragens do Baixo Sabor e de Ribeiradio encontram-se duas camadas acima de uma galeria, garantindo que os provetes estão envolvidos pelo

betão estrutural (Fig. 5 a). O sistema de carga associado a cada célula consiste num circuito fechado que regula a pressão aplicada sob a base do provete cilíndrico através de um macaco plano de aço ligado por um tubo de cobre ao sistema de carga exterior, que é acessível. A pressão é mantida constante através da regulação de óleo hidráulico e azoto no sistema. A mistura de óleo hidráulico e azoto encontra-se armazenada em pressão numa botija ligada ao macaco plano por intermédio de tubos de cobre, colocada num nicho próximo da célula. Este dispositivo permite, por um lado, introduzir variações de pressão suficientemente rápidas para efetuar ensaios de módulo de elasticidade, realizar ensaios de grande duração mantendo a pressão constante e compensar as perdas de carga derivadas da fluência do betão e eventuais pequenas fugas de óleo.

2.3.2. Macacos planos acessíveis

A instalação de células de fluência na barragem de Foz Tua permitiu introduzir uma segunda adaptação no sistema de carga. Esta adaptação consistiu na instalação das células de fluência ao nível da galeria, de forma a ser possível o acesso à base da célula e, caso seja necessário, proceder à substituição do sistema de carga “embebido” (macaco plano) (Fig. 6 b). Esta alteração, realizada no sentido de permitir a substituição do macaco plano de cada uma das células ativas, implica a instalação de todo o sistema na mesma camada de betão, a utilização de uma tubagem flexível em detrimento da tubagem de cobre para a ligação ao macaco plano, uma redução de cabo elétrico para leitura dos extensómetros do tipo Carlson e a construção de um nicho de maiores dimensões. A ligação aos macacos planos é feita através de um negativo em EPS, deixado durante a betonagem, que permite a ligação entre a base das células ativas e o nicho da galeria. Em termos práticos, após endurecimento do betão e a descofragem do nicho, esse negativo é destruído, permitindo o acesso direto ao macaco plano. O acesso aos macacos planos implicou também o acesso do oxigénio a peças que anteriormente estavam isoladas, daí que tenha sido efetuada a proteção do sistema da corrosão através de uma metalização por projeção térmica de zinco seguida de pintura.

O sistema de observação da barragem de Foz Tua inclui dois conjuntos de células de fluência, cada um com uma célula de fluência de betão integral e uma célula de fluência de betão crivado pelo peneiro com abertura de 38 mm. Nas Fig. 6 a) e b) apresentam-se o esquema de colocação das células de fluência e o sistema de carga localizado no nicho da galeria, respetivamente.

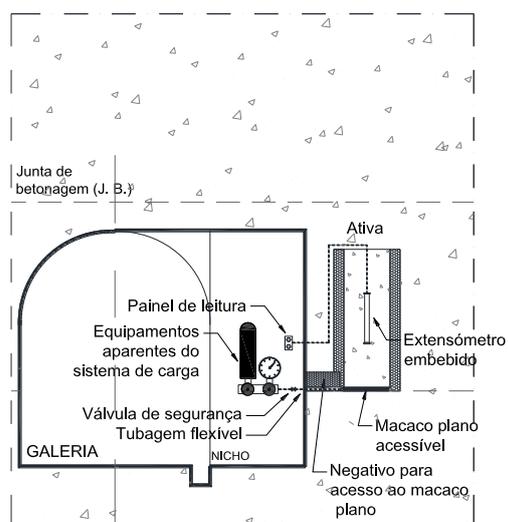


a) Células de fluência com sistema de carga não acessível



b) Posicionamento dos macacos planos não acessíveis

Fig. 5 – Instalação de células de fluência na barragem do Baixo Sabor (moldes de EPS e macacos planos não acessíveis)



a) Células de fluência com sistema de carga acessível



b) Sistema de carga das células de fluência instaladas na barragem de Foz Tua

Fig. 6 – Instalação de células de fluência na barragem de Foz Tua (moldes de EPS e macacos planos acessíveis)

2.4. Síntese das células de fluência instaladas pelo LNEC

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se as principais características das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC ao longo dos últimos 50 anos. No total foram instalados 57 grupos de células, 50 grupos com a solução tradicional de moldes metálicos e macacos planos não acessíveis, 5 grupos com a solução de moldes de EPS e macacos

planos não acessíveis e 2 grupos com a solução de moldes de EPS e macacos planos acessíveis.

Tabela 2 – Características das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC (1/2)

Barragem	Ano	Número de grupos de células de fluência	Tipo de betão das células	Tipo de moldes	Tipo de macaco plano	Tipo e número de extensómetros	Referências
<i>Carrapatelo</i>	1967	2 (junto a grupos de extensómetros, com corretor comum)	Crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral	(LNEC, 1966) e esquemas de colocação LNEC
	1968					3	
<i>Vilarinho das Furnas</i>	1970	2	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	(LNEC, 1968) e esquemas de colocação LNEC
<i>Rêgua</i>	1970	2	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	(LNEC, 1970) e esquemas de colocação LNEC
<i>Cahora Bassa</i>	1974	2	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	(LNEC, 1972; LNEC, 1978)
<i>Crestuma</i>	1982	1	Integral e crivado ¹	Metálicos	Não acessível	2 extensómetros Kyowa de 25 cm (10") dispostos longitudinalmente na célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") nas células crivadas	(LNEC, 1984; LNEC, 2003) e esquemas de colocação LNEC
<i>Fronhas</i>	1983	2	Integral e crivado pelo peneiro de 75 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	(LNEC, 1987) e folhas de registo das leituras

Notas: Todos os extensómetros utilizados são de resistência elétrica, do tipo Carlson; EPS – Poliestireno expandido

¹ Informação sobre a dimensão do peneiro utilizado na crivagem não se encontra disponível.

Tabela 3 – Características das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC (2/2)

Barragem	Ano	Número de grupos de células de fluência	Tipo de betão das células	Tipo de moldes	Tipo de macaco plano	Tipo e número de extensómetros	Referências
<i>Torrão</i>	1985	12	Integral e crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral	(LNEC, 1985; Pinho, 1989) e esquemas de colocação LNEC
	1986	1 célula dupla ²	Crivado pelo peneiro de 38 mm			1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	
<i>Funcho</i>	1988	3	Integral, crivado pelo peneiro de 76 mm, crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral	(LNEC, 1986a) e esquemas de colocação LNEC
		1 célula dupla ¹	Integral			1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	
<i>Alto Lindoso</i>	1988 - 1989	6	Integral, crivado pelo peneiro de 76 mm e crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral 1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") nas restantes células	(LNEC, 1986b) e esquemas de colocação LNEC
<i>Alqueva</i>	1998 - 2002	13	Integral e crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	Não acessível	1 extensómetro RST de 50 cm (20") em cada célula de betão integral	(LNEC, 1997) e esquemas de colocação LNEC
<i>Baixo Sabor</i>	2012	3	Integral, crivado pelo peneiro de 76 mm e crivado pelo peneiro de 38 mm	EPS	Não acessível	3 extensómetros RST de 50 cm (20") nas células ativas de betão integral 1 extensómetro RST de 25 cm (10") nas restantes células	(EDP, 2007; LNEC, 2008) e esquemas de colocação LNEC
<i>Ribeiradio</i>	2013	2	Integral, crivado pelo peneiro de 76 mm e crivado pelo peneiro de 38 mm	EPS	Não acessível	3 extensómetros RST de 50 cm (20") nas células ativas de betão integral 1 extensómetro RST de 25 cm (10") nas restantes células	(COBA, 2009; LNEC, 2010) e esquemas de colocação LNEC
<i>Foz Tua</i>	2014	2	Integral e crivado pelo peneiro de 38 mm	EPS	Acessível	1 extensómetro RST de 50 cm (20") nas células ativas de betão integral 1 extensómetro RST de 25 cm (10") nas restantes células	(LNEC 2015 e 2015a) e esquemas de colocação LNEC

Notas: Todos os extensómetros utilizados são de resistência elétrica, do tipo Carlson; EPS – Poliestireno expandido

² Uma célula dupla consiste na sobreposição de duas células intercaladas por um macaco plano.

3. ALGUNS RESULTADOS OBTIDOS NAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA DAS BARRAGENS DE ALQUEVA, BAIXO SABOR E FOZ TUA

De seguida apresentam-se alguns resultados dos ensaios de fluência realizados em três barragens, utilizando os três tipos de instalação, designadamente na barragem de Alqueva, com o sistema com moldes metálicos e macacos planos não acessíveis, na barragem do Baixo Sabor, com o sistema com moldes de EPS e macacos planos não acessíveis, e na barragem de Foz Tua, com o sistema com moldes de EPS e macacos planos acessíveis.

O sistema tradicional utilizado até à barragem de Alqueva revelou ter uma taxa de sucesso reduzida já que, das 26 células instaladas (de betão integral e crivado), apenas 17 ainda se encontram operacionais. A principal razão para o não funcionamento das células é a fuga de óleo no sistema. Foi a análise dos resultados dos ensaios de fluência do betão da barragem de Alqueva que motivou a alteração do tipo de moldes, devido aos elevados valores de módulo de elasticidade obtidos em algumas células (Fig. 7).

A instalação das células de fluência na barragem do Baixo Sabor permitiu uma melhor adaptação, não só do tipo de moldes utilizados, mas também de todo o sistema de carga, principalmente no que diz respeito ao tipo de macaco plano e às placas de interface para a transmissão de pressão ao provete de betão. A utilização de moldes com rigidez muito reduzida e de menor custo revelou-se uma boa solução tendo-se obtido resultados mais fiáveis (Fig. 8). A utilização deste tipo de moldes obrigou a uma adaptação do macaco plano não acessível, mais fácil de executar e mais resistente a ciclos de carga e descarga. A taxa de sucesso na instalação das células de fluência da barragem do Baixo Sabor é de 78%, já que duas células de betão crivado pelo peneiro de 38 mm de abertura não estão operacionais devido a fugas de óleo no sistema de carga, apesar de terem sido realizados e bem-sucedidos testes em laboratório com ciclos de carga e descarga até à carga máxima de serviço.

As fugas no sistema de carga motivaram a adaptação realizada na instalação das células de fluência, de modo a permitir uma eventual reparação ou substituição de todo o sistema de carga, tendo-se tornado acessível base das células de fluência através de uma abertura. Esta adaptação permitiu também inferir sobre as condições dos macacos planos em sistemas embebidos não acessíveis. Contudo, devido ao facto de as células estarem próximas da galeria de visita, a temperatura medida no betão é influenciada pela temperatura da galeria e, por sua vez, as extensões medidas ao longo do tempo também são afetadas (Fig. 9). Ao invés, as montagens anteriores com macacos planos não

acessíveis localizam-se cerca de 2 a 3 m acima da galeria de visita e encontram-se completamente envolvidas pelo betão em massa, daí que essa influência seja menor.

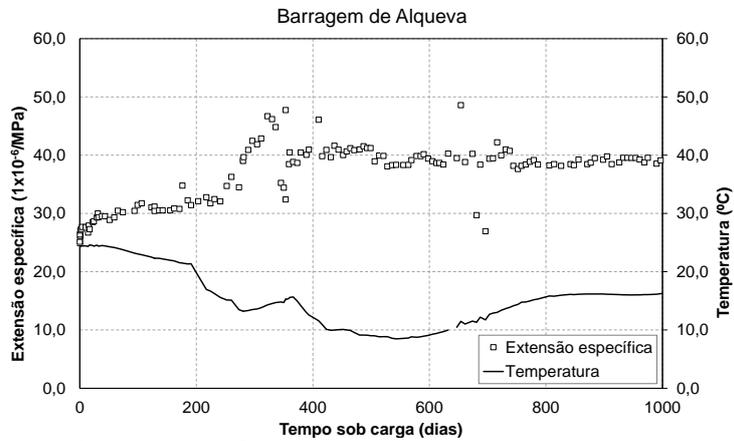


Fig. 7 – Resultados obtidos numa célula de betão integral instalada na barragem de Alqueva (moldes metálicos, macacos planos não acessíveis)

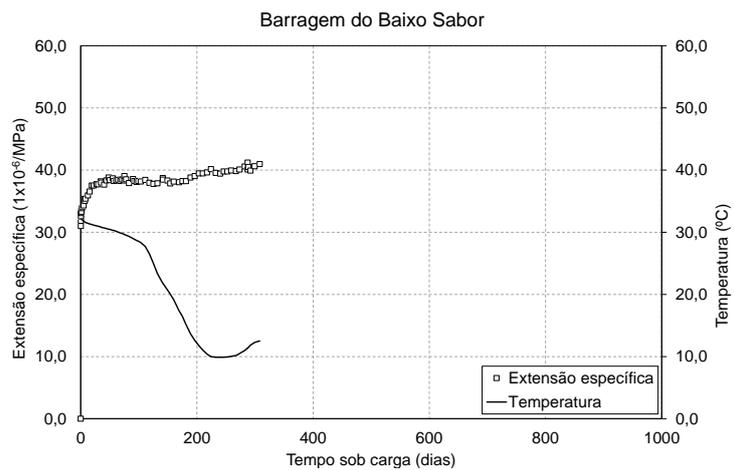


Fig. 8 – Resultados obtidos numa célula de betão integral instalada na barragem do Baixo Sabor (moldes de EPS, macacos planos não acessíveis)

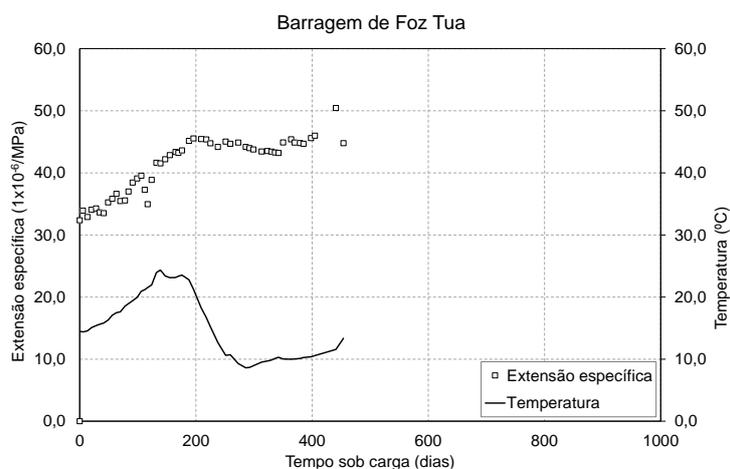


Fig. 9 – Resultados obtidos numa célula de betão integral instalada na barragem de Foz Tua (moldes de EPS, macacos planos acessíveis)

4. CONCLUSÕES

A presente comunicação descreve os desenvolvimentos tecnológicos realizados em células de fluência durante os últimos 4 anos, nas barragens do Baixo Sabor, Ribeiradio e Foz Tua.

As principais diferenças para o modelo de células de fluência utilizado até 2002, na barragem de Alqueva, dividem-se em dois grandes grupos. Uma alteração refere-se ao tipo de moldes utilizados, nomeadamente a mudança de moldes metálicos para moldes de EPS, com os subsequentes ajustes no sistema de carga (instalações nas barragens do Baixo Sabor e Ribeiradio). A segunda alteração diz respeito à adaptação do sistema para tornar os macacos planos acessíveis (instalação na barragem de Foz Tua).

A alteração do tipo de moldes foi muito bem sucedida, tanto no que diz respeito aos custos associados como na funcionalidade e facilidade de instalação. Os resultados já obtidos nas células da barragem do Baixo Sabor são consistentes e compatíveis com os valores expetáveis para o tipo de betão aplicado, o que validou a eficácia das alterações.

A alteração de macacos planos não acessíveis para acessíveis, utilizada mais recentemente na barragem de Foz Tua, apesar da desvantagem de haver uma maior sensibilidade à temperatura no interior da galeria, apresenta a grande vantagem de possibilitar a reparação ou substituição do sistema de carga em caso de avaria.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EDP a autorização concedida para a utilização dos resultados apresentados nesta comunicação e aos técnicos envolvidos na produção e instalação das células de fluência e na realização dos ensaios pelo excelente trabalho realizado.

6. REFERÊNCIAS

- ACI COMMITTEE 207 2005. **207.1R-05: Guide to mass concrete**. Detroit: American Concrete Institute. 30 p.
- COBA 2009. Aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida. Projeto. Escalão de Ribeiradio. Tomo 4 – Plano de Observação. Volume V – Estudos de especialidade. Lisboa: COBA - Consultores de engenharia e ambiente.
- EDP 2007. Aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor. Empreitada geral de construção. Processo de concurso. Volume III – Elementos de projeto. B- Escalão de montante. Tomo B7 – Plano de observação. Porto: EDP – Energias de Portugal.
- LNEC 1966. Observação da barragem do Carrapatelo. Plano de observação Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório.
- LNEC 1968. Observação da barragem de Vilarinho das Furnas. Plano de observação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório.
- LNEC 1970. Observação da barragem da Régua. Plano de observação Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório.
- LNEC 1972. Plano de observação da barragem de Cabora Bassa. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório.
- LNEC 1978. Definição dos sistemas de observação e constantes características da aparelhagem. Barragem de Cahora Bassa. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1978, Relatório.
- LNEC 1984. Reologia de um betão da barragem de Crestuma. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 273/84 – NO.
- LNEC 1985. Plano de observação do escalão do Torrão. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 146/85 – NO.
- LNEC 1986a. Plano de observação da barragem do Funcho. Volume 1 – Observação da barragem, fundação, maciço envolvente e reservatório. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 169/86 – NO.
- LNEC 1986b. Plano de observação do escalão do Alto Lindoso. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 170/86 – NO.
- LNEC 1987. Observação da barragem de Fronhas. Definição do sistema de observação e constantes características da aparelhagem. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 198/87 – NO.
- LNEC 1997. Plano de observação do escalão de Alqueva. Barragem, fundação, maciço envolvente, albufeira e obras anexas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 244/97 – NO.
- LNEC 2003. Barragem de Crestuma. Revisão do sistema de observação e dos critérios de exploração. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 123/2003 – NO.
- LNEC 2008. Escalão de montante do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor. Revisão do plano de observação da barragem e das obras subterrâneas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 206/2008 – NO.

- LNEC 2010. Aproveitamento hidrelétrico de Ribeiradio-Ermida. Revisão do plano de observação da barragem, central e encostas do escalão de Ribeiradio. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 408/2010 – NO.
- LNEC 2013. Procedimentos e recomendações para a realização de ensaios de deformabilidade do betão de barragens, in situ e em laboratório. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 455/2013 – NO.
- LNEC 2015. Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 1 de janeiro a 30 de junho de 2014. Nota Técnica 75/2015 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2015a. Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 1 de julho a 31 de dezembro de 2014. Nota Técnica 143/2015 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- NP EN 206 2005. **NP EN 206-1: Especificação, desempenho, produção e conformidade**. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2005.
- Pinho, J. 1989. Contribuição para o estudo da deformabilidade do betão de barragens. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Tese de especialista.
- Pinho, J.; Ramos, J.; Florentino, C. 1988. Control of mass concrete for dams. Full-mixed and wet-screened concrete tests. **ICOLD Congress**. São Francisco.
- Ramos, J. 1985. Consideração da reologia do betão no comportamento de barragens. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Tese de especialista.
- RILEM TC 107 1995. Guidelines for characterizing concrete creep and shrinkage in structural design codes or recommendations. *Materials and Structures*, vol. 28. pp. 52-55.