



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**PROCEDIMENTOS E RECOMENDAÇÕES PARA
A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE
DO BETÃO DE BARRAGENS, *IN SITU*
E EM LABORATÓRIO**

Lisboa • dezembro de 2013

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 455/2013 – **DBB/NO**

Título

PROCEDIMENTOS E RECOMENDAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE DO BETÃO DE BARRAGENS, *IN SITU* E EM LABORATÓRIO

Autoria

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

Carlos Serra

Bolseiro de Doutoramento, Núcleo de Observação

António Lopes Batista

Investigador Principal, Diretor do Departamento

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 455/2013

Proc. 0403/112/17717

PROCEDIMENTOS E RECOMENDAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE DO BETÃO DE BARRAGENS, *IN SITU* E EM LABORATÓRIO

Resumo

A caracterização da deformabilidade do betão de barragens é efetuada, em regra, a partir de ensaios realizados *in situ*, em provetes inseridos no corpo das obras, correntemente designados por células de fluência, e de ensaios laboratoriais sobre provetes moldados aquando das betonagens.

Neste relatório apresenta-se uma síntese dos conhecimentos relativos à caracterização da deformabilidade do betão de barragens, *in situ* e em laboratório, e indicam-se algumas recomendações relativamente à boa execução do conjunto de atividades relacionadas com os ensaios.

Palavras-chave: Betão de barragens, Deformabilidade, Procedimentos de ensaio, células de fluência

PROCEDURES AND RECOMMENDATIONS TO CARRY OUT *IN SITU* AND LABORATORY DEFORMABILITY TESTS OF DAM CONCRETE

Abstract

Usually, the deformability characterization of dam concrete relies on *in situ* tests, using specimens embedded in the dam body named creep cells, and on laboratory tests, using casted specimens.

This report summarizes the knowledge related to deformability characterization of dam concrete, *in situ* and on laboratory, and presents some recommendations to insure a proper execution of the tests.

Keywords: Dam concrete, Deformability, Test procedures, Creep cells

Índice

1	Introdução	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Caracterização do comportamento do betão de barragens	2
1.2.1	Importância do tema	2
1.2.2	Estudos realizados no âmbito do tema.....	4
1.3	Organização do documento.....	5
2	Ensaio de caracterização da deformabilidade do betão de barragens	6
2.1	Considerações gerais	6
2.2	Caracterização do comportamento do betão em laboratório	7
2.2.1	Considerações gerais	7
2.2.2	Caracterização da deformabilidade diferida do betão	10
2.3	Caracterização do comportamento do betão <i>in situ</i>	13
2.3.1	Considerações gerais	13
2.3.2	Células de fluência com moldes metálicos.....	18
2.3.3	Células de fluência com moldes de EPS.....	20
3	Planeamento dos ensaios de deformabilidade do betão de barragens.....	25
3.1	Considerações gerais	25
3.2	Definição de planos de carga e de leituras.....	26
3.3	Aspetos relevantes dos ensaios laboratoriais	26
3.4	Aspetos relevantes dos ensaios <i>in situ</i>	28
3.5	Outros ensaios complementares	29
4	Aspetos práticos da realização de ensaios de deformabilidade do betão de barragens	30
4.1	Considerações gerais	30
4.2	Ensaio laboratorial.....	30
4.2.1	Aspetos relevantes	30
4.2.2	Planeamento das atividades.....	31
4.2.3	Determinação do módulo de elasticidade nos ensaios de fluência.....	36
4.3	Ensaio <i>in situ</i>	36
4.3.1	Aspetos relevantes	36
4.3.2	Planeamento das atividades.....	37
4.3.3	Determinação do módulo de elasticidade em células de fluência.....	47
4.3.4	Registo e armazenamento da informação dos ensaios	48
5	Conclusões.....	50
	Referências Bibliográficas	53
	Anexos	57

Anexo A.1 – Esquemas de instalação de células de fluência (exemplo da barragem de montante do Baixo Sabor)

Anexo A.2 – Plano de carga e de leituras de células de fluência

Anexo B.1 – Ficha de aferição da unidade de leitura de instrumentos do tipo Carlson

Anexo B.2 – Ficha de calibração do funcionamento de extensómetros de resistência elétrica (exemplo de um extensómetro, de uma célula de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)

Anexo B.3 – Lista de constantes dos extensómetros de resistência elétrica (exemplo das células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)

Anexo B.4 – Ficha de ligação dos extensómetros através de cabos (exemplo de um extensómetro, de uma célula de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)

Anexo B.5 – Ficha de instalação de células de fluência

Anexo B.6 – Ficha de ensaio de módulo de elasticidade em laboratório

Anexo B.7 – Ficha de ensaio de fluência em laboratório

Anexo B.8 – Ficha de ensaio de módulo de elasticidade em células de fluência

Anexo B.9 – Ficha de ensaio em células

Anexo C.1 – Lista de material e equipamento para realização de ensaios em laboratório

Anexo C.2 – Lista de material e equipamento para realização de ensaios em obra

Anexo D.1 – Procedimentos detalhados da instalação de células de fluência

Anexo D.2 – Procedimentos detalhados do funcionamento do sistema de carga das células de fluência

Índice de figuras

Figura 2.1 – Dimensões usuais dos provetes para ensaios destrutivos de determinação de resistência mecânica	8
Figura 2.2 – Dimensões usuais dos provetes para ensaios não destrutivos de deformabilidade	9
Figura 2.3 – Vista geral das máquinas de fluência do DBB usadas para caracterização da deformabilidade diferida em laboratório	11
Figura 2.4 – Pormenores das máquinas de fluência do DBB para realização de ensaios de deformabilidade em laboratório.	12
Figura 2.5 – Dimensões dos provetes e dos dispositivos de medição de deformações para a realização de ensaios de módulo de elasticidade e de fluência (D é a máxima dimensão do agregado)	13
Figura 2.6 – Esquema ilustrativo de uma célula de fluência	14
Figura 2.7 – Esquema geral das células de fluência	15
Figura 2.8 – Vista da instalação de um conjunto de células de fluência da barragem de Alqueva	15
Figura 2.9 – Vista do sistema de leitura e dos equipamentos aparentes dos sistemas de carga localizados num nicho em galeria da barragem do Torrão	16
Figura 2.10 – Aspetos dos equipamentos aparentes dos sistemas de carga de células de fluência das barragens de Alqueva (esquerda) e do Alto Lindoso (direita).....	16
Figura 2.11 – Esquema das células de fluência com moldes metálicos.....	18
Figura 2.12 – Dimensões usuais das células de fluência com moldes metálicos e correspondente máxima dimensão do agregado	19
Figura 2.13 – Representação da relação entre as dimensões dos provetes e a base de medida, nas células de fluência com moldes metálicos	19
Figura 2.14 – Vistas dos diversos componentes das células de fluência com moldes metálicos	20
Figura 2.15 – Diagramas tensão-deformação para diferentes valores de massa volúmica do EPS	21
Figura 2.16 – Esquema em perspetiva das células de fluência com moldes de EPS	22
Figura 2.17 – Dimensões das células de fluência (sistema melhorado) e correspondente dimensão máxima do agregado.....	23
Figura 2.18 – Esquema da relação entre as dimensões dos provetes e a base de medida de cada célula de fluência	23
Figura 2.19 – Vista, antes da betonagem, de um conjunto de células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor.....	24
Figura 2.20 – Equipamentos aparentes do sistema de carga de um conjunto de células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor	24
Figura 4.1 – Aspeto da calibração de extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson	32
Figura 4.2 – Preparação dos moldes	32
Figura 4.3 – Instalação de extensómetros do tipo Carlson no interior dos moldes prismáticos com recurso a bitolas	33
Figura 4.4 – Chegada do betão ao cais de baldes (esquerda) e crivagem do betão integral (direita).	34
Figura 4.5 – Moldes prismáticos com selagem de cobre e extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson instalados	34
Figura 4.6 – Selagem dos provetes em fresco após moldagem.....	35
Figura 4.7 – Execução de nicho em galeria: módulo de cofragem (à esquerda) e aspeto do nicho durante a descofragem (à direita)	38
Figura 4.8 – Preparação e ligação dos cabos aos extensómetros	39

Figura 4.9 – Preparação prévia dos moldes de EPS	42
Figura 4.10 – Trabalhos preparatórios de instalação dos moldes de EPS	43
Figura 4.11 – Ligação da tubagem de cobre do nicho ao macaco plano	44
Figura 4.12 – Enchimento da conduta técnica com argamassa	44
Figura 4.13 – Crivagem do betão em fresco	45
Figura 4.14 – Aspetos da colocação do betão nos moldes das células de fluência	46
Figura 4.15 - Betonagem da envolvente das células de fluência.....	46
Figura 4.16 - Sistema de carga acessível no nicho	47

Índice de quadros

Quadro 1.1 – Composição dos betões dominantes das barragens do Alto Lindoso, Alqueva, Pedrógão e Baixo Sabor (montante)	3
Quadro 1.2 – Designação e conteúdo dos anexos	5
Quadro 2.1 – Ensaio usuais ao cimento.....	6
Quadro 2.2 – Características das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC	17
Quadro 2.3 – Características mecânicas e térmicas do EPS	21
Quadro 2.4 – Influência da rigidez do balde de latão no conjunto de cada célula de fluência	22
Quadro 3.1 – Aspectos relevantes dos ensaios laboratoriais de fluência do betão crivado	27
Quadro 3.2 – Aspectos relevantes dos ensaios de fluência <i>in situ</i>	28
Quadro 4.1 – Aspectos relevantes na preparação dos ensaios em laboratório	30
Quadro 4.2 – Aspectos relevantes na preparação dos ensaios <i>in situ</i>	36
Quadro 4.3 – Exemplo dos dados a inserir no sistema informático gestBarragens para cada extensómetro das células de fluência.....	49

1 | Introdução

1.1 Considerações iniciais

A caracterização da deformabilidade do betão de barragens é efetuada, em regra, a partir de ensaios laboratoriais sobre provetes moldados aquando da realização das betonagens e de ensaios realizados *in situ*, em provetes inseridos no corpo das obras, correntemente designados por células de fluência.

Com o presente trabalho pretende-se fazer uma síntese dos conhecimentos relativos à caracterização da deformabilidade do betão de barragens com base na experiência do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) nesta área e apresentar algumas recomendações no que respeita à boa execução das atividades a desenvolver com essa finalidade. Assim, apresentam-se elementos relativos: i) à definição dos planos de ensaios laboratoriais e *in situ*, incluindo os esquemas de colocação das células de fluência; ii) aos procedimentos de colocação e cura do betão; iii) ao estabelecimento das condições ambientais de cada ensaio; e iv) aos boletins dos dados relevantes de cada ensaio.

A informação provém, essencialmente, da experiência existente no LNEC, adquirida nas diversas aplicações efetuadas ao longo dos anos. Para além dessa experiência, foram consideradas, dentro dos condicionamentos inerentes aos próprios ensaios e ao tipo de betão, algumas recomendações ISO, da ASTM e da RILEM¹.

A compilação destes elementos pretende servir de referência para novas aplicações em barragens a construir, tendo-se considerado os melhoramentos introduzidos nos procedimentos de instalação de células de fluência *in situ*, que foram implementados pela primeira vez, em 2012, na barragem de montante do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor.

Este trabalho, relativo ao estudo do comportamento reológico do betão de barragens, enquadra-se no programa de investigação programada do LNEC (PIP 2009-2012), que foi prolongado até ao final de 2013, intitulado “Deterioração e reabilitação de barragens de betão e alvenaria” (processo 0403/112/17717).

¹ ISO – International Organization of Standardization

ASTM - American Society for Testing and Materials

RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages

1.2 Caracterização do comportamento do betão de barragens

1.2.1 Importância do tema

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.

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 com betão crivado. O betão crivado é obtido do betão integral por crivagem dos agregados em fresco, isto é, são retirados os agregados com dimensão superior a um determinado valor (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.

Na construção das barragens portuguesas tem-se utilizado, predominantemente, o betão convencional (BC) vibrado. Como é aplicado em grandes massas e não lhe são exigidas resistências muito elevadas, consideram-se, no seu fabrico, dosagens baixas de ligante e, como referido, agregados de grandes dimensões. Em obras de maior desenvolvimento linear e com menores requisitos de resistência dos betões, como é o caso de algumas barragens gravidade, pode utilizar-se o betão compactado com cilindros (BCC), com dosagens ainda mais baixas de cimento. Encontra-se numa fase experimental de desenvolvimento, para aplicação em barragens, o betão com prévia colocação de agregados (BPCA), em que uma argamassa fluida preenche os vazios da matriz de agregados pré-colocados. No Quadro 1.1 apresentam-se o período de construção e a composição dos betões estruturais dominantes das barragens do Alto Lindoso, Alqueva, Pedrógão e Baixo Sabor (montante), sendo que a barragem de Pedrógão é a única construída em Portugal, até à data, com BCC, no seu trecho mais extenso.

Quadro 1.1 – Composição dos betões dominantes das barragens do Alto Lindoso, Alqueva, Pedrógão e Baixo Sabor (montante)

	Dosagem (kg/m³)			
	Alto Lindoso Material: BC vibrado Construção: 1987 a 1990	Alqueva Material: BC vibrado Construção: 1998 a 2001	Pedrógão Material: BCC Construção: 2003 e 2004	Baixo Sabor (montante) Material: BC vibrado Construção: 2010 a 2013
Brita 75/150	726	613	-	381
Brita 38/75	425	427	-	352
Brita 19/38	175	302	597	274
Brita 10/19	125	210	730	235
Brita 5/10	103	153		188
Areia	633	600	638	543
Cimento	150 (Alto forno tipo IV ASTM)	160 (tipo IV/B 32,5 N)	55 (tipo II/A-L 42,5 R)	110 (tipo I 42,5 R)
Cinzas	-	40	165	110
Fíler calcário	-	-	72	-
Água	117	117	131	103
Adjuvante	0,60	0,90	1,54	0,90

A caracterização da evolução da deformabilidade consiste usualmente na determinação dos valores de módulo de elasticidade a várias idades e 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. Os ensaios de deformabilidade tratados neste trabalho dividem-se em ensaios em laboratório e ensaios *in situ*.

A determinação da deformabilidade do betão integral é um elemento chave na avaliação do comportamento ao longo do tempo de barragens, quer seja para calibrar modelos de previsão baseados em deslocamentos observados (Ramos, 1985) ou como apoio à interpretação através de modelos matemáticos. 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, 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, que se encontra sujeito a um carregamento controlado por um sistema de carga.

Devido à falta de bases teórica e experimental que estabeleçam a relação entre o comportamento do betão integral e do betão crivado e as diferentes condições termo-higrométricas de provetes inseridos no corpo das barragens e de provetes em laboratório, ainda não é possível sustentar a interpretação do comportamento com base apenas nos resultados laboratoriais efetuados com betão crivado (Pinho *et al.*, 1988). Assim, tomando em consideração que o betão de barragens é, usualmente, um betão com composição prescrita (NP EN 206, 2005), a realização de ensaios *in situ* assume especial relevância, devido à influência das condições de cura do betão no processo de maturação (de difícil reprodução em laboratório) e das dificuldades de manuseamento e ensaio em laboratório de espécimes de grandes dimensões (Pinho *et al.*, 1990).

1.2.2 Estudos realizados no âmbito do tema

Os estudos de caracterização das propriedades mecânicas do betão de barragens têm sido enquadrados, no LNEC, por várias solicitações externas e por programas de investigação, tendo dado lugar a diversos desenvolvimentos e aplicações em obra. As atividades realizadas neste âmbito enformaram várias publicações, sob a forma de memórias, artigos e relatórios, tendo os resultados obtidos tido um reflexo direto na elaboração dos planos de observação de barragens (Ramos *et al.*, 1981, 1983; Silveira *et al.*, 1981; Pinho *et al.*, 1988, 1990; Pinho, 1989; Serra *et al.*, 2010, 2012).

Os estudos sistemáticos de caracterização das propriedades do betão de barragens surgiram, pela primeira vez em Portugal, na década de cinquenta do século XX, com a execução de alguns espécimes, durante a betonagem e por carotagem, na barragem de Castelo do Bode. Estes espécimes foram utilizados na determinação em laboratório das principais características mecânicas do betão, nomeadamente módulo de elasticidade, coeficiente de *Poisson* e função de fluência (Pinho, 1989). As especificações que constam do plano de observação da barragem da Caniçada, de 1953, definiram os procedimentos que vieram a ser usados nas décadas seguintes. Esta metodologia passou a constituir a base da caracterização das propriedades do betão de barragens em Portugal, no que diz respeito à tipologia de ensaios, idades dos ensaios e dimensões dos provetes, entre outros.

Dando consequência aos estudos sobre a influência das condições de cura (LNEC, 1968), da deformabilidade do betão e das técnicas alternativas para a determinação do estado de tensão (Florentino, 1966), foram desenvolvidos equipamentos específicos para a determinação da deformabilidade do betão *in situ*, as células de fluência. Os primeiros exemplos da sua aplicação encontram-se nas barragens de Carrapatelo, Vilarinho das Furnas, Régua, Cahora Bassa, Crestuma e Fronhas, desde o final da década de sessenta até ao início da década de oitenta do século XX. Os ensaios *in situ* realizados nestas barragens não tiveram os resultados esperados, devido a dificuldades de vária ordem, incluindo as relacionadas com o funcionamento do sistema de carga.

O trabalho efetuado no âmbito de uma tese de especialista do LNEC (Pinho, 1989) permitiu o aperfeiçoamento das técnicas experimentais de caracterização das propriedades do betão de barragens, em laboratório e *in situ*. Os desenvolvimentos tecnológicos então realizados, designadamente nas células de fluência, foram aplicados na barragem do Torrão, nos anos oitenta do século passado.

Os últimos exemplos da aplicação das referidas metodologias foram a barragem do Funcho, em 1988, a barragem do Alto Lindoso, no início da década de noventa do século XX, a barragem de Alqueva, cuja construção terminou em 2001, a barragem de montante do Baixo Sabor, terminada no final de 2013, e a barragem de Ribeiradio, que está em fase muito adiantada de construção. Nestas duas últimas obras foram introduzidos alguns melhoramentos nas células de fluência.

1.3 Organização do documento

O relatório está organizado em seis capítulos, referindo-se o primeiro à presente introdução. No segundo capítulo apresentam-se os aspetos relevantes da caracterização do comportamento mecânico do betão, em particular da sua deformabilidade diferida, em laboratório e *in situ*, no terceiro capítulo listam-se os aspetos mais importantes do planeamento dos ensaios de deformabilidade e, no quarto capítulo, descrevem-se os procedimentos de execução deste tipo de ensaios. No último capítulo apresentam-se as principais conclusões deste trabalho.

No final são ainda apresentados os anexos que se listam no Quadro 1.2.

Quadro 1.2 – Designação e conteúdo dos anexos

Assunto	Designação	Conteúdo
Definição das células e dos ensaios de fluência <i>in situ</i>	A.1	Esquemas de instalação de células de fluência (exemplo da barragem de montante do Baixo Sabor)
	A.2	Plano de carga e de leituras de células de fluência
Fichas LNEC relativas à instrumentação e aos ensaios	B.1	Fichas de aferição da unidade de leitura de instrumentos do tipo Carlson
	B.2	Ficha de calibração do funcionamento de extensómetros de resistência elétrica (exemplo de um extensómetro de uma célula de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)
	B.3	Lista de constantes dos extensómetros de resistência elétrica (exemplo das células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)
	B.4	Ficha de ligação dos extensómetros através de cabos (exemplo de um extensómetro de uma célula de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor)
	B.5	Ficha de instalação de células de fluência
	B.6	Ficha de ensaio de módulo de elasticidade em laboratório
	B.7	Ficha de ensaio de fluência em laboratório
	B.8	Ficha de ensaio de módulo de elasticidade em células de fluência
	B.9	Ficha de ensaio de fluência em células
Listagem de materiais e equipamentos	C.1	Lista de material e equipamento para realização de ensaios em laboratório
	C.2	Lista de material e equipamento para realização de ensaios em obra
Procedimentos detalhados de instalação e funcionamento	D.1	Procedimentos detalhados de instalação de células de fluência
	D.2	Procedimentos detalhados do funcionamento do sistema de carga das células de fluência

2 | Ensaio de caracterização da deformabilidade do betão de barragens

2.1 Considerações gerais

O presente capítulo refere-se aos ensaios de caracterização das propriedades do betão, usualmente utilizados nas barragens portuguesas de maior importância, incluindo o sistema tradicional de células de fluência e o seu melhoramento, utilizado pela primeira vez na barragem de montante do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor.

Os ensaios de controlo de qualidade industrial do betão têm objetivos imediatos bem definidos, centrando-se nas características do material em fresco e nos primeiros tempos de maturação (até 1 ano). Estes ensaios destinam-se a controlar as características do betão no momento de fabrico e após colocação em obra, para garantir o seu desempenho segundo as especificações de projeto.

Os ensaios realizados para controlo de qualidade dividem-se em ensaios sobre os componentes, sobre o betão fresco e sobre o betão endurecido. Os ensaios dos componentes envolvem análises do cimento, nomeadamente a avaliação das características físicas, mecânicas, químicas e do calor de hidratação (Quadro 2.1), das cinzas volantes (caracterização segundo a NP EN 450, finura, massa volúmica, expansibilidade e índice de atividade, e análises químicas, perda ao fogo, óxido de cálcio livre, cloretos e trióxido de enxofre), dos agregados (granulometria, determinação da massa volúmica, índice volumétrico, desgaste de Los Angeles e humidade), dos adjuvantes (ensaio de receção de acordo com pr EN 480, com determinação da massa volúmica, pH e teor em sólidos) e da água de amassadura (ensaio de conformidade segundo a especificação LNEC E-372, pH, consumo químico de oxigénio, resíduo em suspensão, resíduo dissolvido, cloretos, sulfatos e hidrogenocarbonatos).

Quadro 2.1 – Ensaio usuais ao cimento

Características físicas	Princípio de presa	
	Expansibilidade	
	Superfície específica	
Características mecânicas	Tensão de rotura	
Características químicas	NP 2064	Sulfatos
		Cloretos
		Pozolanidade
	Outros	Perda ao fogo
		Teor em magnésio
		Teor em álcalis equivalente

Os ensaios sobre o betão fresco incluem a determinação da consistência através dos resultados do abaixamento em cone de Abrams e o registo da temperatura no momento de colocação em obra.

Para o betão endurecido são normalmente estabelecidos ensaios destrutivos de determinação da resistência, nomeadamente à compressão simples (EN12390, 2003a), à compressão diametral (EN12390, 2003b) e à tração por flexão (EN12390, 2003c), e ensaios não destrutivos de determinação do módulo de elasticidade (DIN, 1991).

Na execução de ensaios não destrutivos de determinação do módulo de elasticidade é necessário definir patamares de carga, inferior e superior, por forma a obter apenas o comportamento elástico. O patamar de carga superior corresponde, em regra, a um terço da resistência à compressão, que deve ser determinada em betão da mesma amassadura e para o mesmo tipo de provetes.

Para obras de grande importância, este tipo de ensaios são feitos com betão integral, aplicado no corpo da barragem, e com betão crivado em fresco, obtido do integral através da crivagem pelo peneiro com abertura de 38 mm, resultando provetes de diferentes dimensões que necessitam de condições e equipamentos específicos de ensaio.

Com o objetivo de determinar o comportamento viscoelástico do betão de barragens, podem ser efetuados ensaios de fluência *in situ*. Estes ensaios *in situ*, destinados à avaliação da deformabilidade diferida do betão, correspondem à determinação das extensões de fluência e de módulos de elasticidade instantâneos através de células de fluência. A utilização deste tipo de equipamentos justifica-se em obras de dimensão e importância significativas.

O fenómeno da fluência do betão é complexo e depende de inúmeras variáveis, desde as propriedades de cada componente, à mistura utilizada, passando pelos procedimentos de betonagem, cura e condições de maturação. Em cada ensaio de fluência *in situ* é necessário conhecer, como informação base de interpretação, a composição do betão, uma estimativa do valor das resistências à compressão e dos módulos de elasticidade instantâneos, em diversas idades, do betão colocado nas células, obtidos através de ensaios laboratoriais.

Os ensaios efetuados *in situ* deverão ter uma correspondência com os ensaios em laboratório de forma a estabelecer correlações entre os tipos de betão (crivado-laboratório, crivado-*in situ* e integral) e as condições termo-higrométricas (variáveis em obra e controladas em laboratório).

Como referido, não sendo ensaios correntes, pretende-se neste documento apresentar alguns procedimentos e recomendações para a sua boa execução.

2.2 Caracterização do comportamento do betão em laboratório

2.2.1 Considerações gerais

Apresentam-se, de seguida, algumas recomendações relativas às características dos moldes e às condições de cura dos provetes destinados a ensaios laboratoriais, para atender aos aspetos particulares do betão de barragens. Os procedimentos referentes aos ensaios correntes de determinação das resistências e da deformabilidade não são objeto deste relatório, devendo-se para

esse efeito consultar as normas e especificações utilizadas em Portugal (DIN, 1991; EN12390, 2003a, 2003b, 2003c).

Na Figura 2.1 e na Figura 2.2 representam-se as dimensões usualmente adotadas para os provetes na caracterização das propriedades do betão de barragens e a máxima dimensão dos agregados associada a cada provete, em ensaios destrutivos para a determinação da resistência mecânica e em ensaios não destrutivos de deformabilidade, respetivamente.






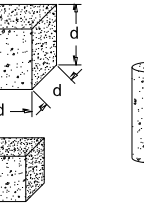
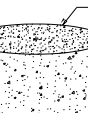
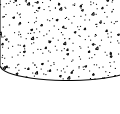
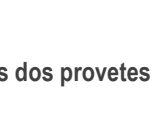



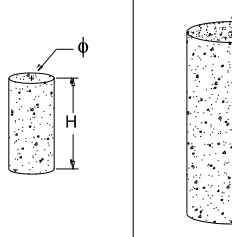
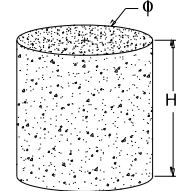
		OBJETIVOS DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS				
		Resistência à compressão simples, f_{cm}	Resistência à tração por compressão diametral, f_{ctm}		Resistência à tração por flexão, f_{ctm}	
Betão crivado	Máxima dimensão dos agregados	38 mm 	38 mm 	38 mm 	75 mm 	38 mm 
	Forma dos provetes					
	Dimensão dos provetes (cm)	(20 x 20 x 20) (15 x 15 x 15) ($\phi=15$, H=30)	($\phi=15$, H=30)	($\phi=15$, H=30)	($\phi=30$, H=60)	(16 x 16 x 56)
Betão Integral	Máxima dimensão dos agregados	150 mm 	150 mm 			
	Forma dos provetes					
	Dimensão dos provetes (cm)	($\phi=45$, H=90)	($\phi=45$, H=45)			

Figura 2.1 – Dimensões usuais dos provetes para ensaios destrutivos de determinação de resistência mecânica





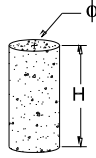
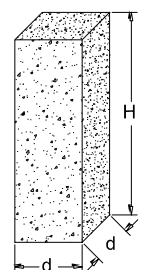
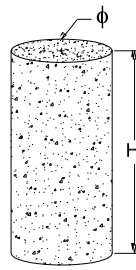
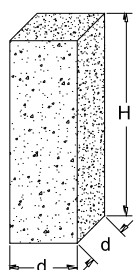


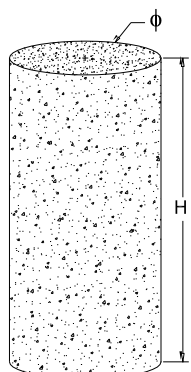
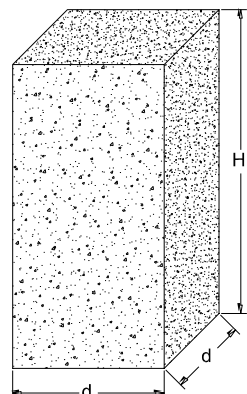
		OBJETIVOS DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS			
		Módulo de elasticidade, E_c		Função de fluência, $J(t,t')$	
Betão crivado	Máxima dimensão dos agregados	38 mm 	38 mm 	75 mm 	38 mm 
	Forma dos provetes				
	Dimensão dos provetes (cm)	($\phi=15$, $H=30$)	(20 x 20 x 60)	($\phi=30$, $H=60$)	(20 x 20 x 60)
Betão integral	Máxima dimensão dos agregados	150 mm 		150 mm 	
	Forma dos provetes				
	Dimensão dos provetes (cm)	($\phi=45$, $H=90$)		(45 x 45 x 90)	

Figura 2.2 – Dimensões usuais dos provetes para ensaios não destrutivos de deformabilidade

As dimensões de cada provete de betão estão associadas à máxima dimensão do agregado a ser utilizado. As recomendações da ASTM C469 e da ASTM C512 referem que a dimensão mínima da secção transversal do provete deve ser superior a 3 vezes a máxima dimensão do agregado. Por seu lado, a ISO 6784 e as recomendações do comité RILEM TC107-CSP referem, respetivamente, uma relação de 4 e 5. Nos ensaios laboratoriais efetuados em Portugal com betão de barragens tem-se recorrido, em regra, a provetes prismáticos com dimensões de 20x20x60 cm³ para ensaios de módulo de elasticidade, correspondendo a um betão crivado sem agregados com dimensão superior a 38 mm (relação de 5,2). Nos ensaios destrutivos para a determinação da resistência à compressão deste tipo de betão usavam-se provetes de 20x20x20 cm³, mas atualmente utilizam-se correntemente, para o mesmo fim, provetes de 15x15x15 cm³ (relação de 3,9).

Os moldes devem ser feitos de material impermeável, não absorvente e não reativo com a pasta de cimento. Para além disso devem ser suficientemente rígidos e estanques. Deverá ser garantida a planura das faces de aplicação da carga com uma precisão de $0,0005 d$, onde d é a menor dimensão do provete, e o ângulo formado por duas faces adjacentes, bem como a direção de uma geratriz com a base do cilindro, devem ser de $90^\circ \pm 0,5^\circ$, segundo a ISO 1920.

No caso de não existirem extensómetros embebidos, a moldagem dos prismas deve ser feita de uma só vez e a vibração deverá ser realizada por três vezes (junto às extremidades e no centro do provete). O tempo de vibração deve ser entre 5 a 15 segundos. Em provetes com extensómetros embebidos, a moldagem deve ser efetuada em duas fases, primeiro até à altura do extensómetro e depois até ao enchimento completo do provete, para se garantir o posicionamento correto do dispositivo embebido.

Em relação às condições de cura devem ser considerados dois tipos de procedimentos em função dos objetivos. O primeiro diz respeito a condições normais de cura, em que os provetes são conservados sem perda de humidade, envoltos com um pano húmido ou com uma cobertura própria do molde durante as primeiras 24 horas, à temperatura de aproximadamente 20°C . Após desmoldagem são submetidos a uma cura húmida, devendo ser conservados à mesma temperatura até à idade de ensaio. Por cura húmida entende-se aquela em que a superfície do espécime é mantida molhada mas sem ficar imerso em água ou sujeito a correntes de água. A segunda condição de cura, correspondente a provetes isolados higrometricamente, implica a moldagem dos provetes em invólucros de cobre, plástico ou chumbo, que podem ser selados até 24 horas após a betonagem. Até ao fecho dos invólucros a superfície superior do provete deve ser selada com plástico. A temperatura de conservação deve ser de 20°C .

2.2.2 Caracterização da deformabilidade diferida do betão

Relativamente à caracterização da deformabilidade diferida do betão, existem considerações particulares, para além dos aspetos referidos anteriormente.

Por caracterização da deformabilidade diferida entende-se a execução de ensaios de determinação do módulo de elasticidade em diversas idades e de ensaios de fluência sobre o mesmo provete. Para tal é necessário um sistema que seja capaz de impor variações de carga suficientemente rápidas, bem como a manutenção de uma carga constante por longos períodos. Estes sistemas são correntemente designados por máquinas de fluência.

Existem no LNEC diversas opções para este tipo de ensaios. As máquinas de fluência que estão disponíveis no Departamento de Barragens de Betão (DBB) são constituídas por um trio de macacos hidráulicos ligados a uma botija de óleo hidráulico e azoto que permite a manutenção da pressão de óleo no sistema (Figura 2.3). As variações de carga podem ser efetuadas através da ligação de uma bomba de óleo auxiliar ao sistema.

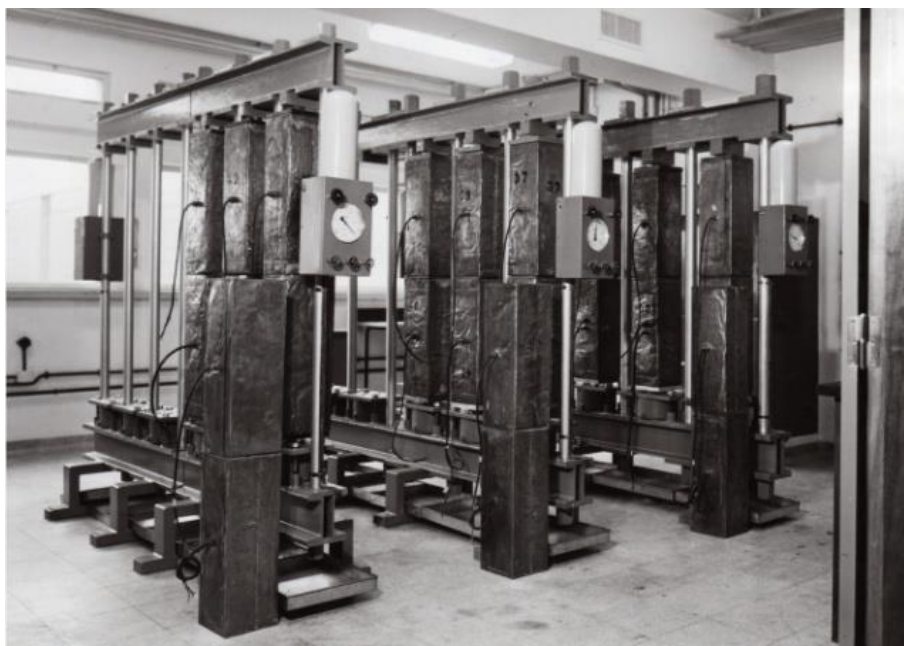


Figura 2.3 – Vista geral das máquinas de fluência do DBB usadas para caracterização da deformabilidade diferida em laboratório

Nestas máquinas existem três câmaras de pressão (Figura 2.4 b) onde podem ser colocados dois provetes prismáticos (altura disponível de 1,25 m). Os provetes ficam intercalados por placas de aço, sendo que a inferior transmite a pressão da câmara (Figura 2.4 a) e a placa superior faz a transição para o cabeçote da prensa por intermédio de uma rótula esférica (Figura 2.4 c e d).

A medição das extensões ao longo do tempo tem sido feita através de extensómetros embebidos nos provetes, para se representarem as condições em obra. Esta opção implica alguns cuidados na preparação dos provetes, em particular na calibração dos extensómetros, na instalação dos extensómetros no interior dos moldes, na moldagem e vibração do betão e na leitura das extensões.

De acordo com a norma ISO 6784 e as recomendações da RILEM, a base de medida das extensões deverá ser superior a 3 vezes a máxima dimensão do agregado. Os pontos de medida das extensões devem estar a igual distância dos extremos e essa distância deve ser superior à menor dimensão do provete (Figura 2.5). Nos ensaios realizados no DBB, a medição das extensões tem sido efetuada através de extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson A10 embebidos no interior do provete, mantendo-se assim as condições em que as extensões são medidas em obra. Este tipo de medição não está conforme com as recomendações referidas anteriormente, uma vez que o extensómetro tem 25 cm de comprimento e o provete tem apenas 60 cm de comprimento.

As recomendações da RILEM relativas à caracterização do comportamento diferido do betão indicam que as extensões deverão ser medidas em mais do que um alinhamento perpendicular à secção transversal. Assim, a aferição da medição realizada com o extensómetro embebido pode ser efetuada através de transdutores de deslocamentos nas faces, para registo das deformações durante os ensaios, ou por meio da leitura periódica das deformações através de alongâmetros que usam como base pernos previamente instalados.

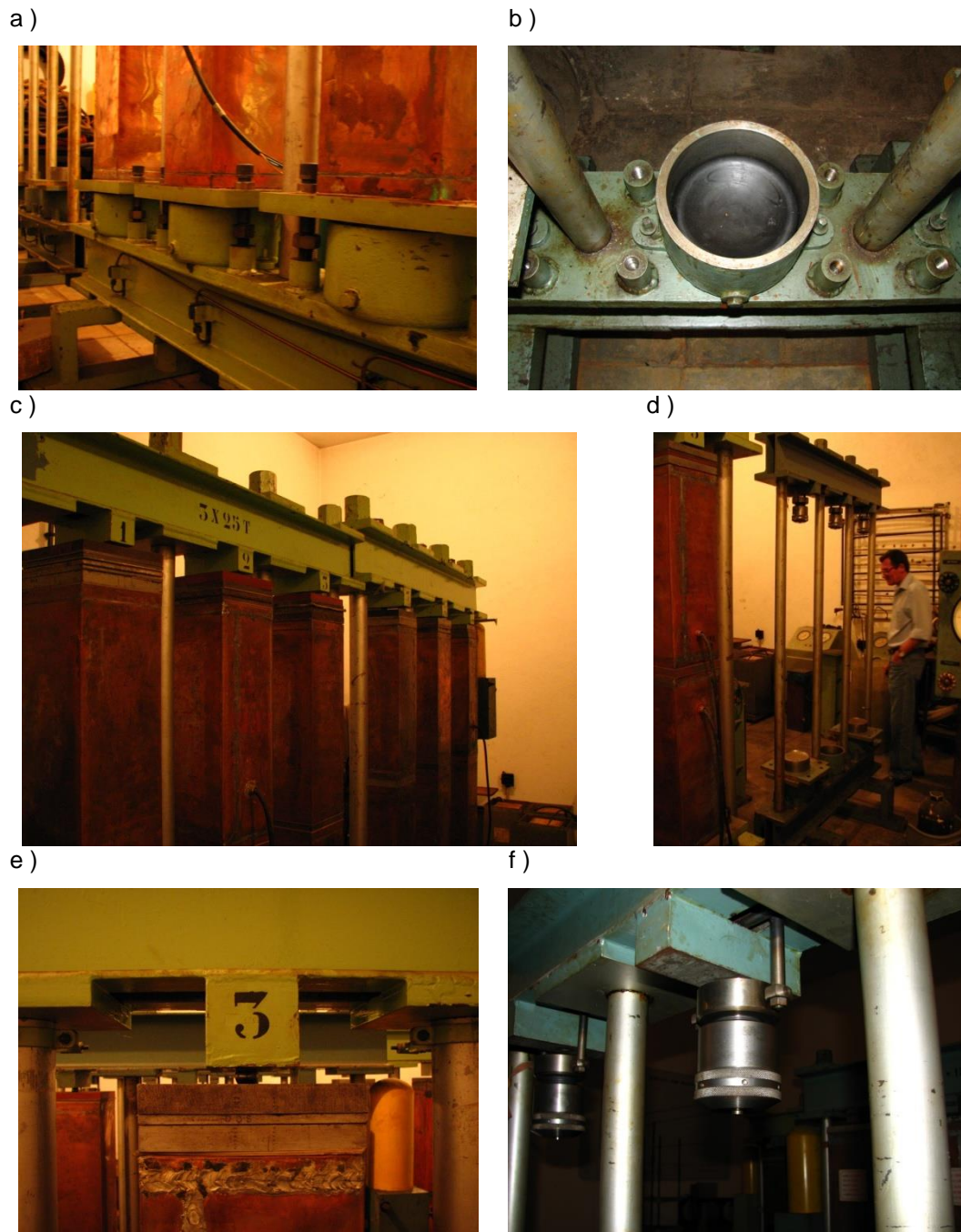


Figura 2.4 – Pormenores das máquinas de fluência do DBB para realização de ensaios de deformabilidade em laboratório.

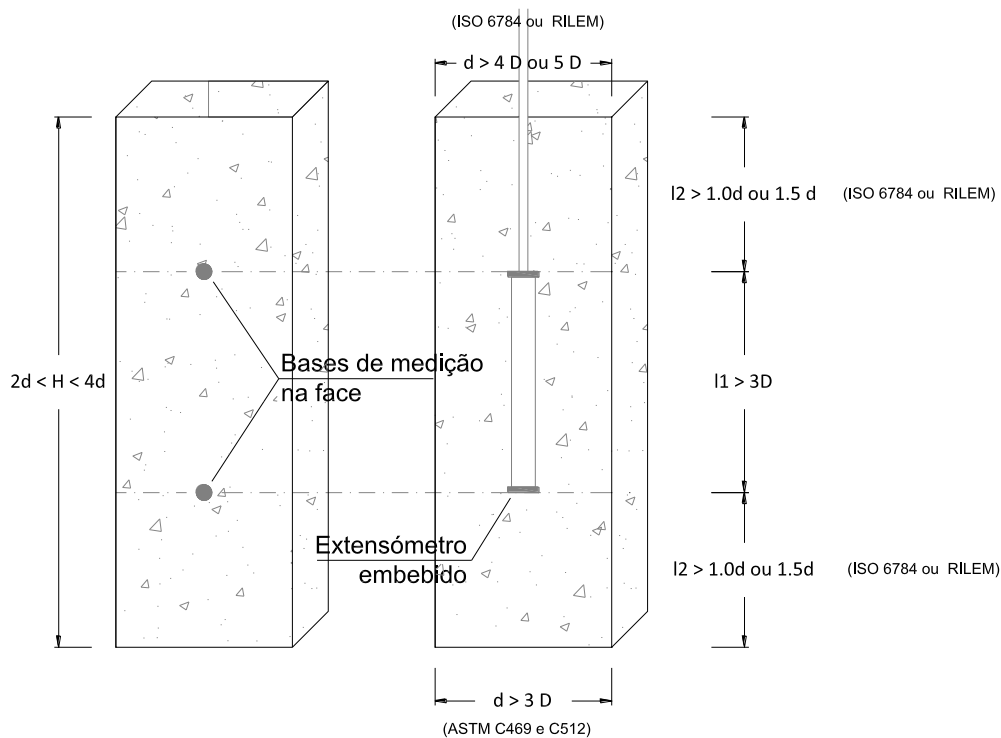


Figura 2.5 – Dimensões dos provetes e dos dispositivos de medição de deformações para a realização de ensaios de módulo de elasticidade e de fluência (D é a máxima dimensão do agregado)

2.3 Caracterização do comportamento do betão *in situ*

2.3.1 Considerações gerais

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 (Figura 2.6). 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.

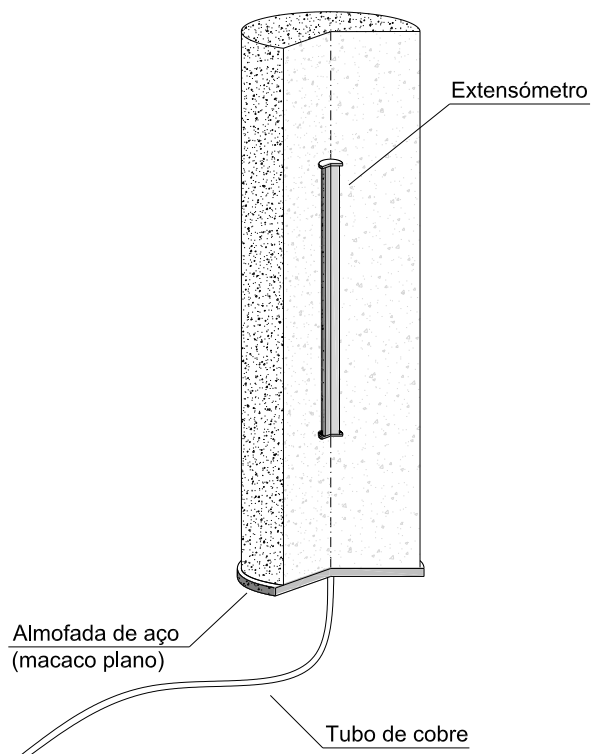


Figura 2.6 – Esquema ilustrativo de uma célula de fluência

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

O sistema de leitura é semelhante ao adotado nos ensaios em laboratório, sendo que, neste caso, a extensometria embebida 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, verticalidade e 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 idênticas condições de cura e de endurecimento, bem como em condições termo-higrométricas semelhantes às da obra.

Na Figura 2.7 representa-se um esquema geral das células de fluência e na Figura 2.8 apresenta-se uma vista da instalação de um grupo de células de fluência da barragem de Alqueva.

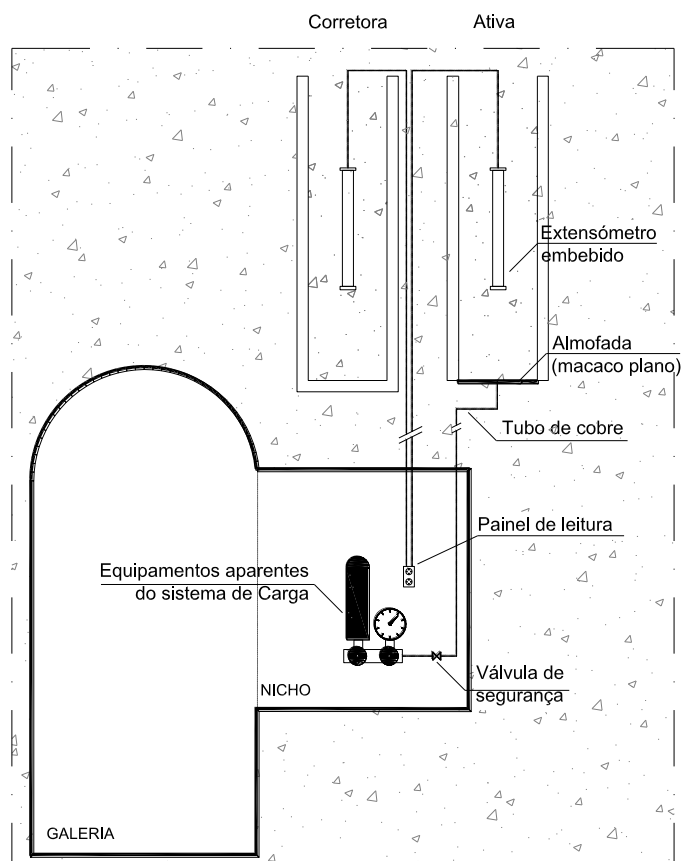


Figura 2.7 – Esquema geral das células de fluência



Figura 2.8 – Vista da instalação de um conjunto de células de fluência da barragem de Alqueva

O sistema de carga associado a cada célula consiste num circuito fechado que regula a pressão aplicada sob a base do cilindro através de uma almofada de aço ligada por um tubo ao sistema de carga exterior e acessível (Figura 2.7). 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 à almofada de aço por intermédio de tubos de cobre e 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 (Figura 2.7, Figura 2.9 e Figura 2.10).



Figura 2.9 – Vista do sistema de leitura e dos equipamentos aparentes dos sistemas de carga localizados num nicho em galeria da barragem do Torrão



Figura 2.10 – Aspectos dos equipamentos aparentes dos sistemas de carga de células de fluência das barragens de Alqueva (esquerda) e do Alto Lindoso (direita)

As células de fluência das barragens em que o LNEC teve intervenção podem classificar-se em duas variantes, a tradicional, utilizada nas últimas décadas, e uma nova, aplicada pela primeira vez na barragem de montante do Baixo Sabor. Elas diferem apenas na dimensão dos provetes de ensaio, no tipo de moldes utilizados, no tipo de macaco plano e no número de extensómetros embebidos nas células ativas. No Quadro 2.2 apresentam-se as características relevantes das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC.

Quadro 2.2 – Características das células de fluência instaladas com a intervenção do LNEC

Barragem	Ano	Número de grupos de células de fluência	Tipo de betão das células	Tipo de moldes	Tipo e número de extensómetros	Referências
<i>Carrapateiro</i>	1967-1968	2 (junto a grupos de extensómetros, com corretor comum)	Crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral	(LNEC, 1966) e esquemas de colocação LNEC
		3	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm		1 extensómetro Kyowa de 25 cm (10") em cada célula de betão crivado	
<i>Vilarinho das Furnas</i>	1970	2	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	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, 1968b) e esquemas de colocação LNEC
<i>Régua</i>	1970	2	Integral e crivado pelo peneiro de 70 mm	Metálicos	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	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 ²	Metálicos	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	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
<i>Torrão</i>	1985-1986	12	Integral e crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	1 extensómetro Kyowa de 45 cm em cada célula de betão integral	(LNEC, 1985; Pinho, 1989) e esquemas de colocação LNEC
		1 célula dupla ³	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	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, 1986a) e esquemas de colocação LNEC
		1 célula dupla ¹	Integral			
<i>Alto Lindoso</i>	1988-1989	6	Integral, crivado pelo peneiro de 76 mm e crivado pelo peneiro de 38 mm	Metálicos	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	1 extensómetro RST de 50 cm (20") em cada célula de betão integral	(LNEC, 1987) 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	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	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

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

² Informação sobre a dimensão do peneiro utilizado na crivagem não se encontra disponível.

³ Uma célula dupla consiste na sobreposição de duas células intercaladas por um macaco plano.

2.3.2 Células de fluência com 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, gerando uma câmara vazia em torno do provete (Figura 2.11).

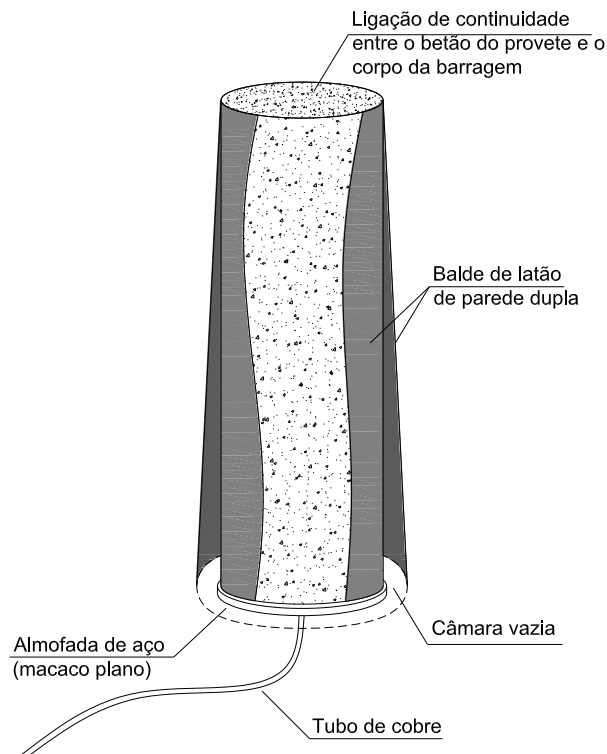


Figura 2.11 – Esquema das células de fluência com moldes metálicos

A Figura 2.12 mostra as dimensões usualmente utilizadas nos provetes, em função da máxima dimensão do agregado, podendo notar-se que são respeitados, genericamente, os critérios referidos anteriormente para as dimensões dos provetes e para a base de medida.

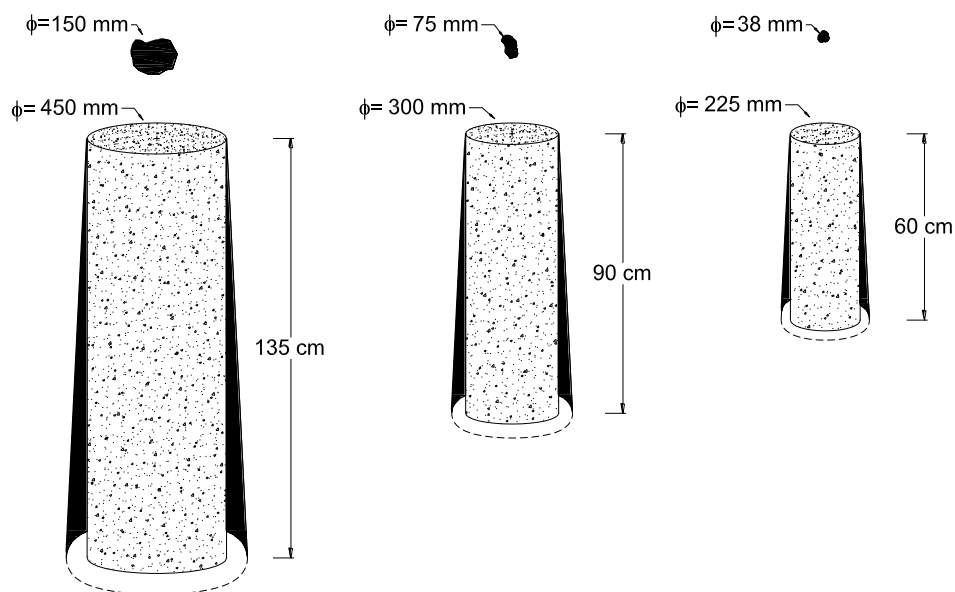


Figura 2.12 – Dimensões usuais das células de fluência com moldes metálicos e correspondente máxima dimensão do agregado

Na Figura 2.13 estão representadas, para além das dimensões normalmente utilizadas para os provetes, o posicionamento dos extensómetros do tipo Carlson no interior das células. As células de maiores dimensões permitem o ensaio de betão integral com máxima dimensão do agregado até 150 mm. Os extensómetros utilizados são do tipo Carlson A20, com base de medida de 50 cm. Esta célula é designada correntemente por célula de betão integral.

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 na célula média, que tem diâmetro de 300 mm, e o betão crivado pelo peneiro de 38 mm (crivado #38) é colocado na célula com diâmetro de 225 mm.

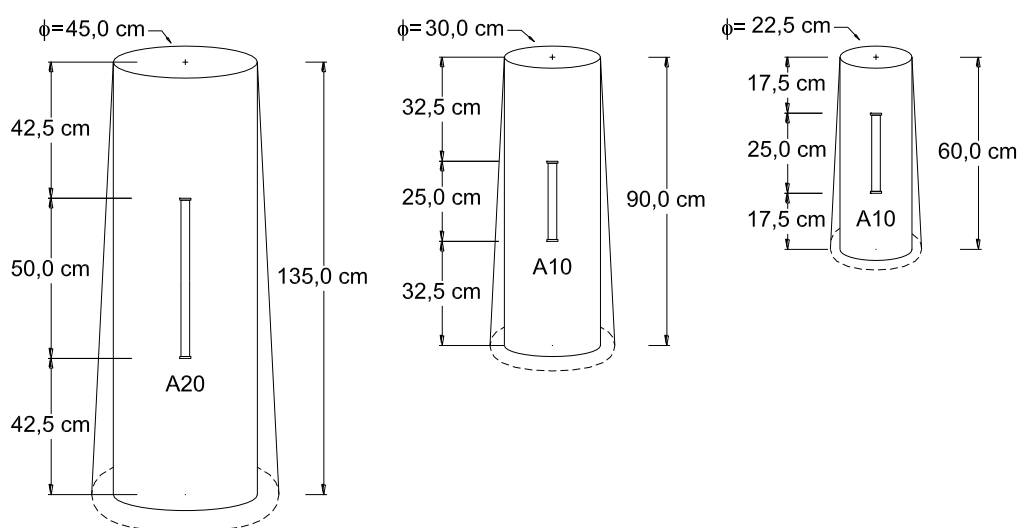


Figura 2.13 – Representação da relação entre as dimensões dos provetes e a base de medida, nas células de fluência com moldes metálicos

A Figura 2.14 apresenta vistas dos elementos constituintes do sistema de carga, o molde metálico, o extensómetro no seu interior e a montagem dos componentes.

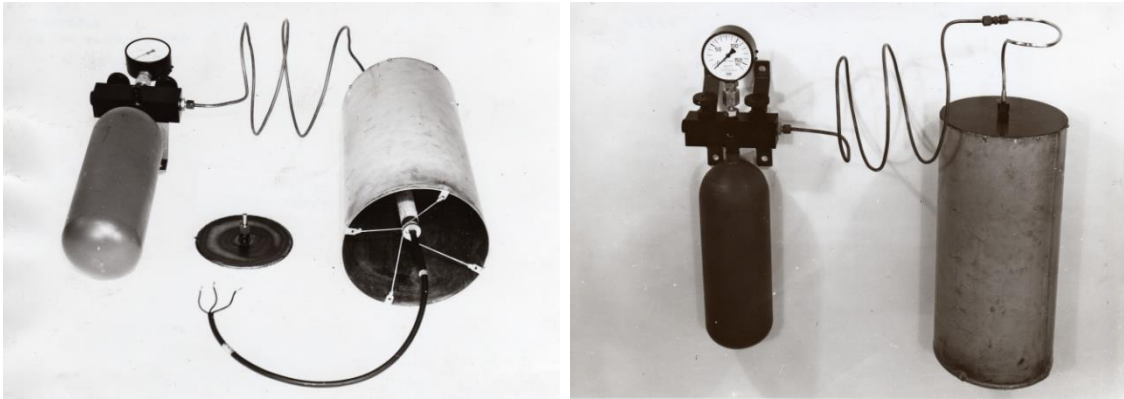


Figura 2.14 – Vistas dos diversos componentes das células de fluência com moldes metálicos

2.3.3 Células de fluência com moldes de EPS

O sistema de células de fluência com moldes metálicos, atrás descrito, foi melhorado recentemente, tendo sido introduzidas alterações no tipo de moldes e na dimensão dos provetes, bem como na instrumentação utilizada. Estes melhoramentos deveram-se a alguns problemas existentes em células de fluência de barragens em exploração e foram aplicados nas barragens de montante do Baixo Sabor e Ribeiradio.

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 dos provetes. 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 eliminando praticamente a contribuição da rigidez do molde.

No Quadro 2.3 apresentam-se as principais características mecânicas e térmicas do EPS. Na barragem de montante do Baixo Sabor foram utilizados moldes de EPS 150 e na barragem de Ribeiradio optou-se pelo EPS 100.

Quadro 2.3 – Características mecânicas e térmicas do EPS⁴

	EPS 30	EPS 60	EPS 100	EPS 150	EPS 200
Massa volúmica (kg/m ³)	-	15	20	25	30
Condutibilidade térmica (W/m°C)	0,042	0,038	0,036	0,034	0,033
Resistência à compressão a 10% de deformação (kPa)	30	60	100	150	200
Resistência à compressão a 2% de deformação (kPa)	5	15	25	35	50
Resistência à flexão (kPa)	50	100	150	200	250
Coefficiente de dilatação térmica linear	5 - 7×10 ⁻⁵				

Na Figura 2.15 apresentam-se os diagramas tensão-deformação do EPS, para diferentes valores da massa volúmica. Para uma deformação de 2% o módulo de elasticidade secante é de cerca de 1,75 MPa para o EPS 150 e 1,5 MPa para o EPS 100.

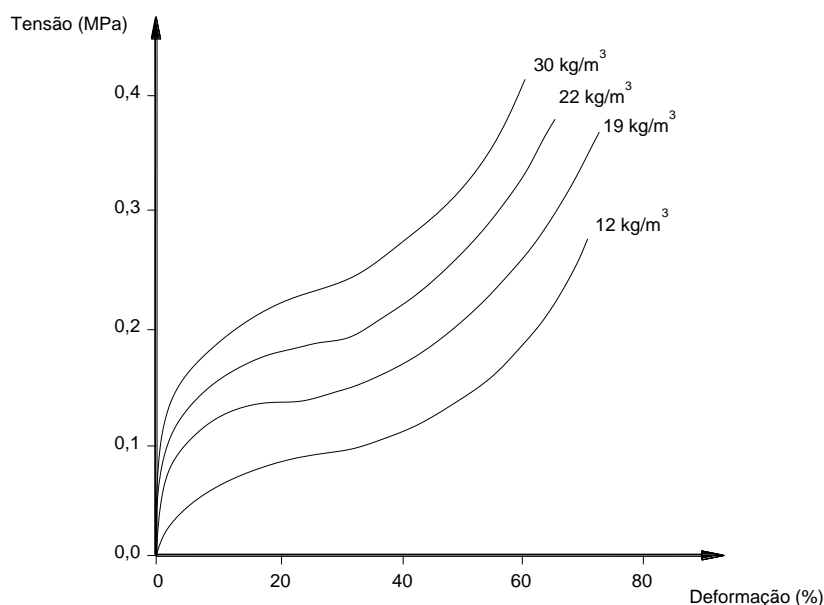


Figura 2.15 – Diagramas tensão-deformação para diferentes valores de massa volúmica do EPS⁵

No Quadro 2.4 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.

⁴ Adaptação a partir da informação disponibilizada pela empresa PLASTIMAR, S.A., através do site <http://www.plastimar.pt>

⁵ Informação disponibilizada pela ACEPE - Associação Industrial do Poliestireno Expandido, através do site <http://www.acepe.pt>

Quadro 2.4 – 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 metálica (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 (Figura 2.16).

No sentido de avaliar a uniformidade da aplicação da pressão do óleo, através da almofada, para o provete, o que é especialmente importante nos provetes de maior dimensão, optou-se, nesta nova solução, por embeber três extensómetros do tipo Carlson A20 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. As dimensões dos restantes provetes não foram alteradas (Figura 2.17).

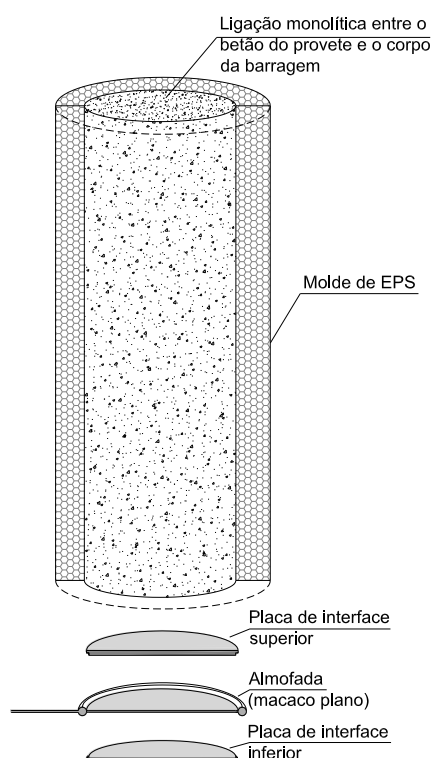


Figura 2.16 – Esquema em perspetiva das células de fluência com moldes de EPS

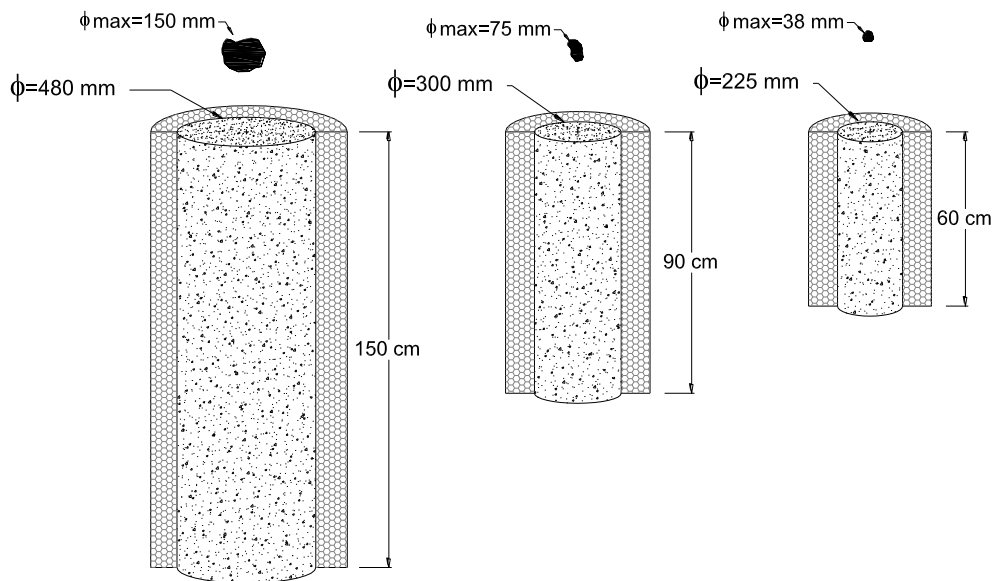


Figura 2.17 – Dimensões das células de fluência (sistema melhorado) e correspondente dimensão máxima do agregado

Na Figura 2.18 estão representados os posicionamentos dos extensómetros do tipo Carlson no interior das células. As designações correntes de cada célula mantiveram-se e as células corretoras são idênticas às células ativas, com a diferença da inexistência de sistema de carga e de na célula de betão integral se ter utilizado um único extensómetros A20, centrado na secção transversal.

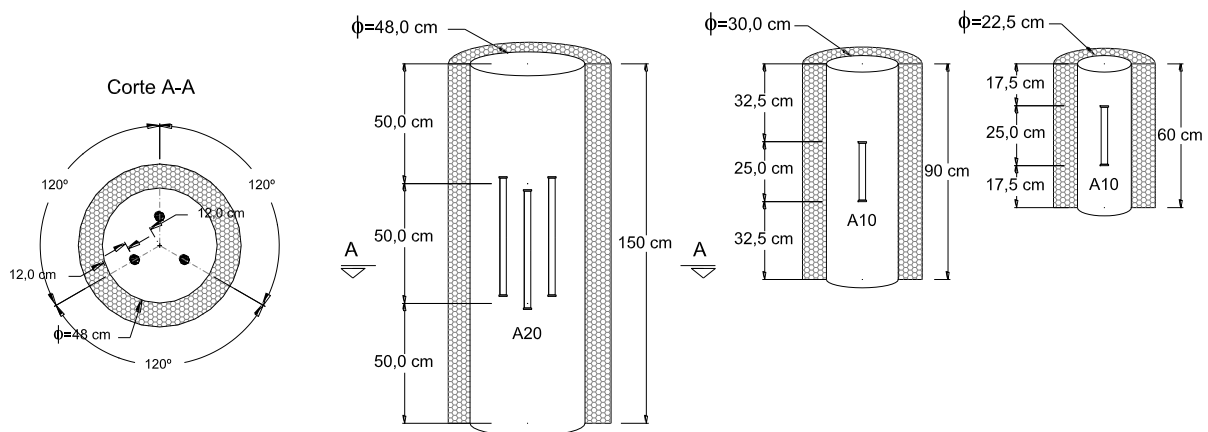


Figura 2.18 – Esquema da relação entre as dimensões dos provetes e a base de medida de cada célula de fluência

A Figura 2.19 e a Figura 2.20 apresentam vistas da instalação das células de fluência na barragem de montante do Baixo Sabor.



Figura 2.19 – Vista, antes da betonagem, de um conjunto de células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor



Figura 2.20 – Equipamentos aparentes do sistema de carga de um conjunto de células de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor

3 | Planeamento dos ensaios de deformabilidade do betão de barragens

3.1 Considerações gerais

Usualmente apenas a deformabilidade instantânea do betão, a diversas idades, é caracterizada através de ensaios de módulo de elasticidade. No entanto, no que diz respeito ao betão de grandes estruturas, como barragens e pontes, é comum, dada a necessidade de conhecer o seu comportamento a longo prazo, efetuar ensaios específicos em laboratório para determinação da função de fluência, ou seja, da evolução das extensões ao longo do tempo para cargas constantes. Como referido, nas obras mais importantes recorre-se ainda a ensaios de fluência *in situ*, utilizando células de fluência nas barragens e provetes específicos nas pontes, para determinar, em condições de obra, a deformabilidade do betão estrutural.

Sendo os ensaios laboratoriais de fluência feitos com betão crivado, com as células de fluência pretende-se, para além de caracterizar a deformabilidade do betão integral, conhecer a relação com a deformabilidade do betão crivado e, também, a influência das condições *in situ*.

Este tipo de ensaios, em laboratório e *in situ*, envolvem encargos elevados, associados aos custos de equipamentos, materiais e mão de obra. A estes encargos acrescem os devidos à manutenção dos sistemas de carga das células ao longo dos anos. Assim, nos planos de observação são tomadas as decisões sobre o número, localização e tipo de ensaios a efetuar, tendo em consideração as necessidades de conhecimento das características de deformabilidade do betão e a racionalização de custos.

A construção assume um papel essencial no processo de caracterização da deformabilidade do betão, uma vez que é nesta fase que se preparam e executam a maior parte dos ensaios, envolvendo o projeto e montagem de equipamentos, a afetação de materiais e mão de obra, o próprio controlo da qualidade dos ensaios e o registo de toda a informação relevante, em laboratório e *in situ*.

A localização das células de fluência no corpo da barragem deve ser escolhida de forma a não limitar os trabalhos de construção. Assim, devem ser implantadas em blocos suficientemente grandes para acomodar a instalação sem interferência com outro tipo de instrumentação e ou de equipamentos. A escolha dos locais deve também considerar a utilização do betão dominante em obra, com composição já estabilizada.

A orientação dos grupos de células deve ser tal que as células ativas e corretoras fiquem dispostas ao longo de alinhamentos paralelos aos paramentos, de forma a terem condições termo-higrométricas semelhantes (ver anexo A.1).

Os resultados nos ensaios realizados podem aconselhar a redefinição dos próprios ensaios, o ajuste de alguns procedimentos e a necessidade de ações de manutenção ou de melhoramento dos equipamentos.

3.2 Definição de planos de carga e de leituras

O plano de carga e de leituras de cada grupo de células deve definir as idades da aplicação de carga, as idades dos ensaios de determinação dos módulos de elasticidade e a periodicidade de leituras durante os ensaios. Neste tipo de planeamento devem ser considerados períodos de manutenção e de reavaliação do sistema, após análise dos resultados.

No que diz respeito aos planos de carga sugere-se a escolha das idades de aplicação da carga para ensaios de fluência aos 28, 90, 180, 270 e/ou 365 dias e a execução periódica de ensaios de determinação do módulo de elasticidade (incluindo em períodos antes do início dos ensaios de fluência) (anexo A.2).

Quanto ao plano de leituras, recomenda-se que tenha início antes da aplicação da carga, para determinação das deformações autogéneas iniciais. A partir do momento de aplicação da carga, deve ser reforçada a sua frequência, como exemplificado no anexo A.2. Para determinar as variações de temperatura ocorridas, o plano de leituras deve seguir o definido para a restante aparelhagem elétrica embebida (imediatamente após carga; nas 1^a, 4^a, 8^a, 12^a e 24^a horas do primeiro dia após betonagem; uma vez por dia durante a primeira semana; três vezes por semana nas três semanas seguintes; e uma vez por semana até ao início do ensaio de fluência).

Uma particular atenção deve ser dada ao período inicial do ensaio de fluência, nomeadamente na carga e na descarga (período sem carga após um ensaio de fluência), onde as curvaturas da função de fluência e de recuperação de fluência têm maiores variações. Recomenda-se a seguinte sequência de leituras, após o momento de aplicação da carga ou descarga: 1, 4, 8, 12 e 24 horas, no primeiro dia; 1 vez por dia durante a primeira semana; 3 vezes por semana nas três semanas seguintes; 1 vez por semana durante o resto do ensaio.

3.3 aspetos relevantes dos ensaios laboratoriais

Na preparação dos ensaios laboratoriais de fluência do betão crivado é necessário ter em consideração os objetivos deste tipo de ensaios, definir as suas características e especificar os requisitos associados aos equipamentos a utilizar. O Quadro 3.1 pretende sintetizar os aspetos relevantes deste tipo de ensaios, apresentando-se as diferentes opções e os cuidados a considerar.

Quadro 3.1 – Aspectos relevantes dos ensaios laboratoriais de fluência do betão crivado

Definições dos ensaios	Opções	Aspectos a ter em consideração
<i>Tipo de ensaios</i>	Ensaio de módulo de elasticidade Ensaio de fluência	Velocidade de aplicação da carga compatível com a especificação LNEC-E397 (20 kN/s)
<i>Número de provetes</i>	$N = 3 \times CF$ CF – nº de células de fluência	Representatividade do betão da obra (betão dominante), em correspondência com as células de fluência instaladas Representatividade estatística Representatividade da função de fluência (carga em diversas idades: 28, 90 e 365 dias) Provetes para determinação das extensões autogéneas de volume
<i>Forma e dimensão dos provetes</i>	Prismática: 20x20x60 cm Cilíndrica: Ø=15 cm, H=30 cm	Relações mínimas entre dimensão transversal do provete e máxima dimensão do agregado Relação entre altura e dimensão transversal do provete
<i>Tensão a aplicar</i>	Deverá ser inferior a 40% da tensão de rotura do betão Normalmente utiliza-se 50 bar, isto é, 5 MPa, que corresponde a um limite considerado aceitável para o betão de barragens	A tensão não deve ultrapassar 40% da tensão de rotura para que seja medida apenas a fluência primária (deve haver um especial cuidado na definição da carga de ensaio nos betões jovens, devido aos valores baixos da resistência)
<i>Grandezas a determinar</i>	Extensão: gama de medição de 0 a 1000×10^{-6} (valor máximo expectável, em compressão), precisão de $\pm 5 \times 10^{-6}$ Temperatura: gama de medição de 0 a 70°C, precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$	Deve ser verificada e modificada, se possível, a gama de medição dos extensómetros, em particular no caso dos extensómetros do tipo Kyowa, em que o campo de medição é, em regra, entre $+400 \times 10^{-6}$, em tração, e 500×10^{-6} , em compressão
<i>Técnica de medição</i>	Extensometria embebida: a base de medida corresponde ao comprimento do extensómetro Transdutor na face: a base de medida pode ser adaptada	Devem ser cumpridos os comprimentos estabelecidos anteriormente face à dimensão máxima do agregado
<i>Plano de carga</i>	Ciclos de carga/descarga, para determinação do módulo de elasticidade, no início do ensaio de fluência, e em idades previamente definidas Carga constante para determinação da fluência Descargas, em idades previamente definidas, para avaliação da recuperação de fluência	
<i>Plano de leituras</i>	As leituras devem ser realizadas com espaçamento uniforme no tempo, em escala logarítmica, após cada operação de carga/descarga	
<i>Duração dos ensaios</i>	1 a 2 anos	Dependerá dos objetivos do ensaio, dos resultados obtidos e da disponibilidade de recursos
<i>Condições ambientais dos ensaios</i>	Provetes selados (em condições autogéneas) a temperatura constante de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	

3.4 Aspectos relevantes dos ensaios *in situ*

No Quadro 3.2 apresentam-se os aspectos relevantes dos ensaios *in situ* em de células de fluência e os cuidados a ter em consideração.

Quadro 3.2 – Aspectos relevantes dos ensaios de fluência *in situ*

Definições do ensaio	Opções	Aspectos a ter em consideração
Localização	Corpo da barragem	No betão dominante, numa fase da obra em que a sua composição já esteja estabilizada Em secção espessa e desimpedida, junto ao folheto médio, a meia distância entre juntas de contração Facilidade de acesso, instalação e de ligação ao nicho de inserção do sistema de carga
Tipo de betão	Integral Crivado	Crivagem em fresco do betão integral no bloco, usando os respetivos peneiros
Tipo de ensaio	Ensaio de módulo de elasticidade Ensaio de fluência	Velocidade de aplicação da carga compatível com a especificação LNEC-E397 (20 kN/s), para possibilitar a comparação direta com os resultados de laboratório
Número de provetes	Grupo de células de fluência: 1 célula ativa de betão integral - CFI 1 célula corretora de betão integral 1 célula ativa de betão crivado com peneiro de 75 mm (opcional) - CFM 1 célula corretora de betão crivado com peneiro de 75 mm (opcional) 1 célula corretora de betão crivado com peneiro de 38 mm - CFC 1 célula corretora de betão crivado com peneiro de 38 mm	Representatividade do betão da obra (betão dominante) Representatividade estatística Representatividade da função de fluência (carga a diversas idades: 28, 90 e 365 dias) As células de betão crivado com peneiro de 75mm são opcionais, dependendo dos objetivos do estudo
Forma dos provetes	Cilíndrica	
Dimensão dos provetes	<i>Solução tradicional:</i> Ø=45 cm, H=135 cm (CFI) Ø=30 cm, H=90 cm (CFM) Ø=22,5 cm, H=60 cm (CFC) <i>Solução melhorada:</i> Ø=48 cm, H=150 cm (CFI) Ø=30 cm, H=90 cm (CFM) Ø=22,5 cm, H=60 cm (CFC)	Relações mínimas entre dimensão transversal do provete e máxima dimensão do agregado. Relação entre altura e dimensão transversal do provete
Tensão a aplicar	Deverá ser inferior a 40% da tensão de rotura do betão. Normalmente utiliza-se 50 bar, isto é, 5 MPa, que corresponde a um limite considerado aceitável para o betão de barragens.	A tensão não deve ultrapassar 40% da tensão de rotura para que seja medida apenas a fluência primária (deve haver um especial cuidado na definição da carga de ensaio nos betões jovens, devido aos valores baixos da resistência)
Grandezas a determinar	Extensão: gama de medição de 0 a 1000×10^{-6} (valor máximo expectável, em compressão), precisão de $\pm 5 \times 10^{-6}$ Temperatura: gama de medição de 0 a 70°C, precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$	Deve ser verificada e modificada, se possível, a gama de medição dos extensómetros, em particular no caso dos extensómetros do tipo Kyowa, em que o campo de medição é, em regra, entre $+400 \times 10^{-6}$, em tração, e 500×10^{-6} , em compressão
Grandezas a determinar	Extensão: gama de medição de 0 a 2000×10^{-6} , precisão de $\pm 5 \times 10^{-6}$ Temperatura: gama de medição de 0 a 70°C, precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$	A gama de medição dos extensómetros do tipo A20 é, em regra, de $+400/-500 \times 10^{-6}$
Base de medição	Extensometria embecida: a base de medida corresponde ao comprimento do extensómetro	Devem ser cumpridos os comprimentos estabelecidos anteriormente face à dimensão máxima do agregado
Número de pontos de medição	Devem ser medidas as extensões, sempre que possível, em mais do que um alinhamento do provete	No caso das células de betão integral é recomendável a medição das extensões com pelo menos dois extensómetros embecidos
Plano de carga	Ciclos de carga/descarga, para determinação do módulo de elasticidade, no início do ensaio de fluência, e em idades previamente definidas Carga constante para determinação da fluência Descargas, em idades previamente definidas, para avaliação da recuperação de fluência	
Plano de leituras	As leituras devem ser realizadas com espaçamento uniforme no tempo, em escala logarítmica, após cada operação de carga/descarga	
Duração do ensaio	2 a 3 anos	Dependerá dos objetivos do ensaio, dos resultados obtidos e da disponibilidade de recursos.
Condições ambientais de ensaio	Condições termo-higrométricas iguais às do corpo da obra	

3.5 Outros ensaios complementares

Para além dos ensaios correntes realizados durante a construção e dos ensaios de fluência *in situ* e em laboratório, poderão ser efetuados outros ensaios específicos que permitem um melhor conhecimento do comportamento reológico do betão, de forma direta ou indireta. De entre estes ensaios complementares podem referir-se os seguintes:

- Determinação da curva tensão-extensão até à rotura sob extensão controlada;
- Determinação da função de fluência em tração;
- Determinação da função de fluência da pasta de cimento e da argamassa;
- Determinação do calor de hidratação da pasta de cimento.

Contudo, a abordagem dos ensaios respetivos sai fora do âmbito do presente trabalho.

4 | Aspectos práticos da realização de ensaios de deformabilidade do betão de barragens

4.1 Considerações gerais

Neste capítulo apresentam-se os aspectos práticos relativos à execução de ensaios de fluência, incluindo a instalação de grupos de células de fluência em obra e a preparação dos provetes para ensaio em laboratório.

Como referido, na fase construtiva é necessária a mobilização de recursos materiais e humanos para a instalação das células de fluência e para a execução dos ensaios. De entre esses recursos destacam-se os equipamentos (sistemas de carga, dispositivos de medição de extensões, calibradores, sistemas de aferição e sistemas de aquisição), a mão de obra (no campo e em laboratório) e, previamente, os recursos financeiros, para aquisição e montagem de equipamentos.

4.2 Ensaios laboratoriais

4.2.1 Aspectos relevantes

No sentido de apoiar a execução de ensaios de fluência em laboratório, o Quadro 4.1 apresenta, para este tipo de ensaios, os principais aspectos a ter em consideração relativamente às possibilidades existentes e às escolhas a fazer.

Quadro 4.1 – Aspectos relevantes na preparação dos ensaios em laboratório

	Condições dos ensaios	Aspectos a ter em consideração
<i>Equipamentos</i>	Moldes	Garantia de planura e perpendicularidade das faces
	Medição das extensões: Extensómetro embebido (Carlson, corda vibrante, fibra ótica) Transdutores de deslocamento fixos nas faces Transdutor móvel para aferição dos extensómetros embebidos e transdutores fixos (por exemplo, alongâmetro)	Aferição e calibração dos aparelhos de medida Alteração do campo de medida dos extensómetros Carlson e Kyowa para ampliar o campo em compressão
	Leitura das extensões: Manual e automática	Aferição do sistema de leitura (caixa Carlson, caixa Kyowa, Datataker)
	Medição das pressões: Transdutores de pressão ligados ao sistema de carga. Manómetros óleo-hidráulicos ligados ao sistema de carga	Aferição e calibração de transdutores e manómetros
	Sistema de carga	Aferição da pressão imposta pelo sistema de carga nas máquinas de ensaio
	Bomba de óleo	Aferição da bomba e do respetivo manómetro
<i>Selagem dos provetes</i>	Selagem com cobre, pintura, plástico ou chumbo	
<i>Condições ambientais do ensaio</i>	Condições semicontroladas: sala de ensaios do DBB	É importante manter um valor constante da temperatura. Na sala de ensaios do DBB não é possível garantir o controlo da temperatura mas as variações são pouco significativas. Uma vez que os provetes são selados, não é necessário o controlo da humidade da sala de ensaios, mas tem que ser garantida a estanquidade da selagem dos provetes
	Condições controladas: sala de ensaios do Departamento de Materiais (DM)	

4.2.2 Planeamento das atividades

Refere-se, de seguida, o planeamento das principais atividades a desenvolver para a realização dos ensaios de fluência em laboratório, apontando-se ainda algumas particularidades da sua execução.

Preparação prévia:

1. *Aferição da unidade de aquisição automática/manual*

As unidades Kyowa e RST devem ser aferidas através da comparação da resistência total (RT, em Ω) e da relação de resistências (RR, em %) lidas na unidade de aquisição a testar e a imposta na caixa de resistências disponível. A ficha de aferição das unidades de aquisição apresenta-se no anexo B.1.

2. *Teste de pressão aos sistemas de carga*

O teste de pressão dos macacos planos consiste em intercalar uma almofada e as respetivas placas de interface entre os pratos de uma prensa. Efetuam-se ciclos de carga e descarga, controlando a força aplicada na prensa e comparando com a medição de pressão na almofada. O patamar máximo de pressão das células é, usualmente, 70 bar.

Neste teste verificam-se eventuais fugas na soldadura dos macacos planos e confirma-se a sua capacidade de carga.

Os componentes do sistema de carga aparentes no nicho devem também ser testados e verificados com um ensaio de pressão em laboratório. Os principais componentes são as válvulas de segurança e as válvulas do bloco, a própria botija de armazenamento de óleo e azoto e a tubagem de cobre (Anexo D.2).

3. *Calibração dos extensómetros a instalar nos provetes*

A calibração dos extensómetros faz-se através da prensa desenvolvida para o efeito em 2012 e utilizada correntemente, pela primeira vez, nas barragens do Baixo Sabor (Ferreira *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2013). O procedimento consiste em impor incrementos de deslocamento axial, mecanicamente, a uma das extremidades do extensómetro, através de um parafuso micrométrico, sendo estes deslocamentos registados por um comparador (as deformações impostas são calculadas dividindo o seu valor pelo comprimento do extensómetro). Uma unidade de leitura permite determinar a extensão a partir da respetiva constante e da relação de resistências R_1 e R_2 . Um bom desempenho do extensómetro corresponde a uma igualdade das deformações impostas exteriormente e das medidas através da relação das resistências. O campo de deformações impostas deve variar entre 0,25% em alongamento e 0,50% em encurtamento (valores mínimos e máximos indicados como limites do campo de medição).

No anexo B.2 é apresentada uma ficha de calibração de um extensómetro instalado numa célula de fluência da barragem de montante do Baixo Sabor.

Na Figura 4.1 apresenta-se uma vista geral dos equipamentos utilizados na calibração de extensómetros, incluindo a prensa, a caixa de leitura e a respetiva ficha, implementada em computador através de uma folha de cálculo.

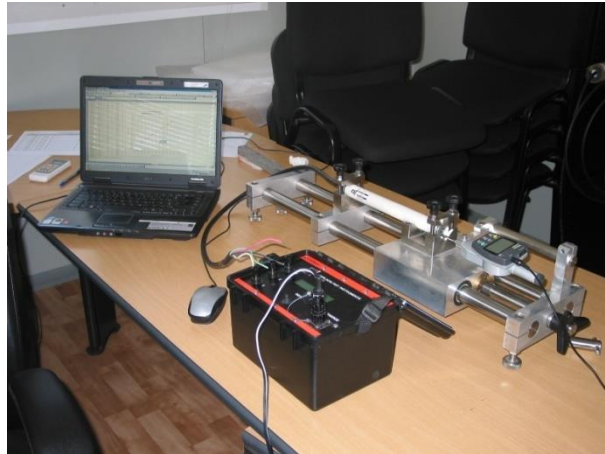


Figura 4.1 – Aspeto da calibração de extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson

4. *Registo da identificação e das constantes dos extensómetros de resistência elétrica (anexo B.3)*
5. *Montagem dos moldes*

Os moldes utilizados para este tipo de ensaios têm sido metálicos que, apesar do seu elevado peso, garantem os critérios de planura e perpendicularidade necessários. A utilização deste tipo de moldes implica uma limpeza prévia, a montagem das faces laterais na base do fundo e a instalação de pernos para o registo de leituras com transdutores de deslocamento nas faces (Figura 4.2). Estes pernos salientes são as extremidades de varões lisos que atravessam o provete.



Figura 4.2 – Preparação dos moldes

6. *Instalação dos extensómetros no molde*

A instalação dos extensómetros no interior dos moldes é feita usualmente com recurso a arame de atar que liga a cabeça do extensómetro aos varões dos pernos. A utilização de uma bitola, feita previamente, pode ajudar no posicionamento do extensómetro centrado em altura e largura do molde (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Instalação de extensómetros do tipo Carlson no interior dos moldes prismáticos com recurso a bitolas

Local de betonagem:

7. *Registo dos dados relativos à betonagem (Fichas de ensaio do anexo B.5):*
 - a. Registo dos elementos da equipa responsável;
 - b. Registo da designação dos provetes a betonar;
 - c. Registo do bloco a betonar;
 - d. Registo da composição;
 - e. Registo dos resultados dos ensaios sobre o betão fresco (abaixamento em cone de Abrams e medição da sua temperatura);
 - f. Registo da data e hora;
 - g. Registo das condições de moldagem;
 - h. Registo das condições de cura;
 - i. Registo de leituras de controlo antes da betonagem;
 - j. Registo de outras condições relevantes (por exemplo, condições ambientais).
8. *Aplicação do óleo descofrante nos moldes*
9. *Crivagem do betão fresco com o respetivo peneiro*

Os procedimentos de crivagem devem ser idênticos aos efetuados usualmente em obra, na montagem dos grupos de extensómetros (Figura 4.4).



Figura 4.4 – Chegada do betão ao cais de baldes (esquerda) e crivagem do betão integral (direita).

10. *Moldagem dos provetes segundo os procedimentos descritos em §2.2.1*

11. *Registo de leitura de controlo após betonagem (fichas de ensaio do anexo B.5)*

12. *Cura do betão*

As condições de armazenamento e de cura dos provetes devem ser garantidos, em particular em obra, em termos de humidade e temperatura (§2.2.1).

13. *Selagem dos provetes ou descofragem, conforme o caso*

Caso seja necessário garantir uma perda nula de água no provete moldado, a selagem do provete deverá ser em fresco, recorrendo a uma camisa de chumbo ou cobre (Figura 4.5 e Figura 4.6). Se a selagem em fresco não for possível, os provetes devem ser envolvidos provisoriamente com geotêxtil humedecido e película de plástico e mantidos em ambiente húmido até que a selagem definitiva seja efetuada (de preferência, até 24 horas depois da moldagem).



Figura 4.5 – Moldes prismáticos com selagem de cobre e extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson instalados



Figura 4.6 – Selagem dos provetes em fresco após moldagem

14. Transporte dos provetes para o destino e acondicionamento nas condições previstas

Para o transporte, em geral nas primeiras idades, deverá ser mobilizada uma viatura com dimensões adequadas, de modo a que os provetes sejam colocados na horizontal, sem sobreposição, e devidamente amarrados no interior da viatura. Caso seja possível, os provetes devem ser transportados em conjunto com os moldes (antes da desmoldagem), para evitar danos e perdas de humidade durante o transporte. Deverá ser prevista uma guia de transporte para a viatura.

Realização dos ensaios:

15. Ensaios de módulo de elasticidade às idades definidas

Nos ensaios devem ser utilizadas as fichas específicas (fichas de ensaio do anexo B.6), onde estão definidas a idade do betão à data de ensaio e as condições do ensaio, entre outros elementos.

Este tipo de ensaios deve seguir um planeamento previamente definido, sendo que se recomenda a consideração das idades usuais de ensaios do betão: 7, 14, 28, 90, 180, 270 e/ou 365 dias.

16. Ensaios de fluência

- a. Registo das leituras iniciais antes do primeiro carregamento (*fichas de ensaio do anexo B.7*);
- b. Aplicação da carga (após ensaio de módulo de elasticidade);
- c. Registo das leituras de forma continuada conforme o plano de ensaios (*fichas de ensaio do anexo B.7*).

Em obra o acondicionamento e o transporte dos provetes constituem pontos importantes para o sucesso do plano de ensaios. Será necessário em obra um local adequado para manter os provetes até à data de início do ensaio, de preferência em ambiente húmido.

No anexo C.1 está listado o material e o equipamento a mobilizar para a execução dos ensaios em laboratório.

4.2.3 Determinação do módulo de elasticidade nos ensaios de fluência

Segundo o planeamento corrente dos ensaios, alguns dos ensaios de módulo de elasticidade devem ser efetuados antes que o ensaio de fluência, sob carga constante, tenha início. Para tal tem vindo a recorrer-se aos equipamentos disponíveis no DM, que permitem um controlo de carga mais rigoroso, melhores condições de ensaio e a comparação de leituras realizadas nas faces do provete com as leituras dadas pelo extensómetro do interior do provete.

Uma vez iniciado o ensaio de fluência o sistema de carga permite variar a pressão aplicada aos provetes de forma rápida, para determinar a parcela instantânea da deformação. Este sistema é um *bypass* feito no esquema de ligações à câmara de pressão (§2.2.2) onde a bomba de óleo injeta o óleo necessário às variações de pressão.

Recomenda-se que sejam efetuados dois ensaios de módulo de elasticidade, um feito previamente com os equipamentos do DM e outro com o sistema de carga do ensaio de fluência, para poder aferir a centragem do provete no prato inferior da câmara de pressão e o próprio sistema de carga.

A execução do ensaio de módulo de elasticidade deverá seguir a especificação LNEC E397 (LNEC, 1993). De entre as particularidades deste ensaio, a manutenção da velocidade de carga constante (usualmente de 20 kN/s), a centragem do provete e o instante de leitura são determinantes na obtenção do valor correto do módulo de elasticidade.

4.3 Ensaios *in situ*

4.3.1 aspetos relevantes

No Quadro 4.2 são apresentados os principais aspetos a considerar na preparação dos provetes para a realização dos ensaios *in situ*.

Quadro 4.2 – Aspetos relevantes na preparação dos ensaios *in situ*

	Condições dos ensaios	Aspetos a ter em consideração
<i>Equipamentos</i>	Moldes	Garantia de resistência das paredes do balde de face dupla ou do molde em EPS
	Medição das extensões: Extensómetro embecido (Carlson, corda vibrante, fibra ótica)	Aferição e calibração dos aparelhos de medida. Alteração do campo de medida dos extensómetros Carlson para ampliar o campo em compressão
	Leitura das extensões: Manual e automática	Aferição do sistema de leitura (caixa Carlson, caixa Kyowa, Datataker, ...)
	Medição das pressões: Transdutores de pressão ligados ao sistema de carga. Manómetros óleo-hidráulicos ligados ao sistema de carga	Aferição e calibração de transdutores e manómetros
	Sistema de carga	Aferição da pressão imposta pelas almofadas
	Bomba de óleo	Aferição da bomba e do respetivo manómetro

4.3.2 Planeamento das atividades

De seguida apresenta-se o planeamento das principais atividades a desenvolver para a realização dos ensaios de fluência *in situ*, tendo como referência o adotado na barragem de montante do Baixo Sabor.

Preparação prévia:

1. *Definição dos esquemas de instalação das células (anexo A.1)*

Os esquemas de instalação envolvem a localização relativa de cada célula e a localização absoluta no corpo da barragem. Para além disso, define-se a dimensão e a localização do nicho no interior da galeria, a armadura envolvente das células ativas e a instrumentação a colocar.

2. *Calibração dos manómetros/transdutores de pressão*

A aferição dos manómetros óleo-hidráulicos poderá ser feita recorrendo ao aferidor disponível no DBB e a manómetros devidamente calibrados. Este procedimento deverá incluir não só os manómetros a instalar em cada célula ativa mas também os manómetros das bombas de óleo utilizadas em obra e em laboratório. No caso de se recorrerem a transdutores de pressão ligados ao circuito hidráulico, integrados no sistema de aquisição automática, será necessária a sua calibração no Núcleo de Qualidade Metrológica do Centro de Instrumentação Científica (NQM/CIC).

3. *Calibração das almofadas (macacos planos)*

A calibração dos macacos planos para a aplicação da carga às células de fluência tem sido feita no Núcleo de Sistemas Mecânicos do Centro de Instrumentação Científica (NSM/CIC), que fabrica as próprias almofadas, até uma força máxima de 500 kN. Caso a almofada a ensaiar seja para uma força superior, deve recorrer-se à prensa disponível no DM.

O procedimento de calibração das almofadas consiste em intercalar a almofada num sistema de aplicação de forças, aplicar uma pressão inicial na almofada, por exemplo de 10 bar, e efetuar ciclos de carga e descarga até ao patamar de pressão a ensaiar. As variações de pressão devem ser impostas pela bomba de óleo a utilizar em obra. No decorrer do ciclo são registadas as variações de forças no sistema de reação.

4. *Calibração dos extensómetros*

Procedimento idêntico ao efetuado para os ensaios de laboratório (§4.2.2).

5. *Teste de pressão ao bloco de válvulas e da botija de armazenamento de óleo e azoto*

Este teste permite averiguar o funcionamento das válvulas no interior do bloco de comando, a existência de fugas e a eventual necessidade de substituição de acessórios.

6. *Teste de pressão à tubagem de cobre*

Pretende-se testar a ligação entre a almofada, a válvula de segurança e o bloco de comando, com o objetivo de detetar fugas, principalmente em soldaduras feitas na tubagem de cobre.

7. *Execução do nicho para alojar os sistemas de carga e de leitura*

O nicho de instalação do sistema de carga deve estar definido nos esquemas de instalação das células de fluência (anexo A.1) e a sua localização deverá ser informada atempadamente à obra (Figura 4.7). As dimensões e localização do nicho dependem do número de sistemas de armazenamento de óleo e azoto a instalar, dos condicionamentos da secção transversal da galeria e de equipamentos existentes na galeria. Deverá ser considerada uma porta de proteção, para limitar o acesso ao interior dos nichos.



Figura 4.7 – Execução de nicho em galeria: módulo de cofragem (à esquerda) e aspeto do nicho durante a descofragem (à direita)

8. *Montagem da armadura envolvente das células ativas*

A armadura envolvente das células ativas deve estar definida nos esquemas de instalação das células de fluência (anexo A.1) e a sua localização deverá ser informada atempadamente à obra. A amarração desta armadura na camada inferior implica a preparação deste trabalho previamente à instalação das células, devendo-se assegurar a verticalidade dos varões durante a betonagem.

9. *Execução das ligações dos cabos aos extensómetros*

As ligações dos cabos aos extensómetros devem ser feitas segundo os procedimentos usuais em obra. Estes procedimentos envolvem a medição da resistência total e da relação de resistências do extensómetro, a medição das resistências dos condutores, a ligação por soldadura de cada condutor (Figura 4.8 a), a selagem da junta através de uma manga termoretrátil (Figura 4.8 b) e, novamente, a medição da resistência total e da relação de resistências do extensómetro. Se possível, deverão ser soldados terminais de leitura nos condutores (Figura 4.8 c). O registo dos dados destas operações pode ser feito através da ficha do anexo B.4.

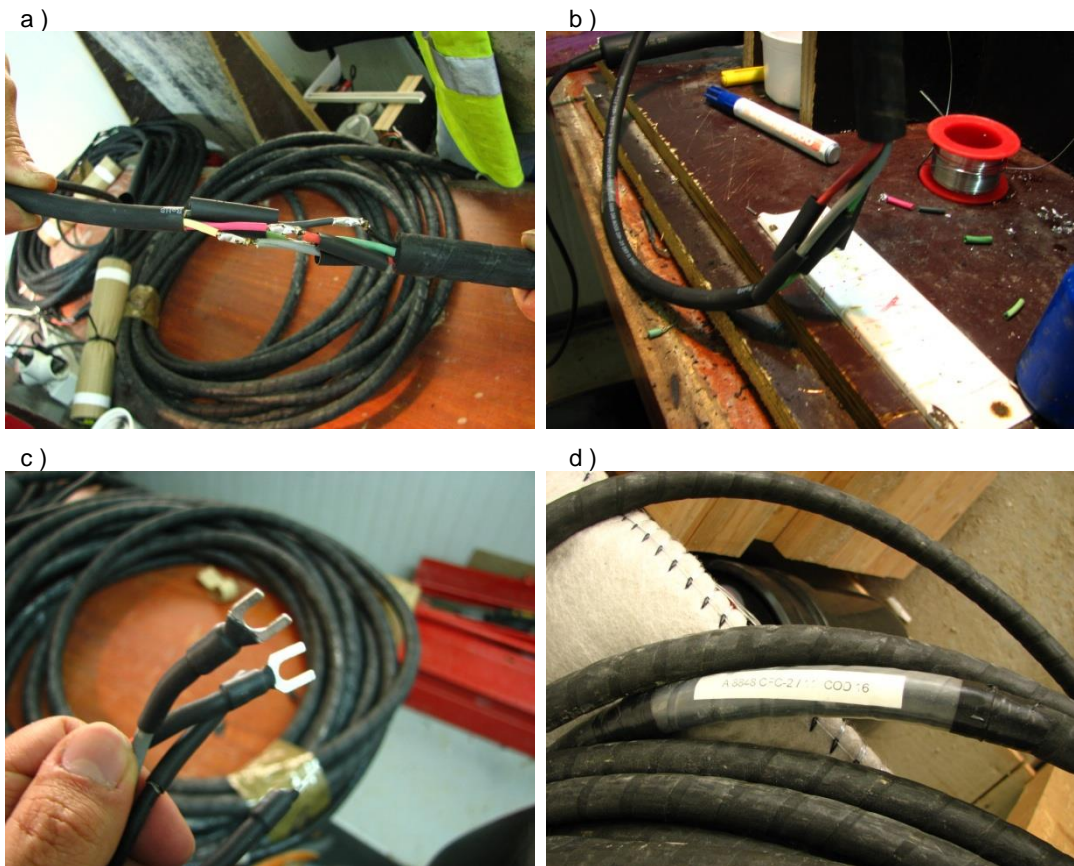


Figura 4.8 – Preparação e ligação dos cabos aos extensómetros

10. *Identificação e registo das constantes dos extensómetros (anexo B.3)*

Deverá ser fixada a identificação do código do extensómetro e da célula em questão junto à ponta solta do cabo (Figura 4.8 d), para não haver dúvidas relativamente às constantes de cálculo dos extensómetros embebidos.

11. *Preparação prévia do material necessário (anexo C.2 e D.1):*

a. Montagem dos moldes e dos extensómetros no interior

A preparação dos moldes de EPS envolve a colocação das cintas estabilizadoras ao longo da altura dos moldes (Figura 4.9 a), a execução de rasgos no fundo do molde das células ativas para acomodar a almofada (Figura 4.9 c e d) e a colocação dos extensómetros na posição correta com o recurso a arames de atar que atravessam as paredes do molde (Figura 4.9 f, g e h).

b. Registo de leituras de controlo dos extensómetros (anexo B.5).

12. *Preparação no local de montagem das células*⁶

- a. Transporte dos equipamentos e materiais para o bloco e para o nicho (Figura 4.10 a);
- b. Preparação da superfície horizontal de instalação das células

A superfície onde serão instaladas as almofadas deverá ser perfeitamente regular e horizontal. Nesse sentido, deverá evitar-se a lavagem dessa zona, para não expor os agregados (Figura 4.10 b e c). A ligação entre a chapa inferior de regularização da almofada e essa superfície pode fazer-se através de uma argamassa de regularização, que permita, por sua vez, garantir o nivelamento de todo o sistema de carga. Para melhorar a aderência entre a argamassa e a camada pode picar-se a área de posicionamento da almofada (Figura 4.10 c e d).

Após nivelamento e secagem da argamassa (Figura 4.10 e), intercala-se a almofada e a chapa superior de regularização da carga (Figura 4.10 f e g).

Os moldes de EPS são posicionados de forma a que a chapa superior ocupe a totalidade do interior e fique junto às paredes interiores do molde. De seguida, o espaço inferior entre a camada e o molde deverá ser preenchido com espuma de poliuretano (Figura 4.10 h).

Os procedimentos da montagem das células são apresentados em detalhe no anexo D.1.

- c. Ligação da tubagem de cobre à almofada no bloco e à válvula de segurança no nicho:

A ligação do tubo de cobre à almofada deve ser feita sem a introdução de ar no sistema. O enchimento da tubagem de cobre deve ser feito do nicho para a almofada e o sistema completamente ligado assim que o óleo atinja a extremidade superior (Figura 4.11 b e c).

A tubagem de cobre deve ser protegida com um tubo corrugado desde a saída da conduta técnica até à almofada (Figura 4.11 c e d).

13. *Registo de leitura de controlo após colocação (anexo B.5)*

14. *Registo dos dados da montagem dos moldes (anexo B.5):*

- a. Registo dos elementos da equipa responsável;
- b. Registo do bloco a betonar;
- c. Registo da composição do betão das células e do betão envolvente;

⁶ Esta atividade poderá ser antecipada até um dia antes da betonagem da camada do bloco em que as células são instaladas.

- d. Registo da data e hora;
- e. Registo das condições de moldagem;
- f. Registo das condições de cura;
- g. Registo de outras condições relevantes (por exemplo, condições ambientais, faseamento da betonagem).

15. *Tamponamento da conduta técnica no nicho*

16. *Enchimento da conduta técnica com argamassa (Figura 4.12)*

17. *Crivagem do betão fresco no bloco*

Os procedimentos de crivagem do betão devem ser idênticos aos efetuados usualmente em obra, por exemplo na instalação dos grupos de extensómetros (Figura 4.13 a a d).

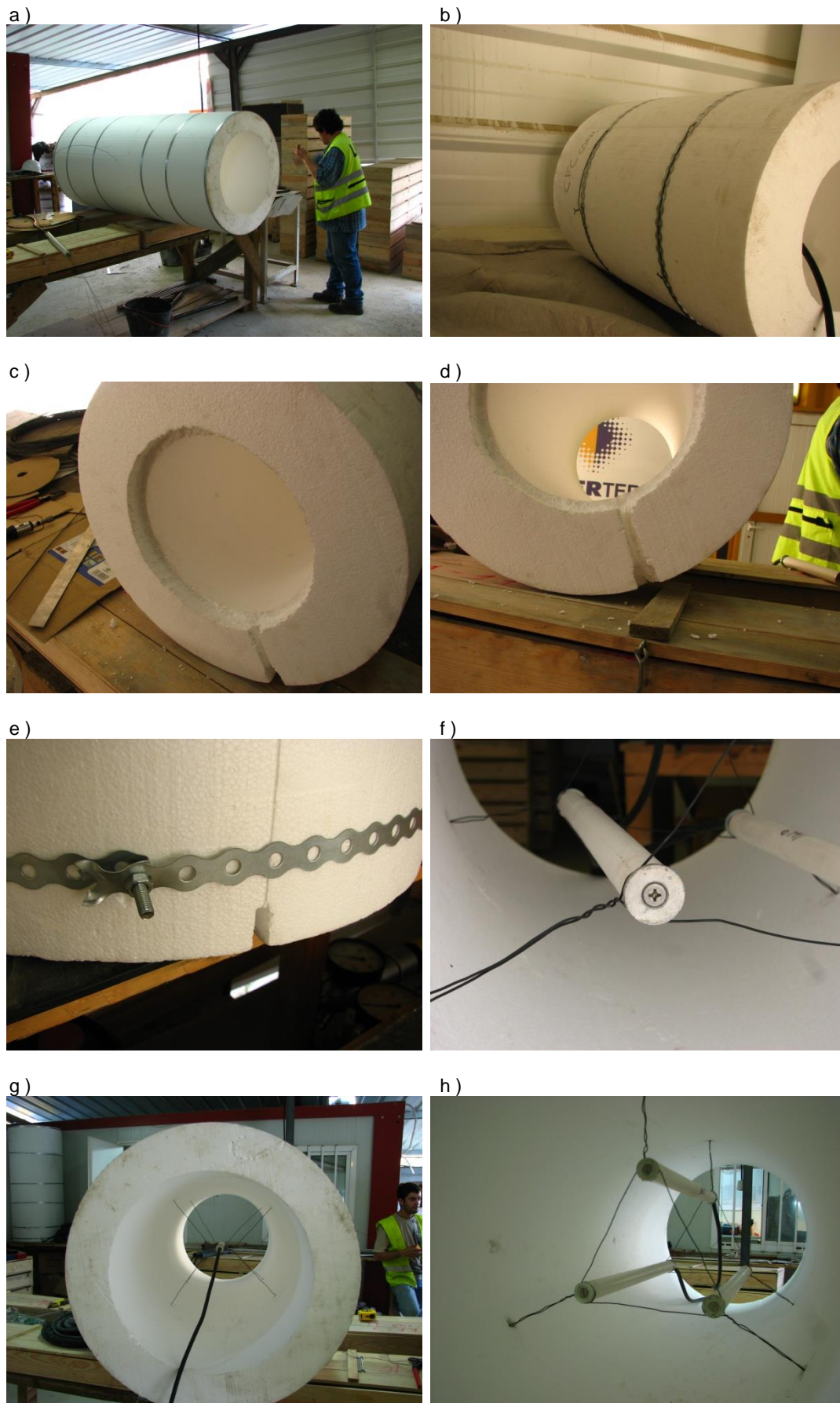


Figura 4.9 – Preparação prévia dos moldes de EPS



Figura 4.10 – Trabalhos preparatórios de instalação dos moldes de EPS

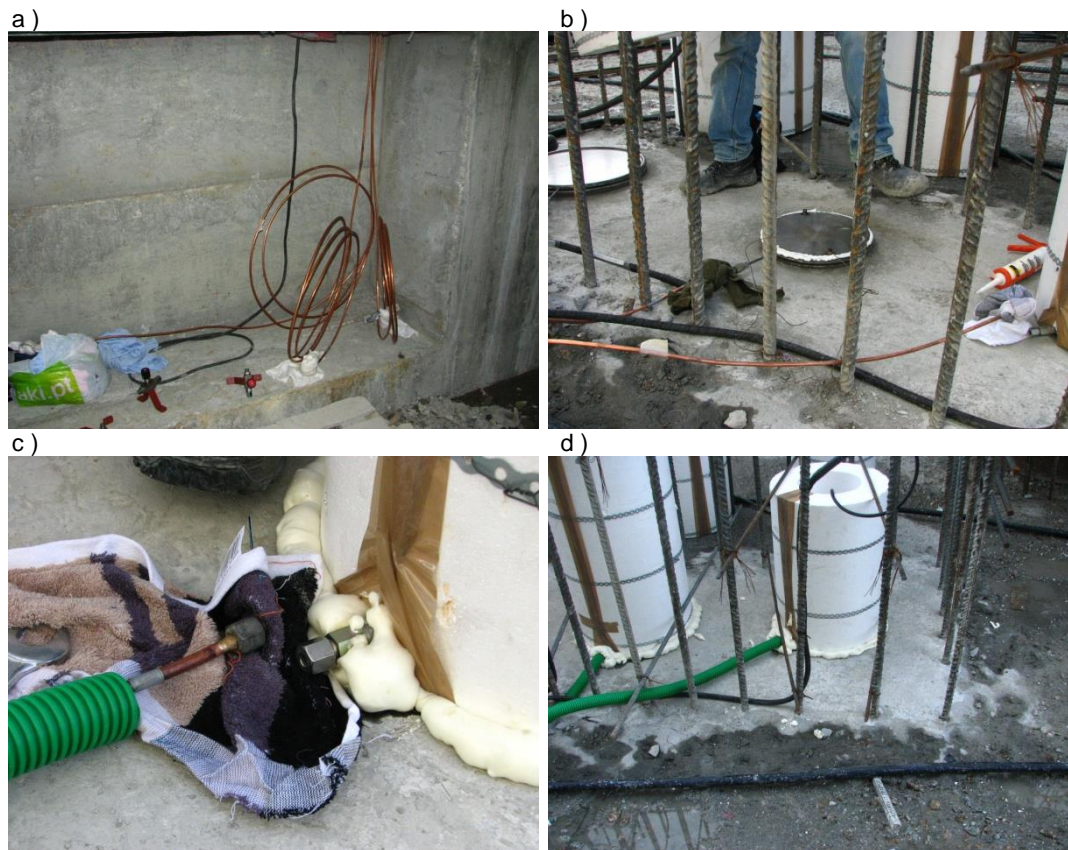


Figura 4.11 – Ligação da tubagem de cobre do nicho ao macaco plano



Figura 4.12 – Enchimento da conduta técnica com argamassa



Figura 4.13 – Crivagem do betão em fresco

18. *Moldagem das células de betão crivado e respetiva vibração*

19. *Moldagem das células de betão integral e respetiva vibração*

O betão usado nos vários moldes deverá ser obtido da mesma amassadura. Os cuidados a ter na moldagem estão associados à colocação e vibração do betão com a presença de extensómetros no interior. A vibração deverá ser efetuada de acordo com os procedimentos correntes, garantindo um betão homogéneo semelhante ao da obra. Deve ser tido especial cuidado com a betonagem dos moldes de betão integral, uma vez que a entrada do betão no interior do molde é feito a 1,50 m de altura (Figura 4.14 b, c e d).

20. *Registo de leitura de controlo após betonagem (anexo B.5)*

21. *Betonagem da camada do bloco, envolvendo as células de fluência*

O envolvimento das células de fluência com betão deve ser feita com especial cuidado, sem solicitações horizontais e evitando a passagem de equipamento pesado junto ou sobre a zona das células enquanto o betão estiver fresco (Figura 4.15).



Figura 4.14 – Aspectos da colocação do betão nos moldes das células de fluência



Figura 4.15 - Betonagem da envolvente das células de fluência

22. *Betonagem da camada superior à das células de fluência, após cura do betão*

23. *Instalação do restante sistema de carga no nicho*

O restante sistema de carga corresponde aos elementos acessíveis no nicho e inclui o bloco de comando, a botija de armazenamento de óleo e azoto, a válvula de segurança e interrupção do sistema e a ligação entre a válvula e o bloco de comando (Figura 4.16). Estes trabalhos poderão ser efetuados antes da betonagem da camada em que estão inseridas as células de fluência, caso exista essa possibilidade.

A botija deverá estar carregada com óleo e azoto na razão de 3 para 1, à pressão do ensaio de fluência.



Figura 4.16 - Sistema de carga acessível no nicho

Realização dos ensaios:

24. *Registo de leituras iniciais antes do primeiro carregamento (anexo B.5), segundo o planeamento estabelecido (anexo A.2)*
25. *Execução de ensaios de módulo de elasticidade às idades especificadas (anexo A.2 e anexo B.8)*
26. *Início do ensaio de fluência na idade especificada (anexo A.2)*
27. *Registo das leituras de forma continuada conforme o plano de ensaios (anexo B.9)*

4.3.3 Determinação do módulo de elasticidade em células de fluência

Tal como acontece em laboratório, a carga nas células de fluência pode ser regulada para diferentes pressões, possibilitando a execução de ensaios de módulo de elasticidade.

O bloco de comando do sistema de carga, acessível no nicho (anexo D.2), permite interromper a ligação à botija e acionar a bomba de óleo diretamente ao restante sistema, ou seja, à almofada.

O esquema de montagem das células de fluência não garante a aplicação de cargas reduzidas com precisão suficiente devido à fase de acomodação da própria almofada ao provete na base do

molde e ao facto de as chapas de regularização da carga poderem não estar perfeitamente niveladas. Deste modo, para controlar a forma como a carga evolui na almofada, o procedimento de ensaio para determinação do módulo de elasticidade deve ser distinto do utilizado em laboratório, onde o controlo da pressão imposta é mais preciso.

Ao contrário dos ensaios em laboratório, onde o valor de módulo de elasticidade é obtido a partir da relação entre a diferença de duas tensões, inferior e superior, e as respetivas extensões medidas, o ensaio *in situ* requer que se registem as extensões no interior do provete para vários patamares de carga (usualmente, a intervalos de 5 bar), sendo o valor de módulo de elasticidade obtido de uma regressão linear dos valores registados, escolhendo-se os patamares em que se registam valores mais adequados ao ensaio. A ficha de registo deste ensaio específico apresenta-se no anexo B.8.

Os procedimentos associados ao funcionamento do bloco de comando, em particular no que diz respeito à aplicação de cargas a partir da bomba de óleo, são descritos no anexo D.2.

Em anexo estão ainda listados os materiais e os equipamentos a assegurar para a execução dos ensaios *in situ* (anexo C.2).

4.3.4 Registo e armazenamento da informação dos ensaios

No que diz respeito ao registo dos dados relativos à instalação das células, moldagem dos provetes e a cada ensaio e leituras efetuadas, nos anexos são apresentadas fichas relativas a cada ensaio, com a informação a recolher em cada situação:

- Dados de calibração das unidades de aquisição – anexo B.1;
- Dados de calibração dos extensómetros utilizados – anexo B.2;
- Constantes dos extensómetros utilizados – anexo B.3;
- Dados das ligações dos extensómetros utilizados aos cabos– anexo B.4;
- Leituras nos extensómetros (incluindo leituras de controlo, iniciais e relativas ao plano de leituras) – anexos B.5 a B.9.

As células de fluência, como parte do sistema de observação da obra, estão contempladas no sistema informático gestBarragens, de arquivo e tratamento de dados e resultados de observação, através de “Instrumentos fixos”, nos quais são designados por “Conjuntos de células de fluência”. Os extensómetros utilizados devem ser introduzidos neste grupo com o código 3 (posição 3) para as células ativas e com o código 11 (posição 11) para as células corretoras. Uma vez criado um extensómetro (“Instrumento fixo”), associado à “Obra”, ao “Elemento”, ao “Sub-Elemento” e ao “Grupo de célula de fluência”, podem ser inseridos os dados relativos a este instrumento, como exemplificado no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Exemplo dos dados a inserir no sistema informático gestBarragens para cada extensómetro das células de fluência

<i>Posição (Ativo-3 / Corretor-11):</i>	3
<i>Código:</i>	13
<i>Nº de fabrico do extensómetro de resistência:</i>	A8693
<i>X (m):</i>	93972,449
<i>Y (m):</i>	173886,043
<i>Cota (m):</i>	175,923
<i>Tipo de betão com que foi cheia a célula:</i>	C16/20 (crivado 75 mm)
<i>Data de carga:</i>	
<i>Data do próximo ensaio:</i>	08-06-2012
<i>Data de desativação a leitura:</i>	
<i>Motivo da desativação:</i>	
<i>Data da retirada do instrumento da obra:</i>	
<i>Motivo da retirada do instrumento da obra:</i>	
<i>Data da campanha inicial:</i>	11-05-2012
<i>Resistência total a 0°C (Ω):</i>	97,22
<i>Valor máximo de validação da resistência total (Ω):</i>	112,5
<i>Valor mínimo de validação da resistência total (Ω):</i>	110
<i>Varição da temperatura em função da resistência total ($^{\circ}\text{C}/\Omega$):</i>	3,4
<i>Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$):</i>	20,706
<i>Relação das resistências inicial (%):</i>	100,87
<i>Valor máximo de validação da relação das resistências (%):</i>	100,30
<i>Valor mínimo de validação da relação das resistências (%):</i>	100,73
<i>Varição da extensão em função da relação das resistências ($10^{-6}/\%$):</i>	284
<i>Fator de correção da extensão devido à temperatura ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$):</i>	12,06
<i>Coefficientes do modelo da extensão:</i>	
<i>Frequência de leitura:</i>	
<i>Estado de operacionalidade:</i>	
<i>Comentários:</i>	

5 | Conclusões

Neste relatório apresentou-se uma síntese dos conhecimentos e das metodologias de caracterização da deformabilidade do betão de barragens, incluindo os principais aspetos e procedimentos para a execução de ensaios *in situ* e em laboratório.

São referidos os objetivos dos estudos, é feita uma resenha histórica da matéria e são apresentados os critérios gerais a considerar na caracterização da deformabilidade do betão de barragens, em geral. Foi dada particular atenção aos ensaios executados em obra, de deformabilidade instantânea e diferida. São também detalhados os procedimentos envolvidos no planeamento e execução de ensaios de fluência que, devido à sua especificidade e afetação de meios, exigem maior atenção na preparação e execução em obra.

Reuniram-se ainda especificações e esquemas necessários em cada uma das etapas de instalação das células de fluência, incluindo desenhos de pormenor e fichas de verificação dos instrumentos e de ensaios de módulo de elasticidade e de fluência.

Com este trabalho pretendeu-se a atualização dos conhecimentos adquiridos nas diversas obras em que o LNEC deu contributos significativos na instalação de células de fluência, sendo apresentados os procedimentos detalhados relativos ao sistema melhorado de instalação de células de fluência, aplicado nas barragens de montante do Baixo Sabor e de Ribeiradio.

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Observação



António Tavares de Castro

O Diretor do Departamento de Barragens de
Betão



António Lopes Batista

AUTORIA



Carlos Luís de Oliveira Serra
Eng. Civil, Bolseiro de Doutoramento



António Lopes Batista
Eng. Civil, Investigador Principal

Referências Bibliográficas

- ACI COMMITTEE 207 (2005) - **207.1R-05: Guide to mass concrete**. Detroit: American Concrete Institute, 2005. 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, 2009.
- DIN (1991) - **Testing concrete: testing of hardened concrete (specimens prepared in mould)**. Deutsches Institut fur Normung. Part 5. Vol. 1048. Berlin. 1991.
- 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, 2007.
- EN12390 (2003a) - **EN12390-3. Ensaios do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes**. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2003.
- EN12390 (2003b) - **EN12390-6. Ensaios do betão endurecido. Parte 6: Resistência à tração por compressão de provetes**. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2003.
- EN12390 (2003c) - **EN12390-5. Ensaios do betão endurecido. Parte 5: Resistência à flexão de provetes**. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2003.
- FERREIRA, J.; GONÇALVES, M.; ALMEIDA, R.; SILVA, M.; BATISTA, A. L.; RIBEIRO, A.; SERRA, C. (2012) - Desenvolvimento de uma prensa para a verificação de dispositivos de resistência elétrica tipo Carlson a embeber no betão de barragens. In Comissão organizadora BE2012 (Ed.) - **Encontro Nacional Betão Estrutural**. Porto: FEUP, 2012.
- FLORENTINO, C. (1966) - Medição de tensões em barragens de betão. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1966, Relatório.
- LNEC (1966) – Observação da barragem do Carrapatelo. Plano de observação Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1966, Relatório.
- LNEC (1968a) - Efeito da temperatura sobre a fluência do betão em massa - Relatório Final. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968, Relatório.
- LNEC (1968b) - Observação da barragem de Vilarinho das Furnas. Plano de observação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968, Relatório.
- LNEC (1970) – Observação da barragem da Régua. Plano de observação Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1970, Relatório.
- LNEC (1972) – Plano de observação da barragem de Cabora Bassa. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1972, 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, 1984, Relatório 273/84 – NO.
- LNEC (1985) – Plano de observação do escalão do Torrão. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1985, 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, 1986, Relatório 169/86 – NO.
- LNEC (1986b) – Plano de observação do escalão do Alto Lindoso. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986, 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, 1987, Relatório 198/87 – NO.
- LNEC (1993) - Especificação LNEC EN397. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.
- LNEC (1997) - Plano de observação do escalão de Alqueva. Barragem, fundação, maciço envolvente, albufeira e obras anexas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997, 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, 2003, 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, 2008, 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, 2010, Relatório 408/2010 – NO.
- NP EN 206 (2005) - **NP EN 206-1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.** Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2005.
- PINHO, J.; RAMOS, J.; FLORENTINO, C. (1988) - Control of mass concrete for dams. Full-mixed and wet-screened concrete tests. **ICOLD Congress**. São Francisco: 1988.
- PINHO, J. (1989) - Contribuição para o estudo da deformabilidade do betão de barragens. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1989. Tese de especialista.
- PINHO, J.; RAMOS, J.; TAVARES DE CASTRO, A. (1990) - Caracterização da reologia do betão de barragens. Desenvolvimentos recentes de tecnologias de ensaio. LNEC (Ed.) – **2º Encontro Nacional da A.P.A.E.T.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1990.

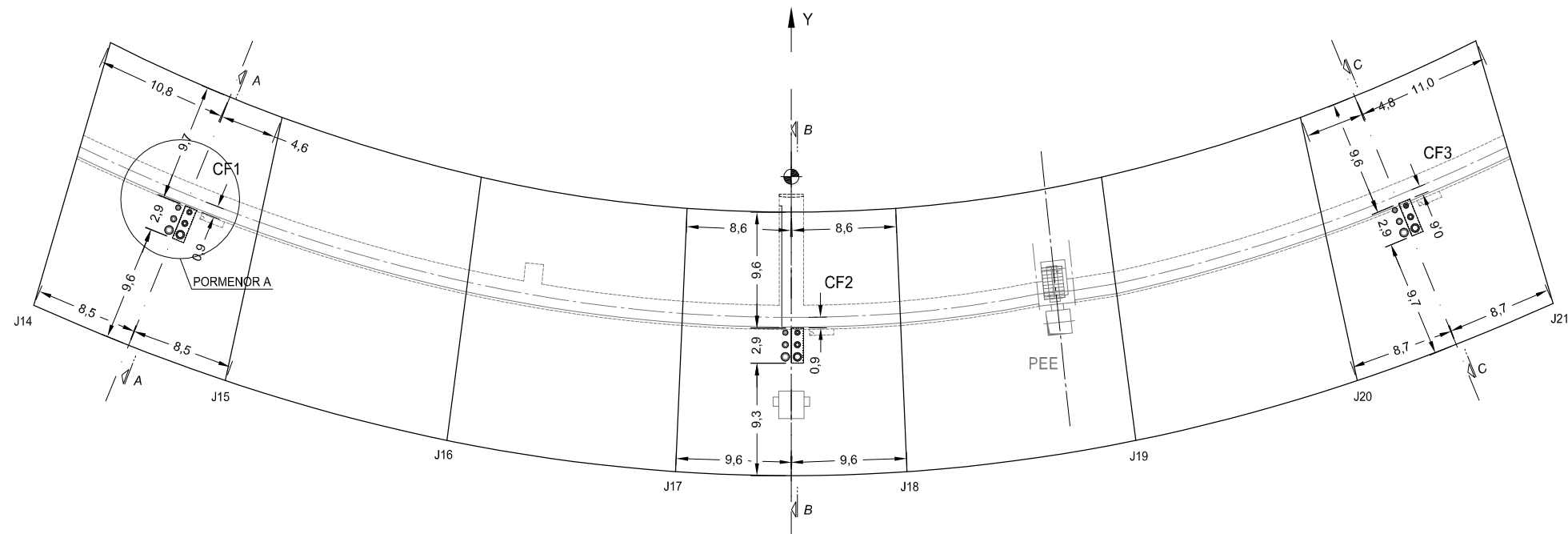
- RAMOS, J. (1985) - Consideração da reologia do betão no comportamento de barragens. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1985, Tese de especialista.
- RAMOS, J.; PINHO, J. (1981) - Deformabilidade do betão de barragens (Determinações laboratoriais e *in situ*). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981. Relatório Preliminar.
- RAMOS, J.; PINHO, J. (1983) - Deformabilidade do betão de barragens - Tratamento automático dos resultados dos ensaios laboratoriais. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1983. Relatório.
- RIBEIRO, A.; MARTINS, L. - Caracterização metrológica e calibração de uma prensa de calibração de extensómetros de resistência elétrica tipo Carlson. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2013. Relatório 236/2013 – CIC/NQM.
- SERRA, C.; BATISTA, A. L.; TAVARES DE CASTRO, A. (2010) - Caracterização do Comportamento Diferido do Betão. Aplicação à Barragem de Alqueva. In VASCONCELOS, G. et al. (Eds.) – **8º Congresso Nacional de Mecânica Experimental 2010**. Guimarães: Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2010.
- SERRA, C.; BATISTA, A. L.; TAVARES DE CASTRO, A. (2012) - Creep of dam concrete evaluated from laboratory and *in situ* tests. **Strain**. ISSN 00392103. 48:3 (2012) 241-255. doi: 10.1111/j.1475-1305.2011.00818.x.
- SILVEIRA, A.; FLORENTINO, C.; FREITAS, C. (1981) - LNEC experience in the field of concrete dam observation and of *in situ* tests. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981. Memória N° 548.

Anexos

ANEXO A.1

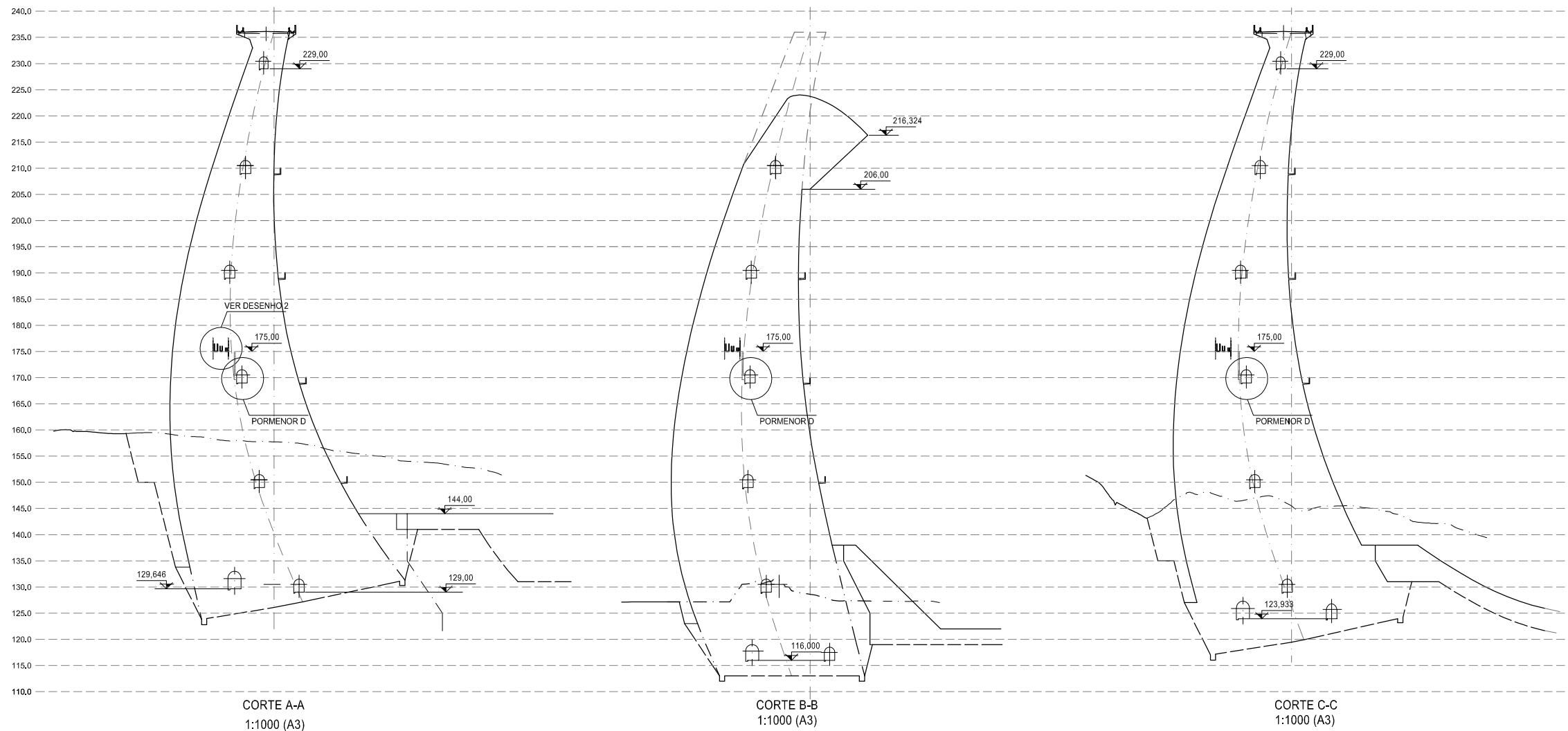
ESQUEMAS DE INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA

(EXEMPLO DA BARRAGEM DE MONTANTE DO BAIXO SABOR)



IMPLANTAÇÃO DAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA

ARCO À COTA 175,00
1:500 (A3)



CORTE A-A
1:1000 (A3)

CORTE B-B
1:1000 (A3)

CORTE C-C
1:1000 (A3)

NOTAS:

COTAGEM EM METROS
AS CÉLULAS ENCONTRAM-SE ALINHADAS SEGUNDO A DIRECÇÃO RADIAL

PORMENORES A ENCONTRA-SE NO DESENHO 2
PORMENOR D ENCONTRA-SE NO DESENHO 6

ESCALAS:
1:1000 (A3)

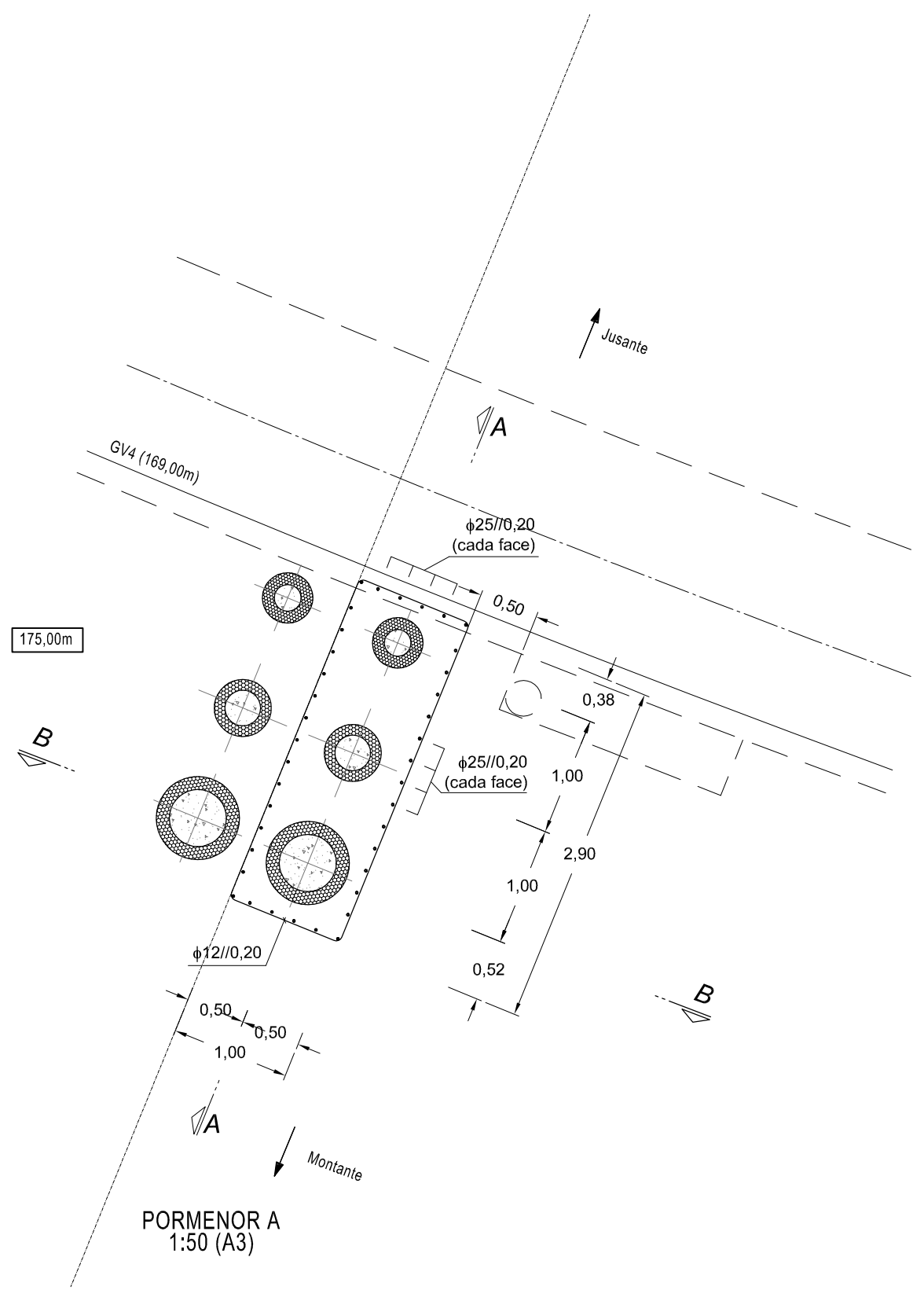
DES.
VERIF.
APROV.
DATA: dezembro de 2013

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO BAIXO-SABOR
ESCALÃO DE MONTANTE
LOCALIZAÇÃO DAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA

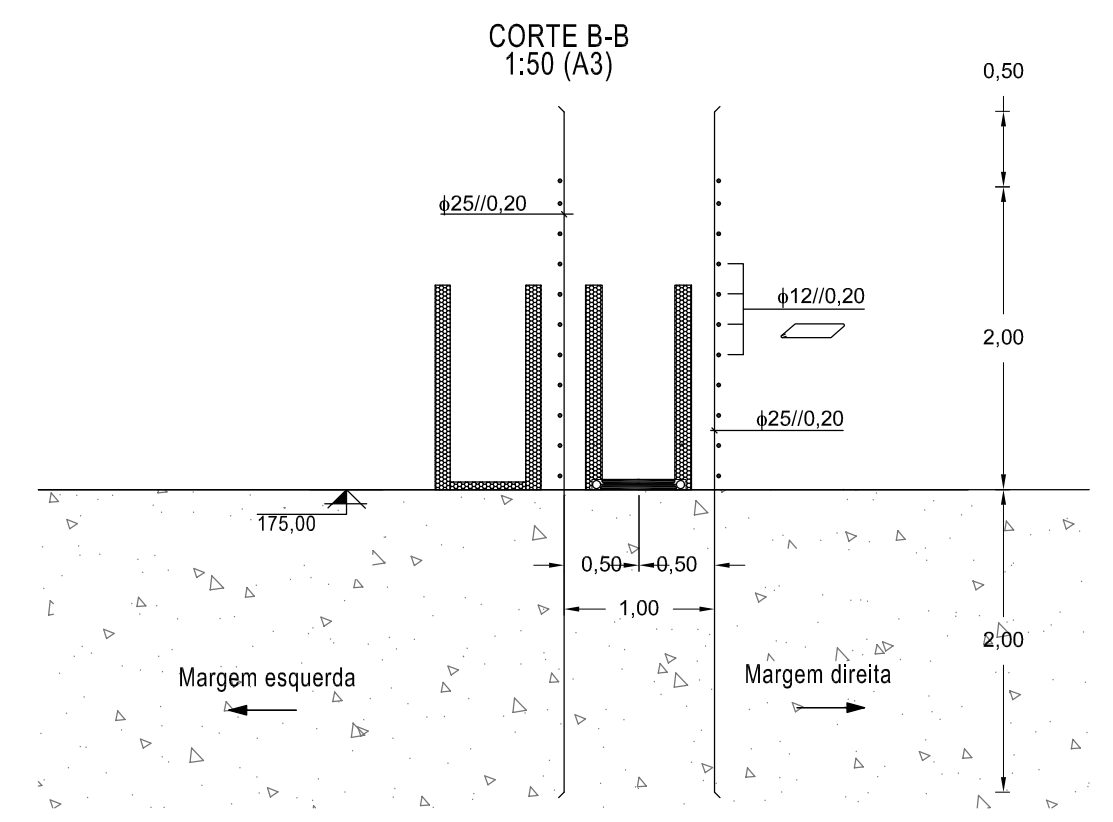
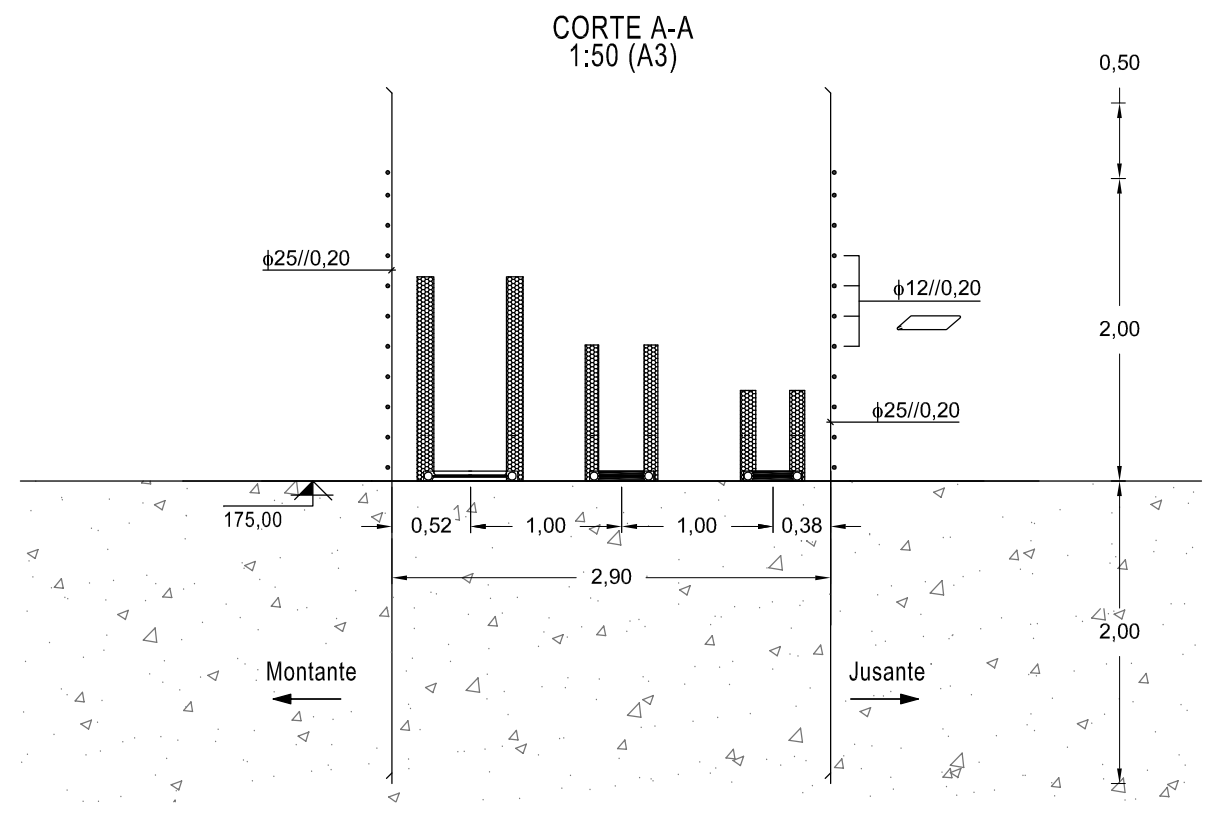
PROC. °
0403/121/17717

DES.
A.1 - 1

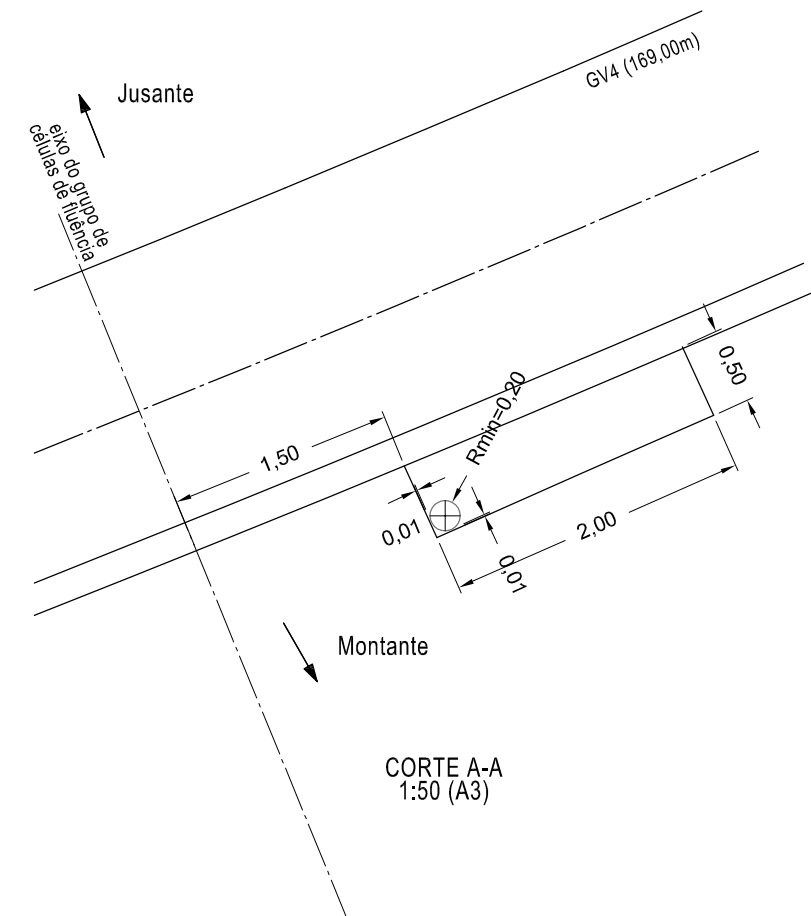
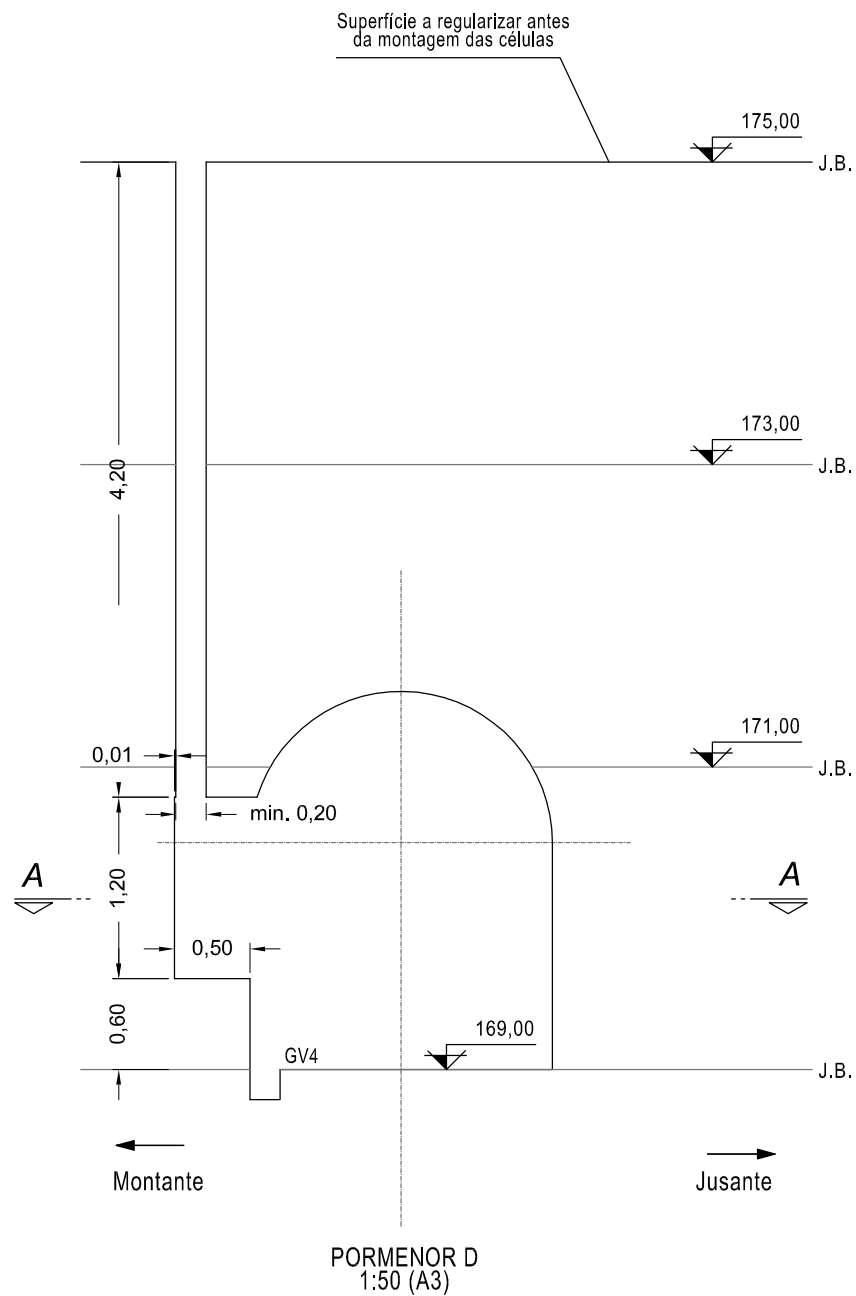
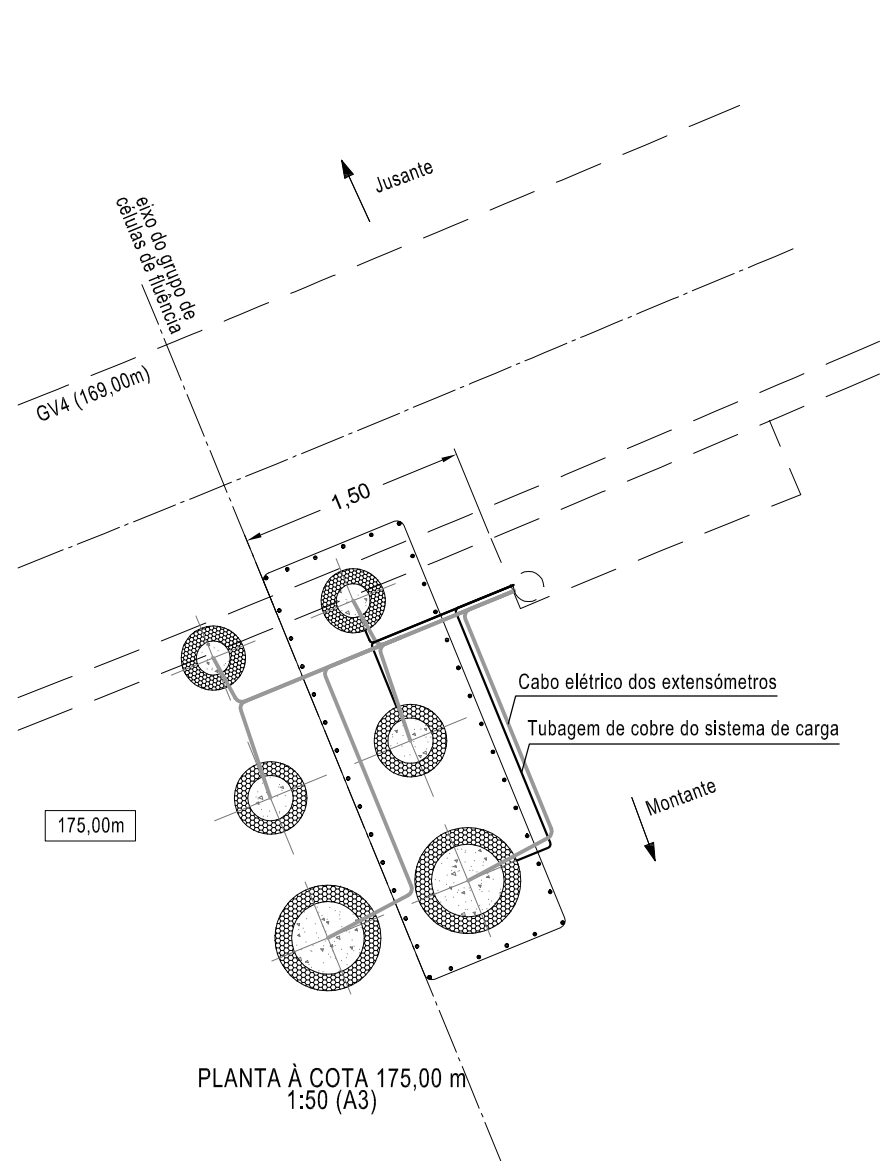


PORMENOR A
1:50 (A3)

NOTAS:
 COTAGEM EM METROS
 AS CÉLULAS ENCONTRAM-SE ALINHADAS SEGUNDO A DIREÇÃO RADIAL
 O ENCHIMENTO LOCAL, À COTA 175,20 m, É BETONADO EM SEGUNDA FASE, APÓS MONTAGEM DOS MOLDES DE EPS



ESCALAS: 1:50 (A3)	LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO	PROC. ° 0403/121/17717
DES. VERIF. APROV. DATA: dezembro de 2013	APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO BAIXO-SABOR ESCALÃO DE MONTANTE DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA CÉLULA DE FLUÊNCIA CF1	DES. A.1 - 2



NOTA:
COTAGEM EM METROS

ESCALAS: 1:50 (A3)	LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO	PROC. ° 0403/121/17717
DES. VERIF. APROV. DATA: dezembro de 2013	APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO BAIXO-SABOR ESCALÃO DE MONTANTE DEFINIÇÃO DOS NICHOS PARA O SISTEMA DE CARGA DAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA	DES. A.1 - 3

ANEXO A.2

PLANO DE CARGA E DE LEITURAS DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA

Provetes		Plano de Carga																				Observações								
		Ano 1												Ano 2									Ano ...		Ano			
Célula	t ₀ (dias)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	6	7	8	9	10	11	12	1	2	1	2					
CF1	28		(E)		(E)									(E)	(E)											(E)			(E)	
CF2	90		(E)		(E)									(E)	(E)											(E)			(E)	
CF3	365		(E)		(E)									(E)	(E)											(E)			(E)	

Provetes		Plano de Leituras – Extensômetros (Leitura RT, RR)																				Observações				
		Ano 1												Ano 2									Ano ...		Ano ...	
Célula	t ₀ (dias)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	...	9	10	11	12	1	2	1	2	
CF1	28	1 d	Plano de leituras em carga												Plano de leituras em descarga								Reavaliação			
CF2	90	1 d 3 s 2 s	Plano de leituras em carga												Plano de leituras em descarga								Reavaliação			
CF3	365	1 d 3 s 2 s 1 s 1 s 1 s 2 m 2 m 2 m 2 m 2 m 2 m	Plano de leituras em carga												Plano de leituras em descarga								Reavaliação			

Legenda:



Sem carga

(E) - ensaio de módulo de elasticidade fora do período de ensaio de fluência

n d - leituras n vezes por dia

m s - leituras m vezes por semana

k m - leituras k vezes por mês



Carga

(E) - ensaio de módulo de elasticidade no período de ensaio de fluência

Plano de leituras em carga e em descarga:

1ª, 4ª, 8ª, 12ª e 24ª hora no primeiro dia após carga/descarga

1 vez por dia durante a primeira semana após carga/descarga

3 vezes por semana nas três semanas seguintes

1 vez por semana durante o resto do ensaio

ANEXO B.1


FICHAS DE AFERIÇÃO DA UNIDADE DE LEITURA DE INSTRUMENTOS DO TIPO
CARLSON



Teste I – RT (Ω)									
Ordem	Caixa de resistências "CARLSON" ¹					Unidade de leitura	Cálculo		Observações
	(posição por década sequencial)						RT' (Ω)	Erro = RT-RT'	
	10	1	0,1	0,01	RT (Ω)	Erro (Ω)			
1	2	0	0	0	20.00	20.02	0.02		
2	2	0	0	1	20.01	20.03	0.02		
3	2	0	0	2	20.02	20.04	0.02		
4	2	0	0	3	20.03	20.05	0.02		
5	2	0	0	4	20.04	20.06	0.02		
6	2	0	0	5	20.05	20.07	0.02		
7	2	0	0	6	20.06	20.08	0.02		
8	2	0	0	7	20.07	20.09	0.02		
9	2	0	0	8	20.08	20.10	0.02		
10	2	0	0	9	20.09	20.11	0.02		
11	2	0	0	10	20.10	20.11	0.01		
12	2	0	1	0	20.10	20.12	0.02		
13	2	0	2	0	20.20	20.22	0.02		
14	2	0	3	0	20.30	20.32	0.02		
15	2	0	4	0	20.40	20.42	0.02		
16	2	0	5	0	20.50	20.51	0.01		
17	2	0	6	0	20.60	20.61	0.01		
18	2	0	7	0	20.70	20.71	0.01		
19	2	0	8	0	20.80	20.81	0.01		
20	2	0	9	0	20.90	20.91	0.01		
21	2	0	10	0	21.00	21.01	0.01		
22	2	1	0	0	21.00	21.02	0.02		
23	2	2	0	0	22.00	22.02	0.02		
24	2	3	0	0	23.00	23.02	0.02		
25	2	4	0	0	24.00	24.02	0.02		
26	2	5	0	0	25.00	25.02	0.02		
27	2	6	0	0	26.00	26.02	0.02		
28	2	7	0	0	27.00	27.02	0.02		
29	2	8	0	0	28.00	28.02	0.02		
30	2	9	0	0	29.00	29.02	0.02		
31	2	10	0	0	30.00	30.02	0.02		
32	3	0	0	0	30.00	30.02	0.02		
33	4	0	0	0	40.00	40.02	0.02		
34	5	0	0	0	50.00	50.02	0.02		
35	6	0	0	0	60.00	60.02	0.02		
36	7	0	0	0	70.00	70.02	0,05		
37	8	0	0	0	80,00	80.03	0,05		
38	9	0	0	0	90,00	90.03	0,06		
39	10	0	0	0	100,00	99.98	0,06		
40	10	5	0	0	105,00	104.97	0,06		
41	10	10	0	0	110,00	109.96	0,06		

Células a preencher com as leituras na unidade de aquisição

¹ Caixa de resistências "CARLSON" que constitui o padrão para comparação com a unidade de leitura

	LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL						APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO BAIXO SABOR			
	DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO - NÚCLEO DE OBSERVAÇÃO						AFERIÇÃO DA UNIDADE DE LEITURA DE EXTENSÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO TIPO CARLSON - TESTE II - RR			
EQUIPA ESPECIALIZADA DE INSTRUMENTAÇÃO (EEI)										
Teste II – RR (%)										
Ordem	Caixa de resistências "CARLSON" ¹						Unidade de leitura	Cálculo		Observações
	(posição por década sequencial)							RR' (%)	Erro = RR-RR'	
	10	1	0,1	0,01	R1 (Ω)	RR (%)	Erro (%)			
1	7	0	5	0	70.5	140.99	140.88	0.11	R2 = 50,003 Ω (Constante da caixa de resistências "CARLSON")	
2	7	0	2	0	70.2	140.39	140.28	0.11		
3	7	0	0	0	70.0	139.99	138.87	1.12	RR = R1/R2	
4	6	5	5	0	65.5	130.99	130.94	0.05		
5	6	5	0	0	65.0	129.99	129.93	0.06		
6	6	4	5	0	64.5	128.99	128.91	0.08		
7	5	5	0	0	55.0	109.99	109.94	0.05		
8	5	0	0	0	50.0	99.99	99.96	0.03		
9	4	0	0	0	40.0	80.00	79.98	0.02		
10	3	0	5	0	30.5	61.00	61.00	0.00		
11	3	0	2	0	30.2	60.40	60.41	-0.01		
12	3	0	0	0	30.0	60.00	60.01	-0.01		

Células a preencher com as leituras na unidade de aquisição

¹ Caixa de resistências "CARLSON" que constitui o padrão para comparação com a unidade de leitura

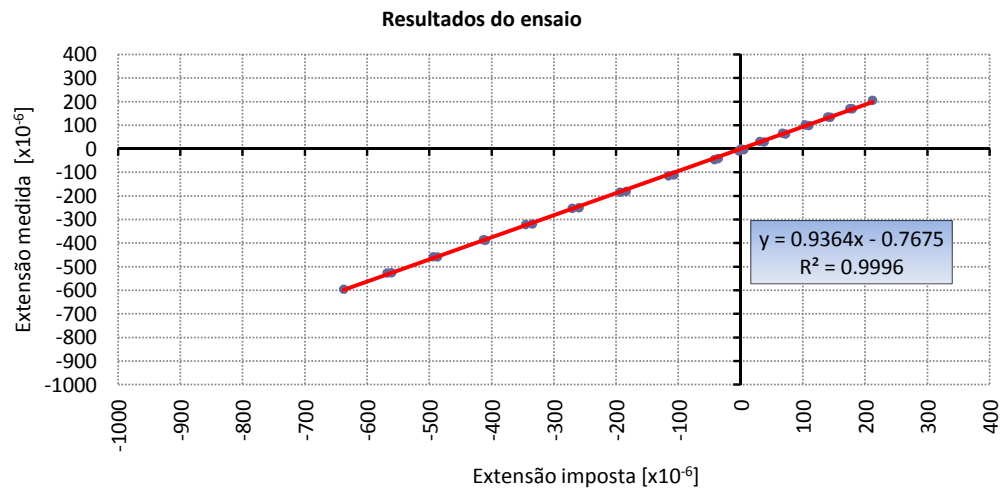
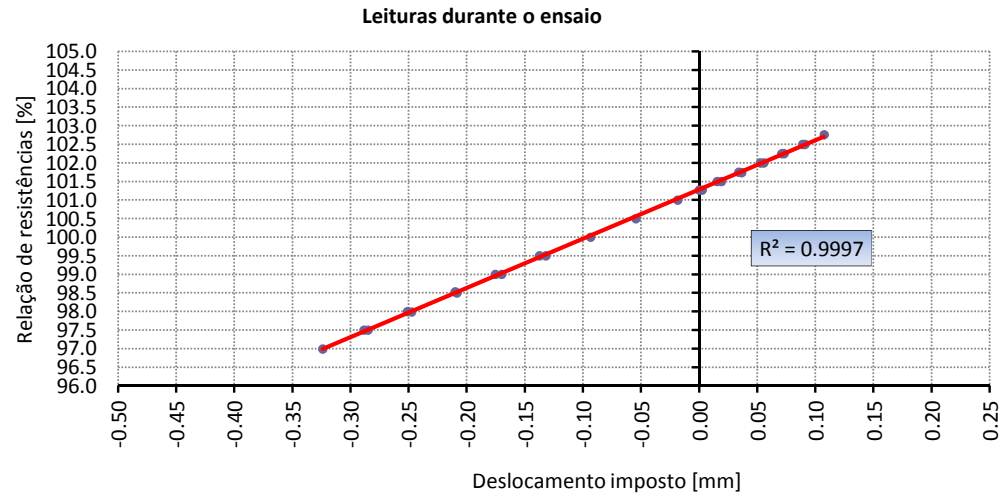
ANEXO B.2

FICHA DE CALIBRAÇÃO DE EXTENSÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA
(EXEMPLO DE UM EXTENSÓMETRO DE UMA CÉLULA DE FLUÊNCIA DA
BARRAGEM DE MONTANTE DO BAIXO SABOR)



EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	EXTENSÓMETRO: A8856	CFI-1/3	Fabricante: RST
Prensa: LNEC Caixa de leitura: Carlson RST/Instruments MA6B nº série 011353-1 Defletómetro: Mitutoyo ID-H0560 nº série 11144525 (0.0005 mm)	$R_0 = 97.25 \quad [\Omega]$ $\epsilon_1 = 1.39 \quad [\mu/0.01\%]$ $\epsilon_2 = 12.06 \quad [^\circ C/\Omega]$	$rr_1 = 101.27 \quad [\%]$ $rr_{(máx)} = 103.75 \quad [\%]$ $rr_{(min)} = 96.20 \quad [\%]$	$\Delta T = 3.40 \quad [^\circ C/\Omega]$ $T_0 = 20.51 \quad [^\circ C]$

Extensómetro				Deslocamento medido no defletómetro [mm]
Leituras		Resultados		
Rt [Ω]	rr [%]	Temperatura [°C]	Extensão [x10 ⁻⁶]	
103.27	100.33	20.47	Leitura antes de colocação na prensa	
103.28	101.27	20.51	0	0.000
103.27	101.50	20.47	32	0.016
103.27	101.75	20.47	66	0.034
103.28	102.00	20.51	101	0.053
103.27	102.25	20.47	136	0.071
103.27	102.50	20.47	171	0.089
103.26	102.76	20.44	206	0.108
103.26	102.50	20.44	170	0.091
103.24	102.25	20.37	135	0.073
103.23	102.00	20.34	99	0.056
103.23	101.74	20.34	63	0.037
103.22	101.50	20.30	30	0.019
103.21	101.27	20.27	-3	0.003
103.20	101.00	20.23	-41	-0.019
103.20	100.50	20.23	-110	-0.055
103.20	100.00	20.23	-180	-0.094
103.20	99.50	20.23	-249	-0.132
103.21	99.00	20.27	-318	-0.170
103.22	98.50	20.30	-387	-0.209
103.23	97.99	20.34	-458	-0.248
103.25	97.50	20.40	-525	-0.285
103.28	96.99	20.51	-595	-0.324
103.24	97.50	20.37	-526	-0.289
103.21	98.00	20.27	-457	-0.251
103.18	98.53	20.17	-385	-0.210
103.16	99.00	20.10	-320	-0.176
103.14	99.50	20.03	-252	-0.138
103.12	100.00	19.96	-183	-0.099
103.11	100.50	19.93	-114	-0.059
103.09	101.00	19.86	-45	-0.022
103.08	101.27	19.83	-8	-0.002
103.08	100.38	19.83	Leitura após retirado da prensa	



Extensão medida:
 $\epsilon = (rr - rr_1) \epsilon_1 + [(Rt - R_0) \Delta T - T_0] \epsilon_2$

Extensão imposta: $\epsilon = \Delta / l$
 Δ - deslocamento imposto na prensa
 l - comprimento do extensómetro (254mm)

ANEXO B.3

LISTA DE CONSTANTES DOS EXTENSÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA
(EXEMPLO DAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA DA BARRAGEM DE MONTANTE DO
BAIXO SABOR)



Identificação				Localização			Data de colocação	Constantes de fabrico						Constantes para cálculo								
Nº de Fabrico	Grupo	g A	g C	Bloco	Cota	Posição		R ₀ a 0°F (Ohm)	D _t (°F/Ohm)	e ₁ (µe/%)	e ₂ (µe/°F)	Relação de resistências (%)			R ₀ a 0°C (Ohm)	D _t (°C/Ohm)	T ₀ (°C)	e ₁ (µe/%)	e ₂ (µe/°C)	Data inicial	Res. Inicial (RT)	RRI inicial (RRI ₀)
											Máxima	Inicial	Mínima									
A8856	CFI1	3	01	14-15	176,0	A meio do bloco	30-05-2012	92.02	6.12	139.0	6.70	103.75	101.27	96.20	97.25	3.40	22.61	139.0	12.06	31-05-2012	103.90	100.24
A6957		3a	02					91.72	6.14	138.0	6.70	104.00	101.50	96.40	96.93	3.41	22.44	138.0	12.06		103.51	99.97
A6947		3b	03					91.67	6.15	137.0	6.70	104.00	101.50	96.30	96.87	3.42	22.57	137.0	12.06		103.48	101.19
A6951		11	04					91.86	6.13	140.0	6.70	104.30	101.80	96.80	97.08	3.41	22.85	140.0	12.06		103.79	100.13
A8889	CFM1	3	05					92.39	6.10	281.0	6.70	103.67	101.20	96.20	97.64	3.39	23.36	281.0	12.06		104.53	101.07
A8890		11	06					92.61	6.08	284.0	6.70	103.58	101.13	96.20	97.87	3.38	23.19	284.0	12.06		104.73	100.76
A8891	CFC1	3	07					92.62	6.08	301.0	6.70	103.19	100.79	96.20	97.88	3.38	23.66	301.0	12.06		104.88	100.64
A8892		11	08					92.01	6.12	286.0	6.70	103.55	101.10	96.20	97.24	3.40	23.60	286.0	12.06		104.18	101.37
A6946	CFI-2	3	9	17-18	175,0	A meio do bloco	10-05-2012	91.75	6.14	138.0	6.70	104.30	101.90	96.80	96.96	3.41	20.67	138.0	12.06	10-05-2012	103.02	100.25
A6948		3a	10					92.04	6.12	140.0	6.70	104.00	101.50	96.50	97.27	3.40	20.54	140.0	12.06		103.31	99.39
A6949		3b	11					91.49	6.16	140.0	6.70	104.70	102.20	97.20	96.68	3.42	20.38	140.0	12.06		102.64	100.86
A6950		11	12					92.00	6.12	138.0	6.70	103.80	101.30	96.20	97.23	3.40	20.71	138.0	12.06		103.32	99.77
A8693	CFM-2	3	13					91.99	6.12	284.0	6.70	103.58	101.13	96.20	97.22	3.40	20.71	284.0	12.06		103.31	100.87
A8799		11	14					92.22	6.11	281.0	6.70	103.67	101.20	96.20	97.46	3.39	20.65	281.0	12.06		103.54	100.68
A8834	CFC-2	3	15					92.21	6.11	283.0	6.70	103.62	101.16	96.20	97.45	3.39	20.68	283.0	12.06		103.54	100.20
A8848		11	16					92.20	6.11	283.0	6.70	103.61	101.15	96.20	97.44	3.39	20.68	283.0	12.06		103.53	100.15
A6953	CFI-3	3	17	20-21	176,0	A meio do bloco	23-05-2012	91.56	6.15	140.0	6.70	104.60	102.10	97.10	96.76	3.42	20.67	140.0	12.06	23-05-2012	102.81	100.65
A6954		3a	18					91.97	6.13	138.0	6.70	104.00	101.50	96.40	97.19	3.41	20.54	138.0	12.06		103.22	100.22
A6956		3b	19					91.70	6.14	138.0	6.70	104.30	101.80	96.70	96.91	3.41	20.38	138.0	12.06		102.89	100.60
A6955		11	20					91.51	6.16	136.0	6.70	104.40	101.90	96.70	96.70	3.42	20.71	136.0	12.06		102.76	100.20
A8881	CFM-3	3	21					92.09	6.12	290.0	6.70	103.43	101.00	96.20	97.32	3.40	20.71	290.0	12.06		103.41	100.77
A8883		11	22					92.04	6.12	279.0	6.70	103.74	101.26	96.20	97.27	3.40	20.65	279.0	12.06		103.34	100.75
A8884	CFC-3	3	23					92.01	6.12	279.0	6.70	103.74	101.26	96.20	97.24	3.40	20.68	279.0	12.06		103.32	101.27
A8885		11	24					91.93	6.13	279.0	6.70	103.73	101.25	96.20	97.15	3.41	20.68	279.0	12.06		103.22	101.03

Cálculo das Grandezas Físicas

$$R_0(°C) = R_0(°F) + 32(D_t(°F/Ohm))$$

$$D_t(°C/Ohm) = D_t(°F/Ohm) \times (5/9)$$

$$e_2(\mu e/°C) = e_2(\mu e/°F) \times (9/5)$$

$$RRI_0 = (1/RRI_0) \times 104$$

$$Temp.(°C) = (R - R_0) \times D_t$$

$$Extensão (x10^{-6}) = (T - T_0) \times e_2 + (RR - RR_0) \times e_1 \times 10^4$$

ANEXO B.4

FICHA DE LIGAÇÃO DOS EXTENSÓMETROS ATRAVÉS DE CABOS

(EXEMPLO DE UM EXTENSÓMETRO DE UMA CÉLULA DE FLUÊNCIA DA
BARRAGEM DE MONTANTE DO BAIXO SABOR)



COLOCAÇÃO

Nº da célula: **CFI-3**
Posição: **3**
Código GestBarragens: **17**
LOCALIZAÇÃO:
Bloco: **14-15**
Cota: **176,00 m**

CARACTERÍSTICAS DO EXTENSÓMETRO

Tipo: **A20** Nº de série: **A8856**
CONSTANTES DE FÁBRICA:
 $R_0 = 96,76 (\Omega)$ Campo de medida (%):
 $\Delta t = 3,42 (^\circ C/\Omega)$ $RR_{(inicial)} = 102,10$
 $\epsilon_1 = 1,40 (\mu/0.01\%)$ $RR_{(máximo)} = 104,60$
 $\epsilon_2 = 12,06 (\mu/^\circ C)$ $RR_{(mínimo)} = 97,10$

LEITURAS

Data: **9 e 10-05-2012**

Caixa de leitura: **Carlson RST/Instruments MA7 nº série 1278**

Multímetro: **HT410 Digital multimeter**

Resistência interna = **0,20 (Ω)**

Aparelho com 1 m de cabo		Cabo com 15 m			Aparelho com 16 m de cabo						
Resistência entre condutores (Ω)	Leituras			Resistência dos condutores (Ω)	Resistência entre condutores (Ω)	Leituras					
	RT (Ω)	RR (%)	R.R _i (Ω)			RT (Ω)	RR (%)	R.R _i (Ω)			
P-B	105,7	105,68	100,42	0,02	P	0,56	P-B	103,2	102,58	100,30	0,33
E-B	0,25				B	0,54	E-B	0,82			
V-B	53,0				E	0,53	V-B	52,0			
P-V	52,8				V	0,54	P-V	51,9			

P - Condutor preto

B - Condutor branco

E - Condutor encarnado

V - Condutor verde

RT - Resistência total

RR - Relação de resistências

R.R_i - Resistência cabo

RR_(inicial) - Relação de resistências inicial

RR_(máxima) - Relação de resistências máxima

RR_(mínima) - Relação de resistências mínima

ANEXO B.5

FICHA DE INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA



Dados gerais da colocação de células de fluência

Obra: _____
Célula: _____
Localização:
 Bloco: _____
 Cota da célula: _____ Cota do nicho: _____
Data /hora de instalação: _____
Condições metereológicas: _____

Composição do betão: _____ Amassadura: _____

Temperatura do betão: _____ Slump: _____
Unidade de leitura: _____
Equipa de montagem: _____

Dados gerais da colocação de células de fluência

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de Extens.	Designação	N.º de fabrico	1ª Leitura		2ª Leitura	
					RT (Ω)	RR (%)	RT (Ω)	RR (%)
C. ativa	Integral	A20	CFI-3					
C. ativa	Integral	A20	CFI-3a					
C. ativa	Integral	A20	CFI-3b					
C. corre.	Integral	A20	CFI-11					
C. ativa	#75	A10	CFM-3					
C. corret.	#75	A10	CFM-11					
C. ativa	#38	A10	CFC-3					
C. corre.	#38	A10	CFC-11					
P. ativo	#38	A10	CF-P1					
P. ativo	#38	A10	CF-P2					
P. corret.	#38	A10	CF-P3					

NOTAS:

1ª Leitura – após colocação (antes do enchimento)

2ª Leitura – após moldagem

Observações:

ANEXO B.6

FICHA DE ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE EM LABORATÓRIO



Dados gerais relativos às células de fluência

Obra: _____
Célula: _____
Data /hora: _____ Idade do betão: _____
Condições de selagem: _____

Condições de cura: _____

Local do ensaio: _____

Unidade de leitura: _____

Equipa: _____

Ensaio de módulo de elasticidade de provetes em laboratório

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Corretor						

Leitura inicial (pressão nula):

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativo						

Ensaio:

Hora	Patamares	Pressão (bar)	RR (%)	Observações
	Inferior			
	Superior			
	Inferior			
	Superior			
	Inferior			
	Superior			

Leitura final (pressão nula):

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativo						

Observações:

ANEXO B.7

FICHA DE ENSAIO DE FLUÊNCIA EM LABORATÓRIO



Dados gerais relativos às células de fluência

Obra: _____
Célula: _____
Data /hora: _____ Idade do betão: _____
Condições de selagem: _____

Condições de cura: _____

Local do ensaio: _____

Unidade de leitura: _____

Equipa: _____

Ensaio de fluência

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Corrector						

Leitura inicial (pressão nula):

Tipo de provete	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativo						

Ensaio de fluência:

Dia / Hora	Pressão (bar)	Ativo		Corrector		Observações
		RT (Ω)	RR (%)	RT (Ω)	RR (%)	

Observações:

ANEXO B.8

FICHA DE ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE EM CÉLULAS DE FLUÊNCIA



Dados gerais da colocação de células de fluência

Obra: _____
Célula: _____
Data /hora: _____ Idade do betão: _____
Unidade(s) de leitura: _____

Equipa: _____

Ensaio de módulo de elasticidade

Leituras iniciais (pressão nula):

Tipo de célula	Designação do extensómetro	Dia / Hora	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativa	CFli-3				
Ativa	CFli-3a				
Ativa	CFli-3b				
Corretora	CFli-11				

Ensaio:

Patamares	Hora	Pressão (bar)	RR (%)			Observações
			CFli-3	CFli-3a	CFli-3b	
1ª Subida		0				
		5				
		10				
		15				
		20				
		25				
		30				
		35				
		40				
		45				
		50				
		55				
	60					
1ª Descida		55				
		50				
		45				
		40				
		35				
		30				
		25				
		20				
	15					

Patamares	Hora	Pressão (bar)	RR (%)			Observações
			CFli-3	CFli-3a	CFli-3b	
		10				
		5				
2ª Subida		10				
		15				
		20				
		25				
		30				
		35				
		40				
		45				
		50				
		55				
		60				
2ª Descida		55				
		50				
		45				
		40				
		35				
		30				
		25				
		20				
		15				
		10				
		5				
3ª Subida		10				
		15				
		20				
		25				
		30				
		35				
		40				
		45				
		50				
		55				
		60				
3ª Descida		55				
		50				
		45				
		40				
		35				
		30				



Patamares	Hora	Pressão (bar)	RR (%)			Observações
			CFli-3	CFli-3a	CFli-3b	
		25				
		20				
		15				
		10				
		5				
		0				

Leitura final (pressão nula):

Tipo de célula	Designação do extensómetro	Dia / Hora	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativa	CFli-3				
Ativa	CFli-3a				
Ativa	CFli-3b				
Corretora	CFli-11				

Observações:

ANEXO B.9

FICHA DE ENSAIO DE FLUÊNCIA EM CÉLULAS



Dados gerais da colocação de células de fluência

Obra: _____
Célula: _____
Data /hora: _____ Idade do betão: _____
Unidade de leitura: _____

Equipa: _____

Ensaio de fluência

Tipo de célula	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Corretora						

Leitura inicial (pressão nula):

Tipo de célula	Tipo de betão	Tipo de extensómetro	N.º de fabrico	RT (Ω)	RR (%)	Observações
Ativa						

Ensaio de fluência:

Dia / Hora	Pressão (bar)	Activo		Corrector		Observações
		RT (Ω)	RR (%)	RT (Ω)	RR (%)	

Observações:

ANEXO C.1

LISTA DE MATERIAL E EQUIPAMENTO PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM
LABORATÓRIO

Lista de material e equipamento para a realização de ensaios em laboratório

- Preparação prévia:
 - 1 extensómetro para o betão crivado;
 - Calibrador dos extensómetros;
 - Caixa de aferição da unidade de aquisição manual;
 - Unidade de aquisição manual/automática:
 - Cabos elétricos;
 - Chaves de fendas;
 - Parafusos de fixação;
 - Cabo de ligação ao computador.
 - Folha de registo/ Computador;
- Montagem do extensómetro de embeber:
 - 1 extensómetro corrente para o betão crivado com peneiro de #38mm;
 - Régua metálica/Bitolas;
 - Nível;
 - Arames de suspensão do extensómetro;
 - Unidade de aquisição manual/automática.
- Moldagem:
 - Molde prismático e pernes
 - Produto descofrante;
 - Colher de pedreiro;
 - Balde;
 - Pá;
 - Vibrador manual;
 - Peneiro para crivagem (abertura do peneiro conforme o tipo de betão);
 - Termómetro de betão.
- Após desmoldagem:
 - Material para selagem dos provetes (Cobre/Plástico/Tinta/Tela/Chumbo);
 - Lápis para identificação dos provetes.

Em laboratório:

- Sistema de carga:
 - Azoto;
 - Óleo hidráulico;
 - Bomba de óleo;
 - Botija de óleo hidráulico e azoto;
 - Sistema de válvulas para controlo das pressões e de segurança;
 - Manómetro.
- Durante os ensaios:
 - Unidade de aquisição manual/automática:
 - Cabos elétricos;
 - Chaves de fendas;
 - Cabo de ligação ao computador.
 - Transdutor de deslocamento para medição dos deslocamentos nas faces;
 - Folha de registo/Computador;
 - Máquina fotográfica.

ANEXO C.2

LISTA DE MATERIAL E EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM
OBRA

Lista de material para a realização de ensaios *in situ* (por cada grupo de células)

Preparação prévia:

- Calibrador de manómetros;
- Prensa para calibração das almofadas;
- Calibrador dos extensómetros;
- Caixa de aferição da unidade de aquisição manual;
- 1 extensómetro de grande base para o betão integral;
- 1 extensómetro corrente para o betão crivado com peneiro de #75mm;
- 1 extensómetro corrente para o betão crivado com peneiro de #38mm.
- Unidade de aquisição manual/automática:
 - Cabos elétricos;
 - Chaves de fendas;
 - Parafusos de fixação;
 - Cabo de ligação ao computador.
- Folha de registo/Computador;
- Máquina fotográfica.

Em obra:

- Montagem do extensómetro de embeber:
 - 1 extensómetro de grande base para o betão integral;
 - 1 extensómetro corrente para o betão crivado com peneiro de #75mm;
 - 1 extensómetro corrente para o betão crivado com peneiro de #38mm;
 - Nível;
 - Régua metálica/Bitolas;
 - Arames de suspensão do extensómetro;
 - Unidade de aquisição manual/automática:
 - Cabos elétricos;
 - Chaves de fendas;

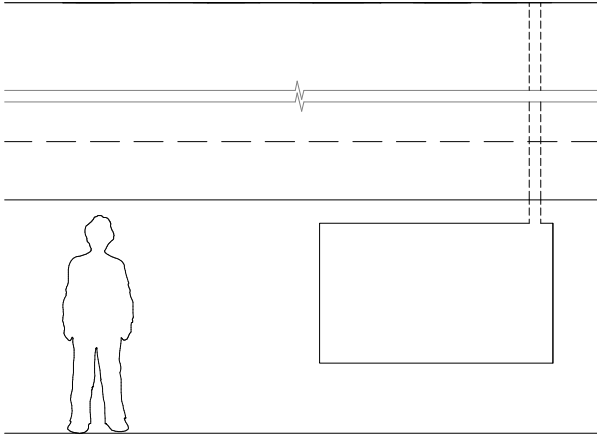
- Parafusos de fixação;
 - Cabo de ligação ao computador.
 - Folha de registo/Computador;
 - Máquina fotográfica;
 - Tubo corrugado para proteção dos cabos elétricos e dos tubos de cobre.
- Moldagem:
 - 2 moldes para betão integral;
 - 2 moldes para betão crivado com peneiro #75mm
 - 2 moldes para betão crivado com peneiro #38mm
 - 1 almofada para betão integral;
 - 1 almofada para betão crivado com peneiro #75mm
 - 1 almofada para betão crivado com peneiro #38mm
 - Termómetro de betão;
 - Colher de pedreiro;
 - Balde;
 - Pá;
 - Vibrador manual;
 - Peneiro #75mm;
 - Peneiro #38mm.
- Sistema de carga:
 - Azoto;
 - Óleo hidráulico;
 - Bomba de óleo;
 - Botija de óleo hidráulico e azoto;
 - Sistema de válvulas para controlo das pressões e de segurança;
 - Tubagem de cobre;
 - Sistemas de suporte da botija e das válvulas;
 - Manómetro.

- Durante os ensaios:
 - Unidade de aquisição manual/automática:
 - Painel de leitura dos extensómetros;
 - Caixa de segurança para a unidade de aquisição automática;
 - Cabos elétricos;
 - Chaves de fendas;
 - Parafusos de fixação;
 - Cabo de ligação ao computador.
 - Folha de registo/Computador;
 - Máquina fotográfica.

ANEXO D.1

PROCEDIMENTOS DETALHADOS DE INSTALAÇÃO DE CÉLULAS DE FLUÊNCIA

Esquemas



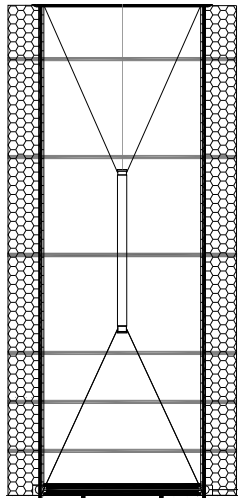
Tarefas e materiais:

1. Execução do nicho na galeria (2,0 m x 1,2 m x 0,4 m);
2. Execução da conduta técnica para passagem das tubagens e cabos.

Materiais:

- Cofragem;
- Tubo corrugado.

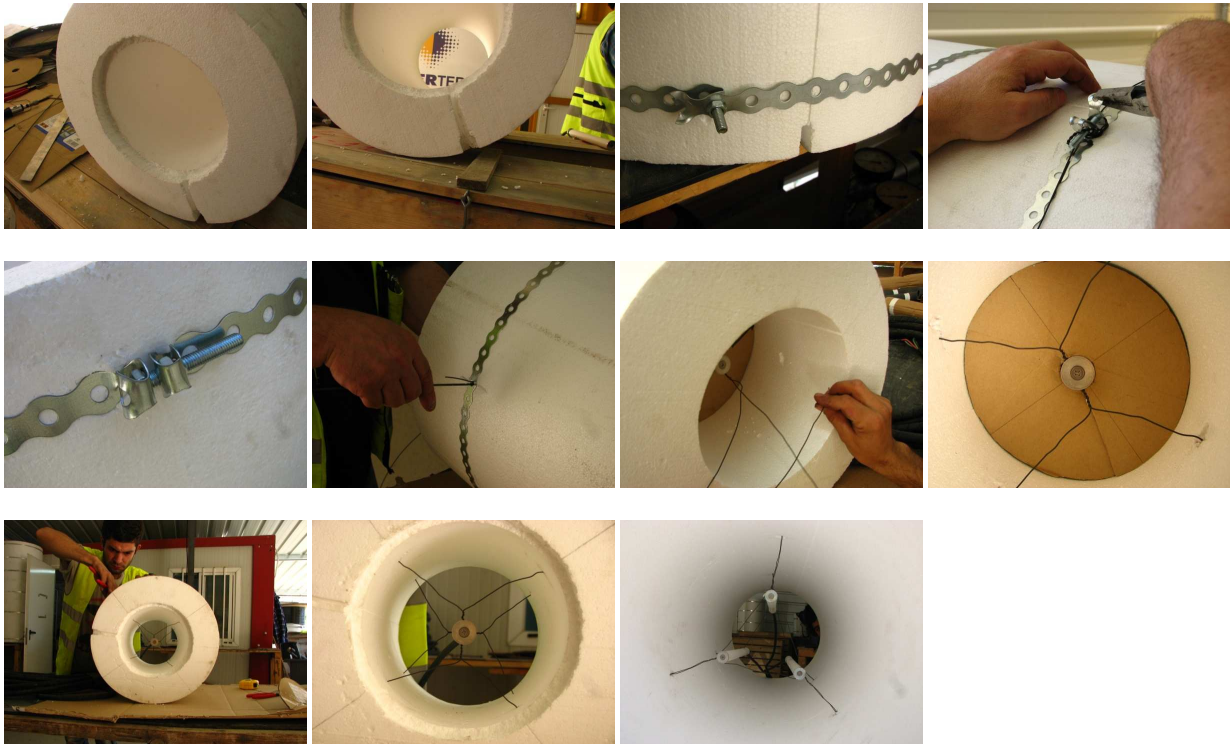


Exemplo**Tarefas e materiais:**

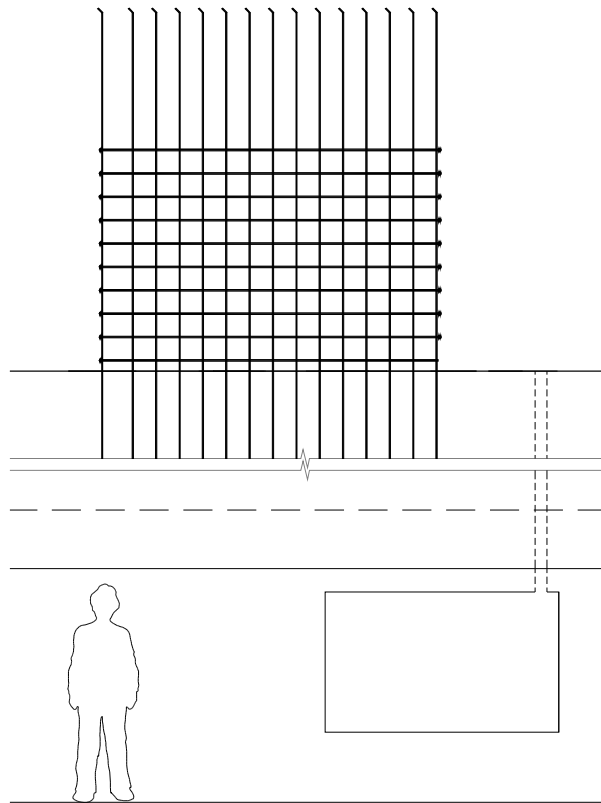
3. Preparação dos moldes de EPS:
 - 3.1. Execução dos rasgos nos moldes de EPS para posicionamento da almofada (incluindo a passagem da tubagem);
 - 3.2. Colocação das cintas de estabilização na face exterior dos moldes de EPS;
 - 3.3. Posicionamento dos extensómetros no interior dos moldes através de bitolas e arame de atar, atravessando o molde de EPS.

Materiais:

- Moldes de EPS;
- X-ato;
- Cintas perfuradas;
- Porcas e parafusos;
- Alicates standard e alicate de corte;
- Arame de atar;
- Bitolas;
- Extensómetros.



Esquemas



Tarefas e materiais:

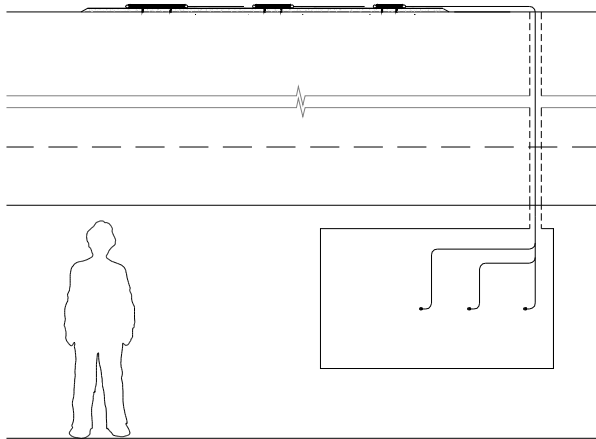
4. Colocação das armaduras envolventes das células ativas.

Materiais:

- Armaduras.



Esquemas



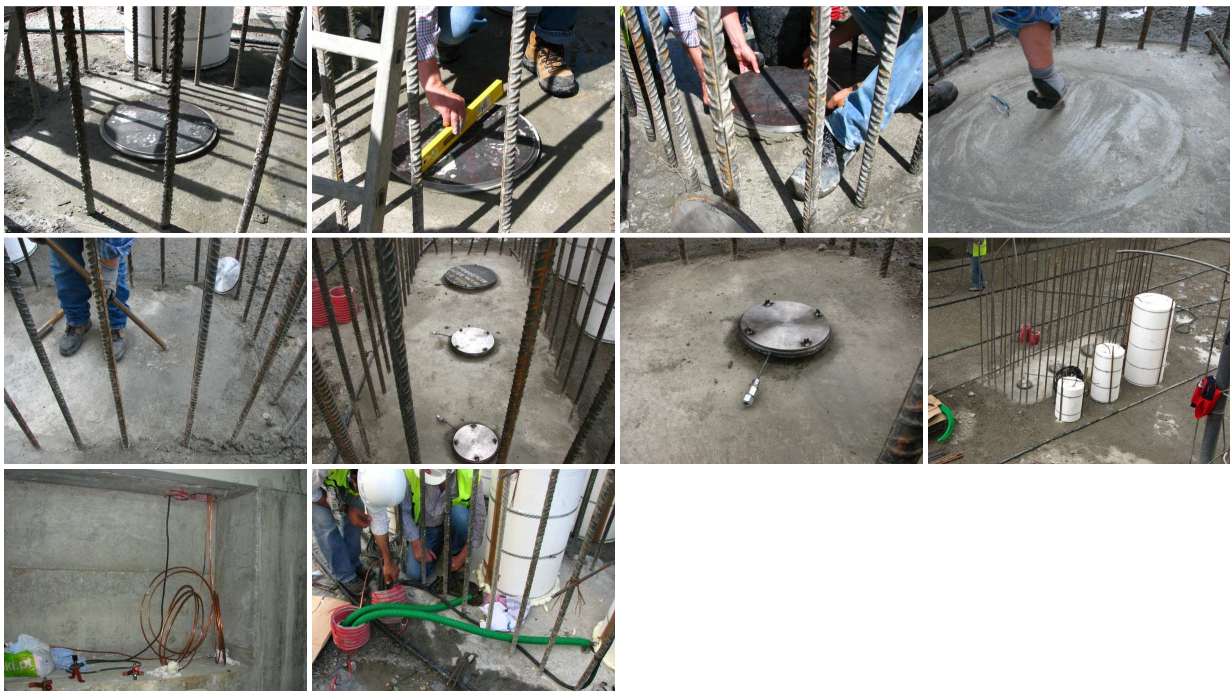
Tarefas e materiais:

5. Regularização da superfície de colocação das células;
6. Montagem do sistema de carga a embeber (almofadas, tubagem de acesso ao nicho):
 - 6.1. Colocação da placa de interface inferior cravada na camada de regularização e nivelada com a horizontal;
 - 6.2. Colocação da almofada preenchida com óleo;
 - 6.3. Colocação da placa de interface superior;
 - 6.4. Ligação da tubagem de cobre até ao nicho;
 - 6.5. Proteção da tubagem de cobre até ao negativo com tubagem corrugada.

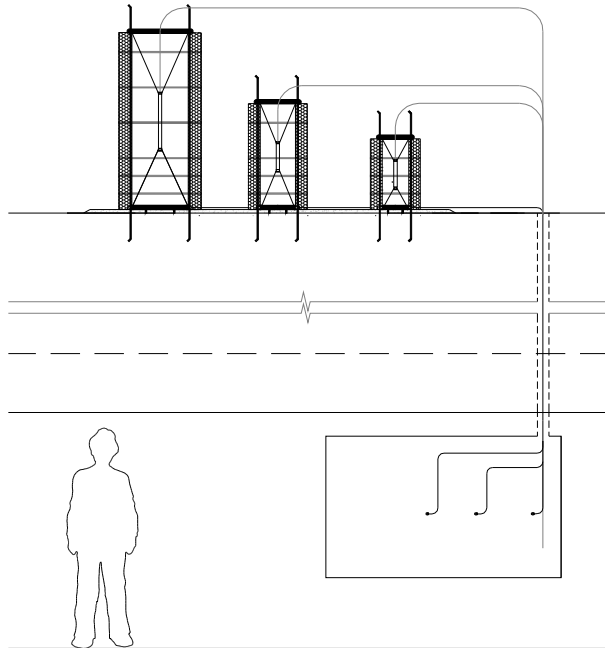
(VER PORMENOR DE MONTAGEM NO FINAL)

Materiais:

- Placas de interface e almofadas calibradas (3);
- Tubagem de cobre até ao nicho, preparada para ligação à almofada e ao sistema de carga;
- Tubo de proteção da tubagem do sistema de carga (tubo corrugado de 10 cm de diâmetro);
- Acessórios de ligação da almofada à tubagem de cobre;
- Óleo hidráulico;
- Bomba de óleo;
- Nível;
- Equipamentos de corte, soldadura e dobragem, para ajuste das tubagens;
- Maçarico;
- Ferramentas;
- Argamassa de regularização/ligação na zona das almofadas.



Esquemas



Tarefas e materiais:

7. Montagem dos moldes de EPS dos provetes ativos com os respectivos extensómetros, incluindo a selagem da zona entre a placa de interface e o molde com silicone;
8. Montagem dos moldes de EPS dos provetes corretores com os respectivos extensómetros;
9. Colocação de varões verticais para travamento dos provetes durante a betonagem do bloco;
10. Selagem com espuma de poliuretano do espaço entre a almofada e o molde de EPS, na célula ativa;
11. Purga do sistema com a bomba de óleo, no nicho;
12. Fecho do sistema de carga através da ligação da tubagem de cobre à almofada no bloco e à válvula de segurança no nicho.

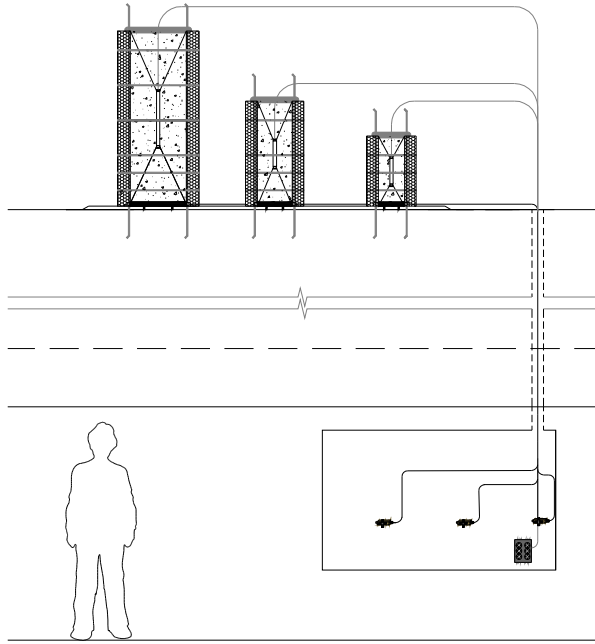
(VER PORMENOR DE MONTAGEM NO FINAL)

Materiais:

- Moldes de EPS;
- Espuma de poliuretano e silicone;
- Extensómetros;
- Arame de atar;
- Acessórios de ligação da almofada à tubagem de cobre (porcas, uniões, ...);
- Óleo hidráulico;
- Bomba de óleo;
- Moldes prismáticos com pernos para leitura manual;
- Caixa de leitura;
- Nível;
- Ferramentas;
- Cabo;
- Óleo descofrante para os moldes prismáticos.



Esquemas



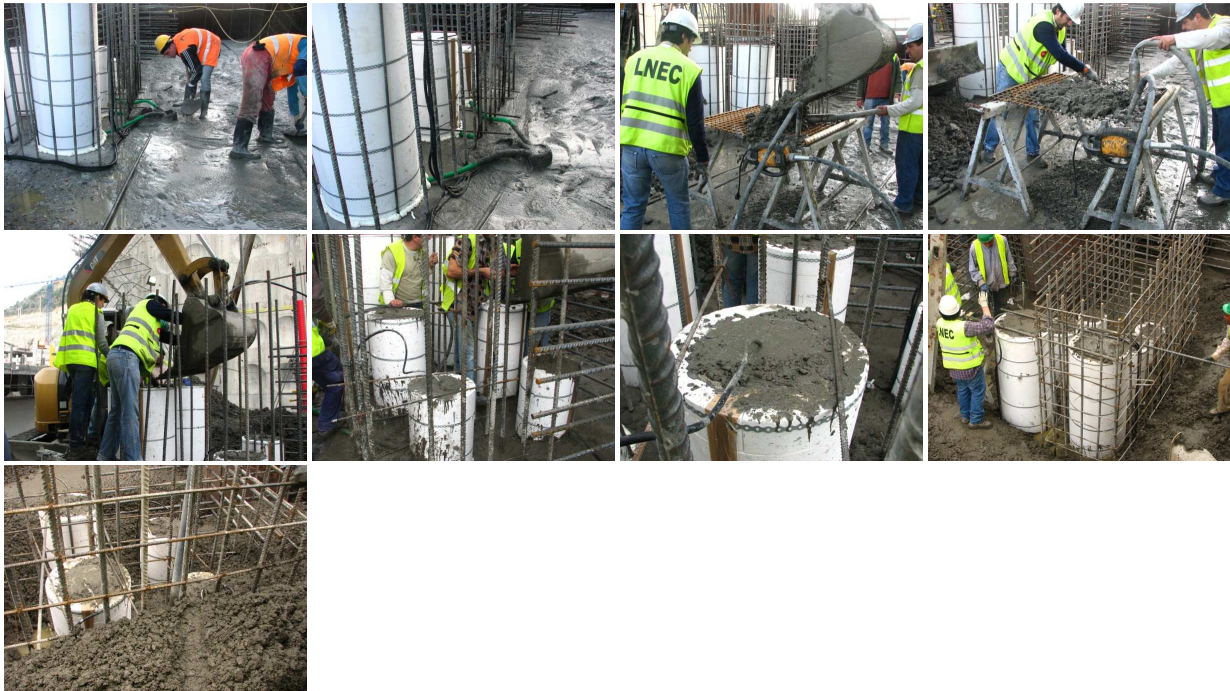
Tarefas e materiais:

13. Preenchimento da conduta técnica com argamassa;
14. Crivagem do betão integral;
15. Betonagem dos provetes com betão integral e crivado;
16. Betonagem dos provetes prismáticos, com a selagem provisória dos provetes com plástico;
17. Betonagem do bloco.

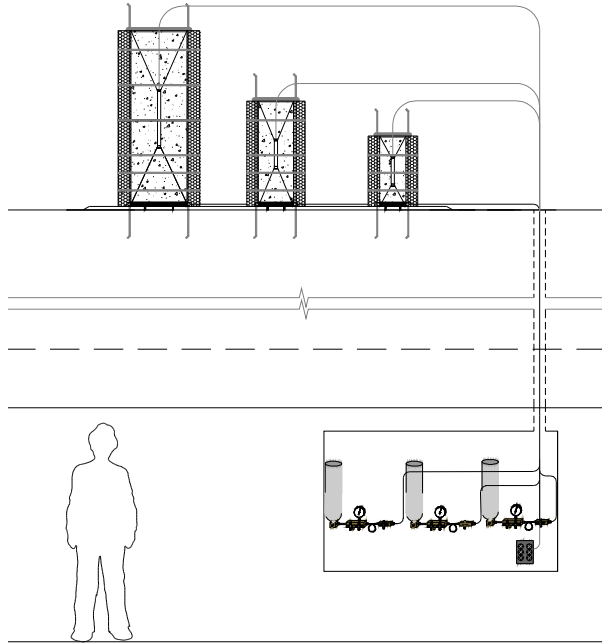
(VER PORMENOR DE MONTAGEM NO FINAL)

Materiais:

- Material para selar os moldes prismáticos provisoriamente (plástico);
- Peneiro de #76mm;
- Peneiro de #38mm;
- Vibradores.



Esquemas



Tarefas e materiais:

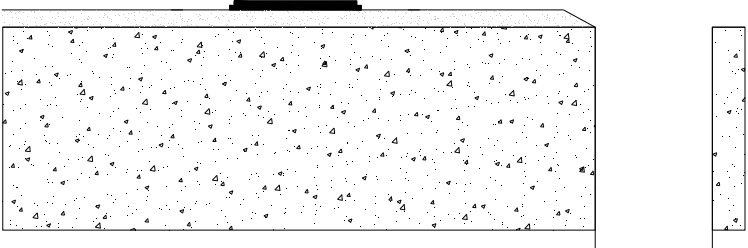
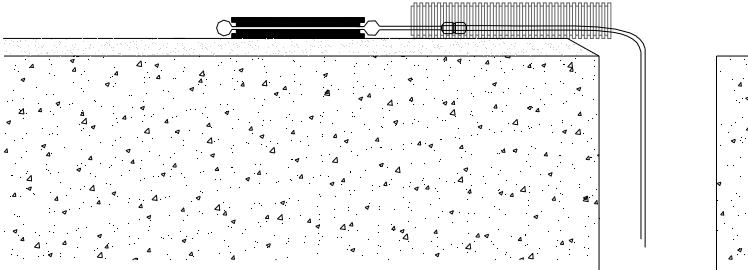
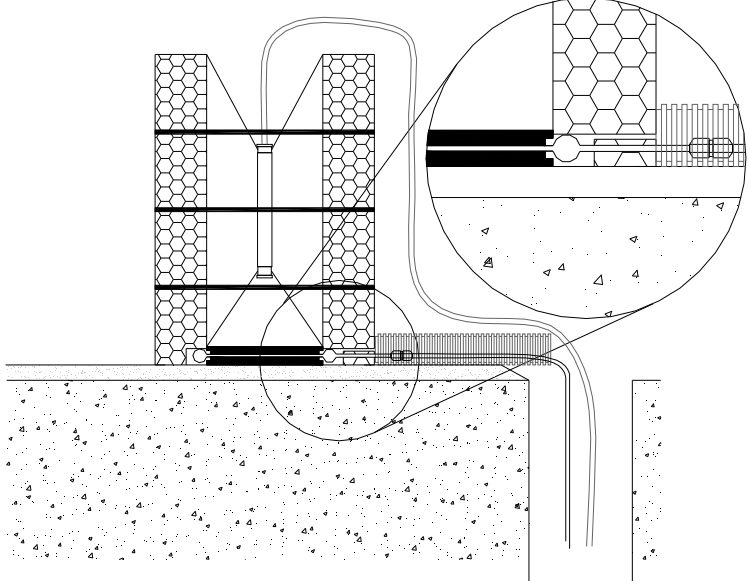
18. Montagem do sistema de carga no nicho.

Materiais:

- Garrafas de óleo e azoto;
- Blocos hidráulicos de ligação à garrafa (3);
- Blocos de comando (3);
- Manómetros (3);
- Sistema de suspensão dos blocos:
 - Chumbadores expansivos;
 - Suportes da garrafa e dos blocos;
- Tubagem de cobre;
- Bomba de óleo;
- Ferramentas.



PORMENORES DE MONTAGEM

	<p>Betonagem da camada de regularização; Colocação da placa de interface inferior.</p>
	<p>Montagem da almofada e da placa de interface superior; Dobragem do tubo de cobre na forma pretendida e encaminhamento para o nicho; Proteção do tubo de cobre com tubo corrugado; Purga da tubagem de cobre e ligação à almofada.</p>
	<p>Colocação dos moldes de EPS (com os extensómetros fixos aos moldes).</p>

	<p>Selagem do volume vazio junto à almofada e no perímetro do molde com espuma de poliuretano.</p>
	<p>Selagem da conduta técnica com argamassa; Crivagem dos betões de #75 mm e #38 mm; Betonagem e vibração dos provetes.</p>
	<p>Betonagem da envolvente das células.</p>

ANEXO D.2

PROCEDIMENTOS DETALHADOS DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE
CARGA DAS CÉLULAS DE FLUÊNCIA

Caracterização do sistema de carga das células de fluência

Neste anexo detalha-se o sistema de carga utilizado nas células de fluência, em particular a sua constituição e procedimentos de funcionamento.

Os esquemas seguintes apresentam os vários componentes do sistema, divididos por aqueles que se encontram embebidos no betão, para aplicar a pressão às células de fluência, e por aqueles que podem ser substituídos, uma vez que se encontram no nicho da galeria.

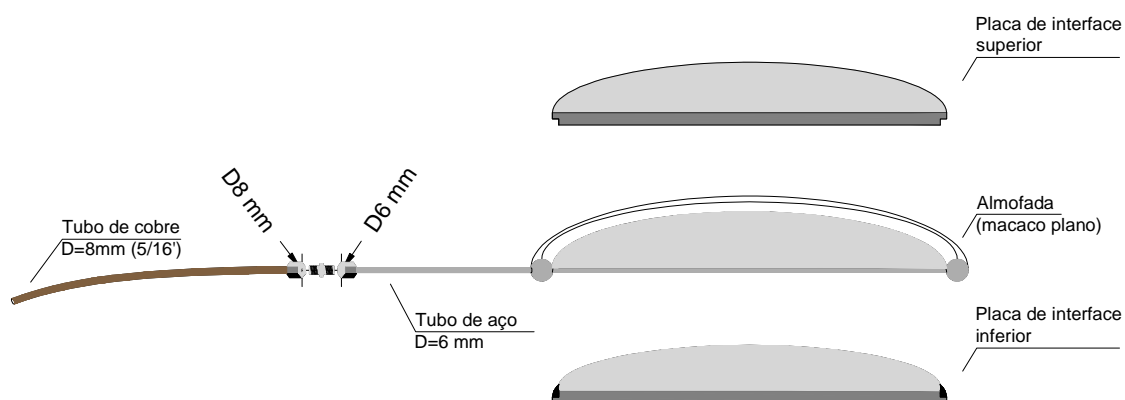


Figura 1 – Sistema de carga das células de fluência

O sistema embebido, tal como apresentado no anexo D.1, é constituído por uma almofada de aço que, ao ser preenchida com óleo, mobiliza as placas de interface e transmite a pressão à célula de fluência betonada contra a própria placa. A almofada consiste em duas chapas de aço de 1 mm de espessura, cortadas e moldadas na forma apresentada no esquema e soldadas uma à outra na periferia. A ligação à tubagem de cobre e ao nicho faz-se através de uma tubagem rígida de 6 mm de diâmetro, soldada à própria almofada, e uma união que faz a transição para a tubagem de cobre de 5/16'' de diâmetro (≈ 8 mm). As placas de interface são constituídas por aço com 15 mm de espessura.

A referência para o óleo hidráulico utilizado é Tellus S2 V 15, embalagem de 20 litros.

O diâmetro das placas de interface deverá ser igual ao diâmetro interior dos moldes de EPS.

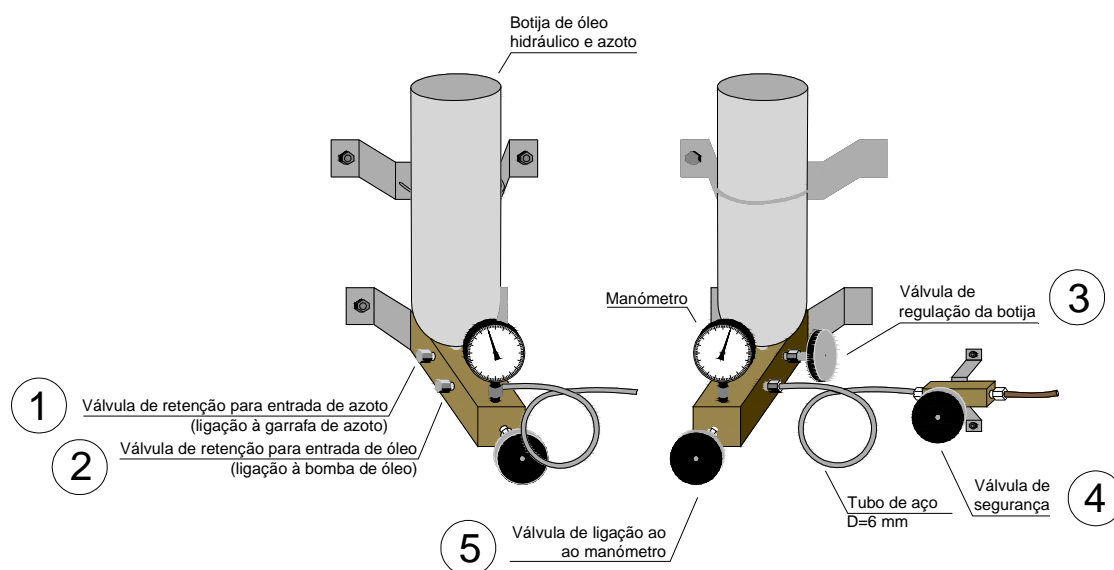


Figura 2 – Equipamentos aparentes do sistema de carga no nicho

O sistema de carga no nicho é constituído por um bloco de comandos que permite a regulação de pressão em todo o sistema, desde a introdução de azoto e óleo na botija e no restante sistema, de aplicação de variações de pressão no sistema embebido, e por uma válvula de segurança independente do bloco de comandos que possibilita a sua substituição.

No bloco de comandos encontram-se as válvulas de regulação da botija e de regulação do manómetro, que permitem o acesso do óleo a cada um dos componentes. Inclui também uma válvula de retenção para a entrada de azoto para o interior da botija (ligação direta à parte superior da botija) e a válvula de retenção para entrada de óleo hidráulico no sistema. Para além disso, o bloco de comandos contém um fusível na parte inferior que evita a acumulação acidental de pressões acima de 120 bar. Deve referir-se que a válvula de regulação da botija apenas evita a ligação da botija com o restante sistema, a introdução de azoto faz-se por um sistema independente no interior do bloco e da botija. As válvulas de retenção funcionam apenas no sentido de introdução de óleo/azoto para o interior do bloco.

Após a instalação do sistema de carga embebido e a colocação e endurecimento do betão, a montagem do sistema no nicho da galeria implica, em primeiro lugar, a fixação da válvula de segurança na sua posição definitiva. A tubagem de cobre permite alguma adaptação do local de instalação do sistema, no entanto, após dobragem este fica quebradiço e tende a ceder. A posição relativa entre a válvula de segurança e o bloco de comandos está previamente definida através da forma do tubo de aço que liga os dois componentes. A fixação da botija, do bloco e da válvula de segurança à parede do nicho faz-se através dos suportes apresentados no esquema e de chumbadores expansíveis.

De seguida referem-se os procedimentos de cada operação associada ao sistema de carga.

Procedimento para enchimento da botija de azoto e óleo:

1. Verificar se a válvula de segurança (4) está fechada;
2. Colocar manómetro e abrir válvula de ligação ao manómetro (5);
3. Fechar válvula de regulação da botija (3);
4. Ligar a bomba à válvula de retenção para entrada de óleo (2);
5. Ligar botija de azoto industrial à válvula de retenção para entrada de azoto (1);
6. Abrir válvula de regulação da botija (3);
7. Encher botija com óleo hidráulico a dois terços da capacidade da botija;
8. Abrir a válvula da botija de azoto industrial e verificar a subida de pressão no manómetro até à pressão pretendida;
9. Aguardar um período para verificar se a pressão desce (estabilização do azoto) e corrigir a pressão com a bomba através da ligação à válvula para entrada de óleo (2);
10. Fechar válvula de regulação da botija;
11. Desligar a botija de azoto industrial da válvula de retenção para entrada de azoto (1);
12. Desligar a bomba de óleo da válvula de retenção para entrada de óleo (2).

Procedimento para aplicação de variações instantâneas de carga:

1. Leitura geral de pressão no sistema e extensão e temperatura registada nos extensómetros;
2. Averiguar a existência de pressão no sistema (botija e restante sistema);
3. Fecho da válvula de segurança (4);
4. Abertura da válvula de ligação ao manómetro (5);
5. Ligação da bomba de óleo pela válvula de retenção para entrada de óleo (2);
6. Igualar a pressão da bomba de óleo com a pressão do sistema;
7. Abertura da válvula de segurança (4);
8. Início do ensaio;
9. Fecho da válvula de segurança (4);
10. Saída da bomba de óleo.

Procedimento para aplicação de cargas permanentes:

1. Averiguar a existência de pressão no sistema (botija e restante sistema);
2. Garantir que a pressão na botija é igual à pressão que se pretende no sistema;
3. Fecho da válvula de segurança (4);
4. Abertura da válvula de ligação ao manómetro (5);
5. Ligação da bomba de óleo pela válvula de retenção para entrada de óleo (2);
6. Igualar a pressão da bomba de óleo com a pressão do sistema;
7. Abertura da válvula de segurança (4);
8. Reposição de eventuais perdas de carga;
9. Abertura da válvula de regulação da botija;
10. Saída da bomba de óleo.

Nas figuras seguintes apresentam-se os principais acessórios necessários ao circuito do sistema de carga.

Acessórios de ligação entre o bloco hidráulico e a almofada:

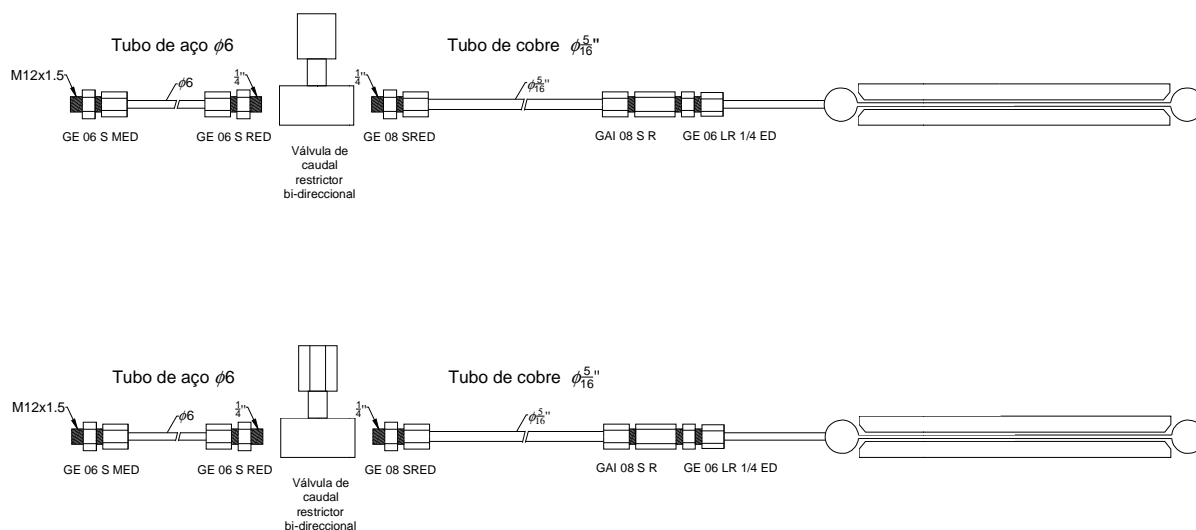


Figura 3 – Esquema de ligações entre a almofada e a garrafa



Figura 4 – Manómetro Silicone 100-100bar normal

Para o caso da instalação de células de fluência na barragem de montante do Baixo Sabor, os equipamentos mecânicos foram adquiridos na empresa *Movicontrol* e na empresa *A.R.L* da *Stockhotel*. Apresentam-se de seguida as faturas referentes a um conjunto de células (integral, médio e crivado).



movicontrol®
Sistemas de Acionamento e Automação, S.A.

Fatura

Nº *****13140403

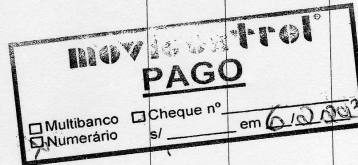
Original

Modo Expedição : N/Armazem
Local Carga : Nosso Armazem
Local Descarga : Vossa Morada
Data/Hora saída : 06.02.2013 / 15:45
Matricula :

LNEC - LAB. NAC. ENG. CIVIL
AV DO BRASIL 101
SECÇÃO DE AQUISIÇÕES
1700-066 LISBOA

Data Docum.	Nº Cliente	V/Nº Contribuinte	Encomenda	NºVend.	Condições de Pagamento	Data Vencim.
06.02.2013	94	501389660		6	Venda a Dinheiro	06.02.2013

Código de artigo	Designação	Qtd.	Preço Unit.	IVA	Dsc.	Tot. Liq.
E-JA-GE06SRED	UNIÃO TUBO-ROSCA GE06SRED -	3,000	1,98	23%	20,00	4,75
E-JA-GAI08SR	UNIÃO TUBO-ROSCA FEMEA GAI08SR -	3,000	7,41	23%	20,00	17,78
E-JA-GE08SRED	UNIÃO TUBO-ROSCA GE08SRED -	3,000	2,32	23%	20,00	5,57
E-JA-GE06LR04ED	UNIÃO TUBO-ROSCA GE06LR1/4ED -	3,000	2,17	23%	20,00	5,21
E-JA-GE06SMED	UNIÃO TUBO-ROSCA GE06SMED -	3,000	4,79	23%	20,00	11,50
I-MC-MA-100-0100N	MANOMETRO SILICONE 100-100 BAR NORMAL -	3,000	30,00	23%	20,00	72,00
C-VQRTB-04-705014H	VALVULA DE CAUDAL RESTRITOR BI-DIRECCIONAL DV-08.01.1 - 1/4BSP -	3,000	27,93	23%	20,00	67,03



Devoluções só podem ser feitas no prazo máximo de 8 dias e mediante a nossa aceitação expressa

OBS:RD --

% IVA	Incidência	Valor do IVA	Total Iliquido	229,80
0% e Especial			Desc. Linha	45,96
6,0			Desc. Fin.	
13,0			Total I.V.A.	42,28
23,0	183,84	42,28	Total do Documento (EUR):	226,12

Extenso duzentos e vinte e seis euros e doze cêntimos

© Generalized Docim: 06.02.2013 X-Ye9-Processado por programa certificado n.º75AT. ARTSOFT V7.70. Lic: 200086, M

Os bens/serviços foram colocados à disposição do adquirente em 06.02.2013 V002 - LX - Venda Dinheiro

LISBOA:
R. PROF. HENRIQUE DE BARROS Nº 5B
2685-339 PRIOR VELHO
☎21 942 99 00 ☎21 941 35 00
E MAIL: geral@movicontrol.pt

Sociedade Anónima
Matricula 6115 C.R.C.— LOURES
Contribuinte: 501 794 638
Capital Social: 1.000.000 Euros
www.movicontrol.pt

PORTO:
R. DA ALMEIRIGA 619 E 621
4450-612 LEÇA DA PALMEIRA
☎22 999 72 60 ☎22 999 63 35
E MAIL: geralporto@movicontrol.pt

Figura 5 – Fatura de compra relativa aos acessórios necessários para o sistema de carga

