

Desenvolvimento de uma prensa para a verificação de dispositivos de resistência elétrica tipo Carlson a embeber no betão de barragens

**José Ilídio
Ferreira¹**

**Manuel Gomes
Gonçalves²**

Rui Almeida³

Mónica Silva⁴

**António Lopes
Batista⁵**

**Álvaro Silva
Ribeiro⁶**

Carlos Serra⁷

RESUMO

Antes da sua aplicação, tanto em obra como em provetes laboratoriais, requiere-se a calibração dos dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, nomeadamente extensómetros e medidores do movimento de juntas, a embeber no seio do betão. Essa calibração é realizada com recurso a sistemas mecânicos, correntemente designados por prensas de teste e calibração, constituindo padrões de referência que asseguram a rastreabilidade das medições. Atualmente não são conhecidas soluções comerciais fiáveis adequadas a este fim, pelo que houve necessidade de desenvolver um equipamento específico para o efeito.

Em termos de desempenho pretende-se, no caso dos extensómetros correntes de 254 mm (10”), um nível de exatidão de 4×10^{-6} na medição das extensões, numa gama de medição compreendida, em geral, entre 700×10^{-6} , no ramo de tração, e 1400×10^{-6} , no ramo de compressão. Estes valores implicam a imposição de deslocamentos na gama de medição compreendida entre 0,178 mm e 0,356 mm, respetivamente, com uma resolução de 0,001 mm.

O presente trabalho descreve os aspetos relevantes do desenvolvimento de uma prensa para calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, que envolveu a EDP, na conceção geral e no acompanhamento do seu desenvolvimento, a Tecnogial – Projectos e Tecnologia Industrial, Lda, no projeto e construção, e o LNEC, na otimização do projeto, na caracterização metrológica do sistema de medição e na definição dos requisitos de desempenho metrológico. O LNEC fez ainda a calibração da escala de medição da prensa usando padrões de referência rastreados aos padrões primários da grandeza comprimento.

Apresentam-se alguns resultados da caracterização metrológica e calibração da prensa e da sua utilização na verificação do funcionamento de extensómetros e de medidores do movimento de juntas das barragens do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor.

Palavras-chave: prensa, dispositivos de resistência elétrica, caracterização metrológica

¹ Energias de Portugal (EDP), Porto. ilidio.ferreira@edp.pt

² Energias de Portugal (EDP), Porto. manuelgomes.goncalves@edp.pt

³ Tecnogial, Matosinhos. tecnogial@tecnogial.pt

⁴ Tecnogial, Matosinhos. tecnogial@tecnogial.pt

⁵ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. a.l.batista@lnec.pt

⁶ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. asribeiro@lnec.pt

⁷ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. cserra@lnec.pt

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Antes da sua aplicação, tanto em obra como em provetes laboratoriais, requer-se a calibração dos dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, nomeadamente extensómetros e medidores do movimento de juntas, a embeber no seio do betão. Essa calibração é realizada com recurso a sistemas mecânicos, correntemente designados por prensas de teste e calibração, constituindo padrões de referência que asseguram a rastreabilidade das medições. Atualmente não são conhecidas soluções comerciais fiáveis adequadas a este fim, pelo que houve necessidade de desenvolver um equipamento específico para o efeito, já que está prevista a instalação de muitas centenas de dispositivos de resistência elétrica nas obras em construção e naquelas que serão iniciadas a curto prazo. É desse desenvolvimento que trata o presente trabalho.

As prensas devem permitir a imposição de deslocamentos conhecidos entre as extremidades do dispositivo de resistência elétrica a testar, a partir dos quais se podem calcular o deslocamento relativo e a extensão aplicada, e comparar estes valores com os obtidos através das leituras na unidade de leitura ou aquisição dedicada. A unidade de aquisição permite a transformação de variações de grandezas elétricas em grandezas mecânicas e térmicas, nomeadamente deslocamentos relativos, extensões e temperaturas. Exigindo-se uma precisão nas medições de extensões da ordem de 4×10^{-6} , o sistema mecânico das prensas deve ser concebido por forma a garantir este requisito de desempenho. Em regra, é na fixação dos dispositivos e na transmissão integral dos deslocamentos impostos que surgem as maiores dificuldades.

Exige-se, no caso dos extensómetros correntes de 254 mm (10"), um nível de exatidão de 4×10^{-6} na medição das extensões, numa gama de medição compreendida, em geral, entre 700×10^{-6} , no ramo de tração, e 1400×10^{-6} , no ramo de compressão. Estes valores implicam a imposição de deslocamentos na gama de medição compreendida entre 0,178 mm e 0,356 mm, respetivamente, com uma resolução de 0,001 mm. Em regra pretende-se verificar, para além da linearidade da resposta, também a sua constante de calibração.

Faz-se uma breve resenha histórica da utilização deste tipo de prensas no LNEC e na EDP, no sentido de enquadrar algumas opções relativas à conceção do novo equipamento. De seguida descrevem-se os aspetos relevantes do desenvolvimento da prensa para calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, que envolveu a EDP, na conceção geral e no acompanhamento do seu desenvolvimento, a Tecnogial – Projectos e Tecnologia Industrial, Lda, no projeto e construção, e o LNEC, na otimização do projeto, na caracterização metrológica do sistema de medição e na definição dos requisitos de desempenho metrológico. O LNEC fez ainda a calibração da escala de medição da prensa usando padrões de referência rastreados aos padrões primários da grandeza comprimento.

Apresentam-se ainda alguns resultados da caracterização metrológica e calibração da prensa e da sua utilização na verificação do funcionamento de extensómetros e de medidores do movimento de juntas das barragens do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor.

2. PRENSAS DE CALIBRAÇÃO USADAS NO PASSADO

Nos anos sessenta do século passado o LNEC desenvolveu uma prensa de calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson. A prensa era constituída por um corpo rígido em U, com cerca de 400 mm de comprimento, formado por um conjunto de barras de aço solidarizadas entre si. No seu interior ajustava-se uma outra peça, de conceção idêntica mas mais pequena, que podia deslocar-se longitudinalmente por meio de um parafuso micrométrico. Nas extremidades das referidas peças existiam chumaceiras para fixação dos dispositivos a testar. Um defletómetro mecânico analógico de milésimas, incorporado na peça de maior comprimento, registava o deslocamento imposto nessa extremidade (Fig. 1). Esta prensa foi utilizada com sucesso durante cerca de três décadas, designadamente nas barragens do Caia, Carrapatelo, Crestuma, Fronhas, Funcho, Odivelas, Ranhados, Roxo, Régua, Torrão, Valeira, Varosa e Vilarinho das Furnas, nas verificações em estaleiro e ainda de extensómetros utilizados em provetes destinados à realização de ensaios laboratoriais.

A partir da década de setenta a EDP utilizou uma prensa produzida pela Kyowa, empresa de conceção e fabrico de instrumentação. Esta prensa era constituída por quatro elementos principais (Fig. 2): um sistema de fixação dos dispositivos a calibrar, um fixo e outro móvel, um sistema de aplicação dos

deslocamentos, um sistema de medição e guias de suporte. Teve uma utilização intensiva ao longo de cerca de 30 anos, bem sucedida, na calibração de dispositivos, tanto em obra (por exemplo na construção da barragem do Alto Lindoso) como em laboratório.

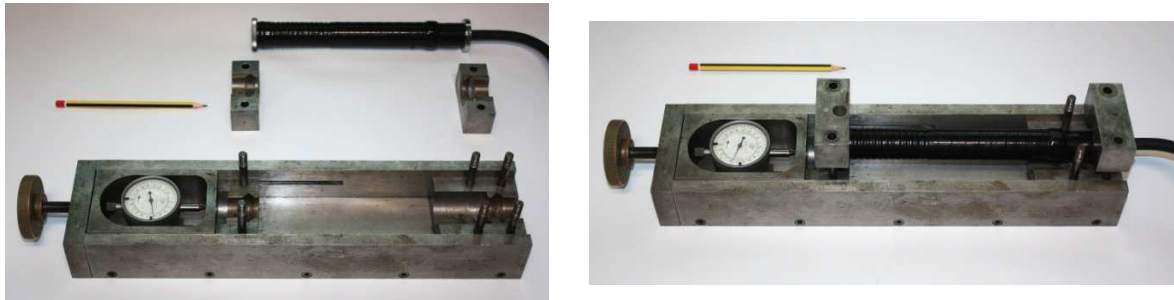


Figura 1. Aspectos da montagem de um extensómetro de 10" na prensa do LNEC construída na década de sessenta do século passado

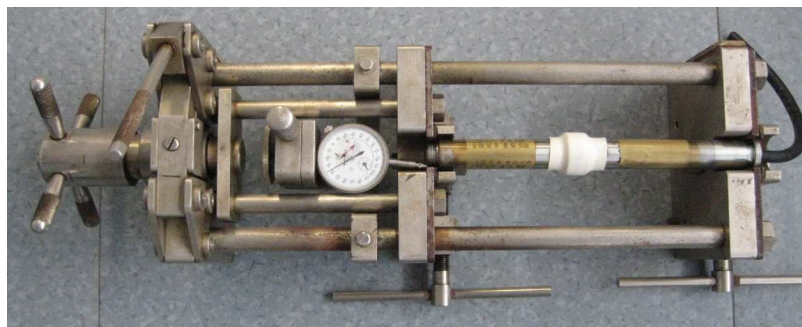


Figura 2. Prensa Kyowa utilizada pela EDP em laboratório e durante a construção da barragem do Alto Lindoso

Há cerca de 15 anos, aquando da construção das barragens de Alqueva e Pedrógão, o LNEC adquiriu uma prensa à RST Instruments, fabricante canadiano de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson. A prensa era constituída, fundamentalmente, por uma base rígida, uma garra de fixação e uma matriz guiada na qual eram impostos e medidos os deslocamentos através de uma cabeça micrométrica (Fig. 3). O funcionamento da prensa revelou alguns problemas de operacionalidade (não eram suficientemente fiáveis os sistemas de amarração dos dispositivos a testar e não eram independentes os sistemas de imposição e de leitura dos deslocamentos).

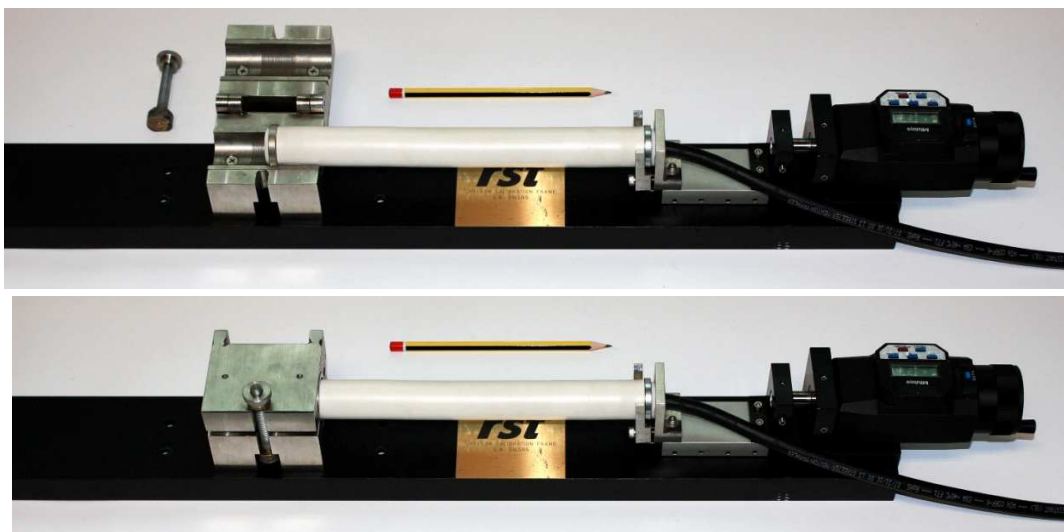


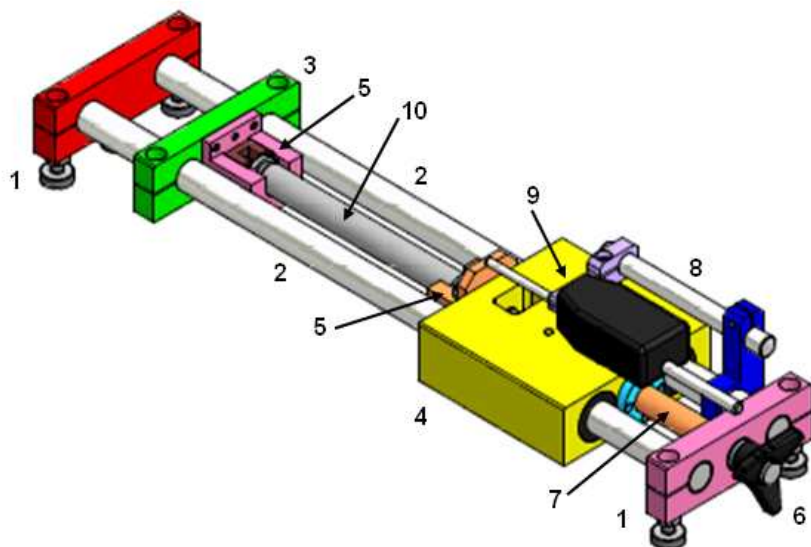
Figura 3. Aspectos da montagem de um extensómetro de 10" na prensa RST adquirida pelo LNEC para utilização durante a construção das barragens de Alqueva e Pedrógão

3. ASPETOS DO PROJETO E CONSTRUÇÃO DA PRENSA

Tendo em conta as experiências do passado, e no sentido de dar resposta às necessidades decorrentes da instrumentação das barragens de betão em construção, a EDP envolveu-se na conceção de uma nova prensa, considerando os atuais requisitos técnicos e metrológicos, tendo também acompanhado as fases de desenvolvimento do projeto e a construção. O projeto e o fabrico foram da responsabilidade da Tecnogial – Projectos e Tecnologia Industrial, Lda. O LNEC deu contributos na otimização do projeto, no âmbito das atividades de caracterização metrológica.

A nova prensa (Fig. 4), de conceção e princípio de funcionamento relativamente simples, é constituída por duas barras de guiamento paralelas, de secção circular (2), fixadas nas extremidades a duas peças (1) que, além de servirem de apoio de todo o conjunto, garantem o alinhamento e o paralelismo das duas barras. Ao longo das barras, entre as peças das extremidades, podem deslizar duas bases (3 e 4) que suportam as matrizes para fixação (5) dos dispositivos a calibrar. Uma das bases é fixa (3), podendo, no entanto, ser posicionada ao longo das guias para se ajustar ao comprimento dos dispositivos a testar, sendo a outra móvel (4) mediante o acionamento do parafuso micrométrico M20 (7), que tem um passo de 0,5 mm. Numa das barras de guiamento, de forma independente do sistema de aplicação do deslocamento, pode deslizar o sistema de suporte e fixação (8) do comparador (9). A prensa tem 5 pés de apoio e nivelamento, 3 de um lado e 2 do outro, roscados nas peças de extremidade, e um punho (6) para acionamento do parafuso micrométrico.

Na conceção e desenvolvimento da prensa foram tidos como fundamentais os seguintes objetivos: i) rigidez na fixação dos dispositivos; ii) correta transferência de deslocamentos entre os dispositivos a calibrar e o dispositivo de medição; iii) paralelismo entre as direções de medição e os eixos de deslocamento; e iv) aplicação das forças para imposição de deslocamentos aos dispositivos segundo o plano de maior resistência da prensa.



- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 – Peças de apoio nas extremidades | 6 – Punho de aplicação de deslocamento (acionamento do parafuso micrométrico) |
| 2 – Barras de guiamento | 7 – Parafuso micrométrico |
| 3 – Peça da base fixa | 8 – Haste de apoio do comparador |
| 4 – Peça da base móvel | 9 – Comparador |
| 5 – Matrizes de apoio do dispositivo | 10 – Dispositivo a testar |

Figura 4. Esquema geral da nova prensa de calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson

Foi usada uma liga de alumínio Al 5083 nas peças das bases móvel e fixa e de apoio nas extremidades. Nas restantes peças foi utilizado aço inox AISI 304. Para o deslize entre a base móvel e as barras de guiamento foi utilizado um sistema com baixo coeficiente de atrito e ajuste fino, da marca Iigus. Como unidade de medição é utilizado um comparador digital da marca Mitutoyo, modelo ID-H Série 543-564A, com uma gama de medição de 60 mm, uma resolução de 0,0005 mm e uma exatidão de 0,0025 mm, com saída de dados diretamente para um computador.

Embora o modelo base da prensa fosse concebido para a calibração de extensómetros de 10” (254 mm), está preparado para adaptação para extensómetros de 20” (508 mm) mediante a instalação de barras de guiamento mais extensas.

4. PROCESSO DE CARACTERIZAÇÃO, CALIBRAÇÃO E RASTREABILIDADE DA PRENSA

4.1 Aspetos gerais

A rastreabilidade da medição (Fig. 5) constitui um dos elementos essenciais do processo de garantia da qualidade. Esse processo consiste em estabelecer uma cadeia ininterrupta de ligações desde a medição e o instrumento que a efetua até aos padrões primários das grandezas mensuráveis, por via da calibração, permitindo obter uma estimativa da incerteza associada a cada medição.



Figura 5. Diagrama de cadeia de rastreabilidade ao BIPM (Bureau International de Poids et Mesures)

No processo de medição usando dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, pelo facto de efetuarem a medição em obra (*in situ*), a constituição da cadeia de rastreabilidade requer a existência de um padrão de transferência (prensa de calibração e comparador), o qual estabelece a ligação com padrões de referência de um laboratório metrológico (máquina de medição de coordenadas 3D e calibrador de comparadores) rastreados aos padrões primários nacionais (Instituto Português da Qualidade) da grandeza comprimento. Esta cadeia de medição foi construída tendo como suporte o laboratório central de apoio metrológico (LCAM) do LNEC, onde se dispõe do equipamento de referência mencionado.

O processo de rastreabilidade foi desenvolvido em três etapas:

- Calibração e caracterização metrológica da prensa (padrão de transferência), incluindo a avaliação de incertezas;
- Calibração dos dispositivos Carlson em obra;
- Análise de resultados e validação do processo.

4.2 Calibração e caracterização metrológica da prensa de calibração

Como referido, a prensa de calibração possui dois elementos que servem de referencial ao processo, um fixo, onde se encontra um comparador (calibrado autonomamente usando um calibrador de comparadores) que constitui o equipamento de referência, e uma base móvel que transmite o deslocamento ao dispositivo Carlson (Figs. 4 e 6). O comparador (no referencial fixo) efetua a medição do deslocamento da base móvel (referencial móvel) que, por sua vez, sujeita o dispositivo Carlson a uma variação de extensão.

Neste contexto o procedimento de calibração consistiu em comparar os deslocamentos observados com o comparador no referencial fixo (valor lido) com o deslocamento do plano móvel (vide Fig. 6) em diferentes posições, observado usando a máquina de medição de coordenadas 3D, de modo a determinar os desvios de calibração. Foram efetuados patamares na gama de medição entre

Desenvolvimento de uma prensa para a verificação de dispositivos de resistência elétrica tipo Carlson de embeber no betão no betão de barragens

– 0,100 mm e + 0,100 mm, em intervalos de 0,025 mm, verificando-se diferenças médias compreendidas entre $\pm 2 \mu\text{m}$.

No que se refere à caracterização metrológica de um equipamento, esta consiste em avaliar as características que possibilitam o julgamento da adequação de cada instrumento para efetuar medições dentro de determinada gama, com uma exatidão conhecida, obtendo um valor da mensuranda e a estimativa da sua inexatidão [1]. Esta componente do estudo tem uma importância particular na avaliação da qualidade da prensa de calibração, uma vez que, sendo o processo de transferência da medição indireto, a qualidade da calibração depende fundamentalmente do processo de transferência da grandeza envolvendo efeitos de natureza geométrica que se podem manifestar como fontes de incerteza significativas.

A caracterização efetuada teve como objetivo avaliar um conjunto de grandezas geométricas associadas aos planos e aos eixos principais que podem influenciar o desempenho da medição do sistema, destacando-se a ortogonalidade entre o eixo do comparador e o plano de medição do comparador, bem como o paralelismo entre este plano e o plano móvel de imposição do deslocamento ao dispositivo do tipo Carlson.

A Fig. 6 define a localização dos eixos e dos planos principais que foram considerados, bem como o referencial construído na máquina de medição de coordenadas 3D. Os principais resultados obtidos relativamente a essa caracterização metrológica de grandezas geométricas de influência, bem como os desvios máximos dimensionais obtidos considerando os desvios angulares e os comprimentos de referência extremos onde esses desvios são obtidos, são apresentados no Quadro 1.

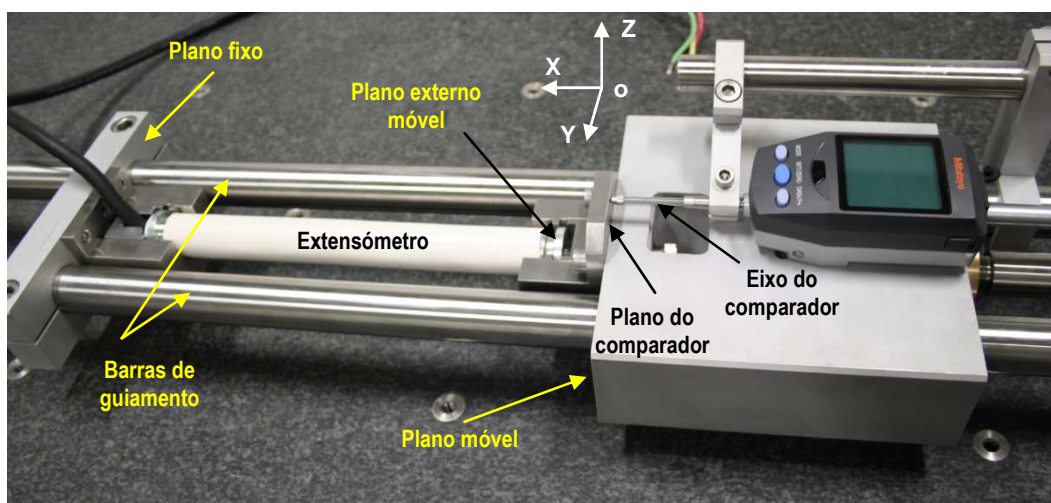


Figura 6. Referencial, planos e eixos de referência da prensa de calibração em observação para caracterização geométrica usando uma máquina de medição de coordenadas 3D

Os resultados obtidos nestes ensaios mostram que a grandeza de influência que poderá ter uma contribuição mais significativa para a incerteza de medição é o desvio de paralelismo entre o eixo do comparador e o eixo do dispositivo Carlson, o qual varia cada vez que se instala um novo dispositivo, bem como durante a execução do ensaio, uma vez que são aplicadas forças que originam alterações de geometria e deformações não completamente recuperadas durante o processo de calibração.

A avaliação da incerteza de medição associada à calibração da prensa usando como padrão de referência a máquina de medição de coordenadas 3D do LNEC, contabilizando as contribuições relativas ao padrão de referência, ao comparador (padrão de transferência), grandezas geométricas, efeito da temperatura (os ensaios foram realizados numa sala laboratorial com temperatura controlada de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) e a variação de planeza do plano móvel, combinando estas componentes de acordo com a Lei de Propagação de Incertezas, conforme exposto no guia ISO-GUM [2], permite apresentar uma estimativa (para um intervalo de 95 % de confiança) de $U_{95}(l) = 5 \mu\text{m}$.

Quadro 1. Resultados experimentais obtidos relativos às grandezas geométricas observadas no contexto da caracterização metrológica da prensa de calibração no LCAM/LNEC

Grandeza: ortogonalidade eixo do comparador (EC) vs. plano do comparador (PLN_C)			
Comprimento de referência / mm	Identificação do ângulo	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
20 mm	XoZ	- 89,925	0,02
	YoZ	-89,789	0,14
Grandeza: paralelismo plano móvel (PLN_M) vs. plano fixo (PLN_F)			
Comprimento de referência / mm	Identificação dos planos	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
400 mm	Y _M oZ _M // Y _F oZ _F	-0,144	0,63
Grandeza: paralelismo eixo comparador (EC) vs. Eixo extensômetro (EE)			
Comprimento de referência / mm	Identificação dos planos	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
200 mm	Y _C oZ _C // Y _E oZ _E	0,242	1,78
Grandeza: paralelismo plano comparador (PLN_C) vs. plano externo móvel (PLN_EM)			
Comprimento de referência / mm	Identificação dos planos	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
40 mm	Y _C oZ _C // Y _{EM} oZ _{EM}	0,139	0,12
Grandeza: paralelismo plano comparador (PLN_C) vs. plano móvel (PLN_M)			
Comprimento de referência / mm	Identificação dos planos	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
40 mm	Y _C oZ _C // Y _M oZ _M	0,056	0,02
Grandeza: paralelismo entre eixos das barras de guiamento esquerda e direita			
Comprimento de referência / mm	Identificação dos planos	Ângulo observado experimental / °	Desvio máximo estimado / μm
200 mm	oX _E // oX _D	0,012	0,01

4.3 Funcionamento dos dispositivos Carlson para medição de extensões

Os sensores de resistência elétrica tipo Carlson baseiam-se em duas resistências (1/2 ponte Wheatstone) de fio de aço, tensionadas por duas molas calibradas. A aplicação dos deslocamentos ou das forças, no corpo do sensor, provoca uma variação de tensão nas resistências, inversamente proporcional entre si, que se traduz numa variação de resistência (grandeza primária a medir).

A partir da variação diferencial das resistências (relação de resistência, RR) são calculadas as grandezas físicas (deslocamento, tensão, etc.). A temperatura T do sensor é calculada a partir da variação da resistência total (R_T).

A temperatura e a extensão são dadas por,

$$T = (R_t - R_0) \times D_t \times 100 \quad (1)$$

$$\varepsilon = (T - T_0) \times \varepsilon_2 + (RR - RR_0) \times \varepsilon_1 \times 100 \quad (2)$$

sendo D_t (°C/Ω), ε_1 (1x10⁻⁶/0,01%) e ε_2 (1x10⁻⁶/Ω) as constantes do aparelho e R_0 (Ω), RR_0 (%) e T_0 (°C) os valores definidos como leituras iniciais.

A gama de medição dos extensômetros A10 (comprimento nominal de 254 mm, 10 polegadas) é de 2100 x10⁻⁶, com 2/3 a 3/4 da gama de funcionamento no trecho de compressão.

5. RESULTADOS DA UTILIZAÇÃO DA PRENSA EM OBRA

5.1 Calibração dos dispositivos Carlson em obra

A calibração de dispositivos do tipo Carlson em obra desenvolve-se de acordo com um procedimento em que a prensa de calibração constitui o padrão de transferência, permitindo a verificação da linearidade de funcionamento em toda a gama de extensões e a obtenção de uma estimativa da constante de calibração declarada pelo fabricante para cada dispositivo.

O procedimento adotado consiste em efetuar um conjunto de patamares da relação de resistências R_1 e R_2 , ΔRR , de 0,25% em tração e 0,50% em compressão, entre os valores mínimos e máximos indicados como limites do campo de medição, efetuando-se a leitura dos deslocamentos no comparador. As extensões medidas a partir da relação de resistências são obtidas a partir da Eq. (2). Para ter em consideração a contribuição da temperatura considera-se a soma de resistências R_T e corrige-se o valor da extensão medida pela incorporação do efeito da temperatura, obtido usando a equação Eq. (1).

As extensões impostas são calculadas considerando o comprimento base do extensómetro, L_0 , tendo os valores de 254 mm e 508 mm nos extensómetros de 10" e 20", respetivamente.

$$\Delta \varepsilon_{comp} = \frac{\Delta d}{L_0} \quad (3)$$

A comparação entre a constante do fabricante e a constante obtida na calibração (relativa à variação de extensão por cada percentagem de resistência) fez-se recorrendo aos valores das extensões impostas e considerando as constantes fornecidas pelo fabricante.

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta \varepsilon_{comp} - \Delta T \times \varepsilon_2}{\Delta RR \times 100} \quad (4)$$

Nas Figs. 7 e 8 apresentam-se, respetivamente, uma ficha de ensaio contendo os resultados obtidos na calibração do extensómetro Carlson de 10" com o n.º A8879, efetuado pelo LNEC em março de 2012 nas barragens do Baixo Sabor, e os valores residuais da aproximação linear a partir da qual se obtém uma estimativa do valor da constante de calibração.

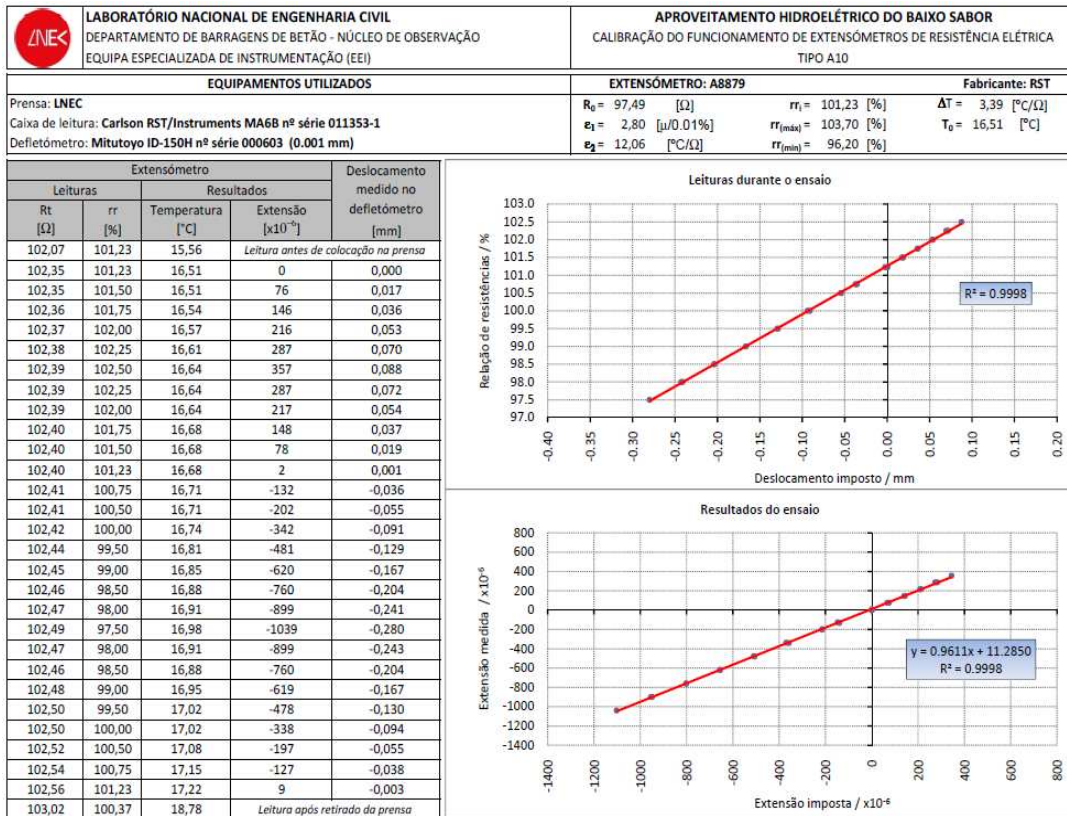


Figura 7. Ficha dos resultados obtidos na calibração do extensómetro Carlson de 10'' com o n.º A8879

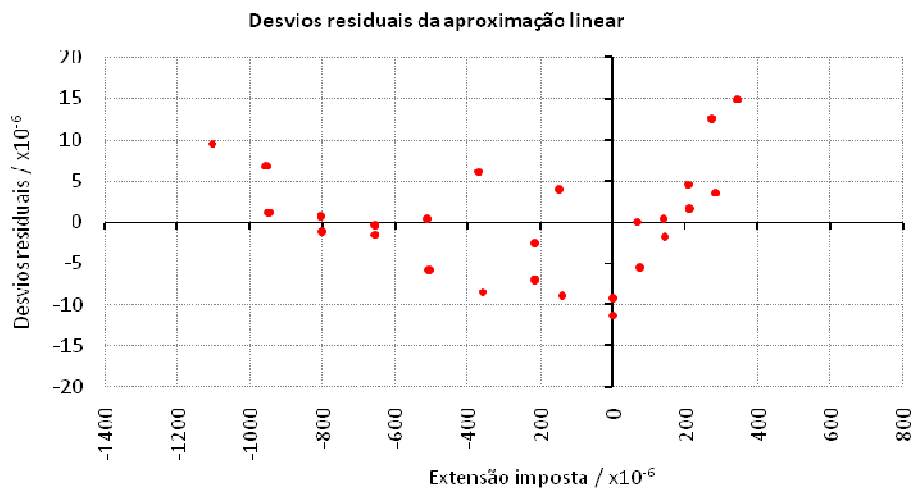


Figura 8. Resíduos da aproximação linear relativos à calibração do extensómetro Carlson de 10'' com o n.º A8879

5.2 Análise de resultados e validação do processo

A avaliação preliminar dos resultados obtidos tem como base uma amostra de constantes de calibração obtidas para 20 dispositivos do tipo Carlson verificados em obra. O valor médio da constante indicada pelo fabricante é de 2,82 $\mu\text{S}/0,01\%$ e a obtida por calibração é de 2,84 $\mu\text{S}/0,01\%$. A dispersão estimada com base no desvio-padrão experimental da amostra corresponde a 0,06 $\mu\text{S}/0,01\%$.

Comparando os resultados obtidos nas calibrações efetuadas em obra com as fornecidas pelo fabricante, verificam-se algumas divergências, embora os seus valores médios se encontrem no intervalo centrado no valor médio experimental e limitado nos extremos pelo desvio-padrão

experimental da amostra. Por outro lado, uma análise estatística das constantes de calibração determinadas experimentalmente evidencia uma distribuição aleatória dos desvios, permitindo considerar que os ensaios se realizam em condições de independência face a eventuais efeitos sistémicos produzidos pela prensa de calibração.

A análise dos valores residuais mostra a presença de um efeito não linear (possivelmente de 2ª ordem) cuja origem e influência na incerteza de medição se pretende estudar quando se dispuser de um número mais significativo de resultados experimentais obtidos nas campanhas de calibração de dispositivos do tipo Carlson que se encontram em curso.

A validação do processo, que se encontra em fase de estudo, requer uma avaliação complementar de algumas das características metrológicas que poderão contribuir para o desempenho do sistema, nomeadamente ensaios de repetibilidade e reprodutibilidade. Quando se concluir essa análise, poder-se-á então determinar a incerteza-padrão combinada da medição usando os dispositivos do tipo Carlson e concluir o processo de validação do método de calibração apresentado.

6. CONCLUSÕES

Apresentaram-se no presente trabalho os aspetos relevantes da conceção, projeto, fabrico, caracterização metrológica e utilização da nova prensa de calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson, correntemente usados nos sistemas de observação de barragens de betão.

A calibração da prensa num laboratório metrológico acreditado em condições de rastreabilidade aos padrões primários da grandeza comprimento permite transferir essa propriedade às medições obtidas pela utilização dos extensómetros do tipo Carlson calibrados que são utilizados na monitorização de barragens de betão, bem como desenvolver estudos que permitirão obter estimativas das incertezas de medição associadas.

Devem salientar-se os elevados níveis de qualidade que foram conseguidos no desenvolvimento da nova prensa, fruto da colaboração que foi estabelecida entre a EDP, a Tecnogial e o LNEC, entidades que se complementaram na realização de diferentes atividades, bem como os excelentes resultados já obtidos com a sua utilização na calibração de dispositivos do tipo Carlson nas barragens do Baixo Sabor.

7. AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos técnicos do Núcleo de Observação do Departamento de Barragens de Betão e do Núcleo de Qualidade Metrológica do Centro de Instrumentação Científica do LNEC todas as contribuições dadas no aperfeiçoamento e aferição da prensa. Agradece-se ainda ao técnico aposentado Fernando Rodrigues o apoio prestado na compilação de elementos sobre a prensa construída no LNEC na década de sessenta do século passado.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Rabinovich, S. G. (2000). Measurement Errors and Uncertainties. Theory and Practice. 2nd Ed. AIP Press. New York (U.S.A.).
- [2] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008.