

REFERÊNCIAS

Área Temática: Metrologia

Título: A actividade técnico-científica desenvolvida no LNEC no âmbito da Metrologia de Forças

Nome do autor: António Manuel Baptista

Entidade: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Nome(s) do(s) outro(s) autor(es):

Entidade(s):

Nome(s) do(s) orador(es):

RESUMO

O presente trabalho descreve a experiência recente do LNEC nos domínios da investigação sobre fabrico e calibração de instrumentos de medição de força, da normalização relativa a operações metrológicas, da elaboração de documentação técnica sobre incertezas associadas aos laboratórios e resultados das operações metrológicas, e da correspondente divulgação de conhecimentos.

INTRODUÇÃO

Desde o início da sua actividade, há mais de 50 anos, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) tem dedicado a sua atenção às exigências metrológicas do equipamento utilizado em ensaios laboratoriais ou de campo.

Deste modo, cedo se equipou com um conjunto de padrões de força certificados por entidades estrangeiras, com a finalidade de verificar periodicamente os sistemas de medição da força das máquinas de ensaios mecânicos de tracção, compressão ou flexão, utilizadas nos laboratórios de ensaios de materiais.

Perante a inexistência de outra entidade nacional habilitada para efectuar a verificação de máquinas de ensaio, e na sequência das solicitações que lhe começaram a ser regularmente dirigidas, veio o LNEC a desenvolver, no âmbito das atribuições que lhe eram conferidas pela sua lei orgânica, uma actividade regular de verificação das máquinas de ensaio existentes no país, nas indústrias da construção mecânica, metalomecânica, e da construção civil em particular.

Esta actividade veio a ser objecto de uma consagração formal, através do estabelecimento de um Protocolo de Cooperação com o Instituto Português da Qualidade (IPQ), visando uma complementaridade dos esforços desenvolvidos por estas duas instituições no domínio da metrologia de forças.



Figura 1 – Verificação do sistema de medição de forças de máquinas de ensaio pelo LMF/LNEC

ESTUDOS SOBRE O FABRICO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇA

Uma fracção significativa dos utilizadores dos serviços de verificação de máquinas de ensaios pelo LNEC tem sido constituída por empresas de construção civil, equipadas com prensas para ensaios de provetes de betão ou de argamassas.

Um número importante destas máquinas possuía câmaras de ensaio com dimensões reduzidas, impedindo a utilização dos transdutores de força então existentes no mercado, para as gamas de força cobertas por estas máquinas.

Numa tentativa de resolução deste problema, foram desenvolvidos estudos sobre o fabrico de instrumentos de medição de força com características que permitissem efectuar a verificação deste tipo de máquinas de ensaio.

Deste modo, foi projectado e construído um conjunto de seis transdutores de força, com as características indicadas no quadro 1.

Quadro 1: Transdutores construídos no LNEC

Alcance máx (kN)	Sensibilidade (mV/V)	Coef. de Segurança	Altura total (mm)
5000	2,57	2,0	220
3000	2,41	2,2	210
2000	2,51	2,1	190
1200	2,28	2,3	170
800	2,57	2,0	130
600	2,38	2,2	125

Alguns dos problemas específicos abordados durante este estudo foram:

- a limitação das tensões no corpo dos transdutores de força e nas suas superfícies de contacto com os pratos das máquinas de ensaio;
- a limitação da esbelteza dos transdutores, de modo a diminuir a sua sensibilidade aos efeitos da excentricidade das forças aplicadas;
- assegurar a uniformidade da distribuição das linhas de força no corpo do transdutor, de modo a baixar a sua sensibilidade aos efeitos de rotações em torno do seu eixo vertical;
- limitar as extensões na zona de colagem dos extensómetros, de modo a obter uma sensibilidade de medição (quadro 1) inferior ao valor máximo suportado pelos amplificadores disponíveis (2,65 mV/V);
- definir o número de extensómetros, o seu posicionamento e respectivo circuito de ligações eléctricas, de modo a compensar as variações de resistência de origem térmica, e reduzir a sensibilidade do transdutor aos efeitos da excentricidade das forças aplicadas e das rotações em torno do seu eixo vertical;
- minorar os efeitos da fluência nas superfícies de colagem dos extensómetros, através de uma escolha cuidadosa do tipo de colas a utilizar e do respectivo tratamento térmico, após a sua aplicação no corpo do transdutor.

Após a sua construção, os transdutores foram calibrados no Laboratório de Metrologia de Forças do LNEC (LMF/LNEC). A título de exemplo, apresentam-se no quadro 2 os erros relativos de repetibilidade, de interpolação e de reversibilidade

calculados a partir dos resultados da calibração do transdutor de 3000 kN¹. O erro relativo do zero obtido nesta calibração foi de 0,05%.

A calibração foi realizada de acordo com o projecto de norma portuguesa² prNP4016, baseado na Norma Internacional ISO376³ então em vigor.

Quadro 2: Calibração do transdutor de 3000 kN

Força de Calibração (kN)	Erro de repetibilidade b (%)	Erro de interpolação f_c (%)	Erro de reversibilidade u (%)
600	0,10	-0,02	0,00
900	0,07	-0,02	-0,04
1200	0,05	+0,01	-0,05
1500	0,06	+0,01	-0,08
1800	0,05	+0,00	-0,07
2100	0,03	-0,00	-0,06
2400	0,03	+0,00	-0,05
2700	0,03	-0,01	-0,02
3000	0,02	+0,00	-

Com base nos valores obtidos, o transdutor seria classificável na classe 0, segundo a Norma ISO376. Na prática, a classificação dos padrões desenvolvidos durante este estudo foi limitada à classe 1, pelo facto de a incerteza do LMF/LNEC⁴ ser superior ao valor máximo de 0,025% estipulado na ISO376.

No entanto esta limitação não afectou a possibilidade de utilização dos transdutores, uma vez que as máquinas de ensaio para cuja verificação foram desenvolvidos se enquadravam habitualmente na classe 1 ou pior.

ESTUDOS SOBRE NORMALIZAÇÃO RELATIVA A OPERAÇÕES DE METROLOGIA DE FORÇAS

Uma das actividades prevista no Protocolo de Cooperação entre o IPQ e o LNEC, em que este tem investido fortemente, é a da normalização de operações metrológicas no domínio da força.

¹ BAPTISTA, A.M., PIMENTA DE CASTRO, GUIMARÃES CORREIA, *Transdutores de força para verificação metrológica de máquinas de ensaios mecânicos*, 2º Encontro Nacional sobre Qualidade na Construção, Junho 1990,

² BAPTISTA, A.M., *Calibração de padrões de força utilizados na verificação estática de máquinas de ensaios mecânicos uniaxiais – Projecto de Norma Portuguesa*, Rel 169/89-NCE, LNEC, Julho 1989, 16p.

³ ISO376 (1987), *Matériaux métalliques. Étalonnage des instruments de mesure de force utilisés pour la vérification des machines d'essais uniaxiaux*.

⁴ BRITO, L., e BAPTISTA, A.M., *Recursos e capacidade técnica dos Laboratórios de Metrologia de Forças do IPQ e do LNEC no domínio da calibração de instrumentos de medição de forças*, 1º Congresso Nacional da Qualidade, Jun 2000, 5 p.

Perante a inexistência de uma Comissão Técnica de Normalização específica para este domínio, e na sequência de decisões tomadas no seio da Comissão Permanente para a Metrologia (CPM) do Conselho Nacional da Qualidade (CNQ), o autor desenvolveu uma série de estudos que conduziram à elaboração de dois projectos de normas portuguesas.

O primeiro destes projectos⁵ deu origem à Norma Portuguesa NP4015, ainda em vigor à data actual.

O segundo projecto⁶, publicado pelo IPQ com a designação prNP 4016, não chegou a ser Norma Portuguesa pelo facto de a Comissão Técnica de Normalização Europeia ECISS/TC1a ter sido, entretanto, mandatada para elaborar estudos neste domínio. Em face deste mandato, Portugal passou a estar impedido de publicar qualquer norma com campo de aplicação idêntico.

Neste contexto os estudos de normalização passaram a incidir sobre os trabalhos realizados a nível europeu pela ECISS/TC1a, cujo acompanhamento, em Portugal, compete à CT12/SC4, coordenada desde 1987 pelo autor.

Também a este nível foi dado um impulso importante à normalização portuguesa, através da participação nos trabalhos europeus e da elaboração das versões portuguesas das normas europeias EN10002-2⁷ e EN10002-3⁸ que, por força das Regras Comuns CEN/CENELEC, viriam a ser obrigatoriamente adoptadas por Portugal.

Para além da contribuição directa para a elaboração de normas portuguesas, o LNEC tem ainda desenvolvido outros estudos normativos, nomeadamente no âmbito da elaboração de procedimentos internos de calibração do LMF/LNEC, chefiado pelo autor.

Estes procedimentos cobrem a calibração de vários equipamentos com sistemas de medição de força, tais como dinamómetros, anéis dinamométricos ou macacos hidráulicos⁹.

⁵ BAPTISTA, A.M. *Máquinas de ensaios mecânicos. Verificação das máquinas para ensaios de compressão e de flexão.*

1ª Parte: Verificação do sistema de medição da força. Projecto de Norma Portuguesa, Rel 170/89-NCE, LNEC, 1989, 20 p.

⁶ BAPTISTA, A.M., *Metrologia de Forças. Calibração de padrões de força utilizados na verificação estática de máquinas de ensaios mecânicos uniaxiais. Projecto de Norma Portuguesa, Relatório 169/89-NCE, LNEC, 1989, 18 p.*

⁷ BAPTISTA, A.M., *Materiais metálicos. Ensaio de tracção. 2ª Parte: Verificação do sistema de medição da força da máquina de ensaio de tracção. Projecto de versão portuguesa da Norma EN10002-2(1991). Rel. 33/92-NCE, LNEC, 33 p.*

⁸ BAPTISTA A.M., *Materiais Metálicos. Ensaio de tracção. Parte 3: Calibração dos instrumentos de medição de força utilizados na verificação de máquinas de ensaios uniaxiais. Projecto de versão portuguesa da Norma Europeia EN10002-3, Nota Técnica 14/96 - NCE, LNEC, 1996, 32 p.*

⁹ BAPTISTA A.M., *Procedimento de Calibração LMF/PC01. Calibração do Sistema de Medição da Força de Macacos Hidráulicos, Nota Técnica 15/98 - NCE, LNEC, 1998, 23 p.*

ESTUDOS SOBRE O CÁLCULO DE INCERTEZAS NO DOMÍNIO DA METROLOGIA DE FORÇAS

NECESSIDADE DE ELABORAÇÃO DE GUIAS

Os princípios gerais do cálculo de incertezas são estipulados pelo *Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração*, editado pelo IPQ. Na sua introdução refere-se que o seu objectivo é o de fornecer uma orientação para a avaliação da incerteza de laboratórios de calibração e para a declaração de incertezas em certificados de calibração.

O Guia referido adopta uma formulação genérica, por forma a ser válido para todos os domínios de medição. Porém, a generalidade de tal formulação implica a necessidade de outros guias complementares, específicos para certos domínios, como o das forças por exemplo.

Estes guias devem identificar as grandezas de influência que condicionam os resultados das operações metrológicas, e indicar a técnica da sua quantificação por via experimental, bem como o método de cálculo da incerteza que lhes está associada.

Estes guias deveriam ainda, na opinião do autor, ser adoptados por todos os laboratórios de calibração num mesmo domínio. Só deste modo se poderá garantir que as incertezas declaradas nos certificados de calibração emitidos possam ser comparadas entre si pelos respectivos clientes. Além disso, estes guias poderiam (e deveriam) fornecer um critério único de avaliação dos laboratórios de calibração pelos respectivos auditores. Garantir-se-ia assim uma uniformidade de procedimentos nos respectivos processos de acreditação, essencial à credibilidade do Sistema Português da Qualidade, e dos seus Subsistemas da Metrologia e da Qualificação, em particular.

CONTRIBUTO DA RELACRE

Para suprir as lacunas de regulamentação técnica relativa ao cálculo de incertezas em domínios específicos foi criada, no seio da Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE), a Comissão Técnica CTR04 *Incerteza nas medições*. A actividade desta Comissão foi dividida pelas seguintes áreas:

- GT1 - Mecânica (Força, Pressão e Massa)
- GT2 - Electricidade
- GT3 - Química
- GT4 - Mecânica (Dimensional)
- GT5 - Temperatura/Humidade

A constituição dos GT's da CTR04 foi levada a cabo através de convites para a designação de vogais, endereçados aos laboratórios acreditados

que integram esta associação, bem como a diversas entidades públicas e privadas, dos sectores do ensino, da indústria, da energia, do comércio, da defesa, etc., com interesse em se fazerem representar nas reuniões de trabalho relativas a cada uma das áreas mencionadas.

A Coordenação da CTR04/GT1 foi atribuída ao autor do presente trabalho, por eleição entre os respectivos vogais.

A ACTIVIDADE DA CTR04/GT1 NO ÂMBITO DA METROLOGIA DE FORÇAS

A estratégia adoptada pela CTR04/GT1, no planeamento da actividade a realizar, consistiu na elaboração de uma série de documentos encadeados entre si, de acordo com a hierarquia do nível de incerteza a determinar:

- 1) Determinação da incerteza de laboratórios de calibração;
- 2) Determinação da incerteza associada aos resultados de operações de calibração de instrumentos de medição;
- 3) Determinação da incerteza associada aos resultados da verificação de equipamentos de ensaio.

Na prática, a sequência destes níveis não é absoluta, uma vez que depende da posição hierárquica do laboratório, instrumento ou equipamento no seio da cadeia em que se encontra integrado. Por exemplo, o cálculo da incerteza de um laboratório de calibração secundário (nível 1) poderá depender da incerteza associada aos padrões de referência utilizados nesse laboratório (nível 2).

Este processo de cálculo deverá ser encadeado até ao nível inicial da incerteza de medição declarada pelo laboratório primário a que toda a cadeia de medição se encontra rastreada.

Note-se, no entanto, que cada interveniente neste processo de cálculo só necessita de determinar as incertezas relativas ao seu nível de actuação, uma vez que a incerteza global relativa aos níveis superiores da cadeia em que se encontra integrado lhe é fornecida nos certificados que asseguram a sua rastreabilidade dentro desta cadeia.

O método de quantificação experimental das grandezas intervenientes no cálculo da incerteza global, em cada um dos níveis, deve, sempre que possível, basear-se nas normas em vigor no país, aplicáveis às operações metrológicas em questão, de modo a assegurar a desejada uniformidade de tratamento destes problemas, conforme foi atrás referido.

CONTRIBUIÇÃO DO LNEC PARA A ELABORAÇÃO E DIVULGAÇÃO DE GUIAS SOBRE INCERTEZAS

De acordo com a estratégia referida, a CTR04/GT1 elaborou um conjunto de três Documentos-Guia^{10,11,12} no domínio da metrologia de forças, que foram posteriormente publicados pela RELACRE.

Os projectos destes documentos foram elaborados pelo autor, com base em bibliografia especializada e na experiência adquirida durante a participação do LNEC num programa de comparação^{4,13} interlaboratorial (WECC F2) com 25 laboratórios de metrologia de forças europeus, organizado pelo laboratório central de metrologia alemão, Physikalish Technische Bundesanstalt (PTB).

Pretende-se ainda que o conjunto destes documentos forneça uma documentação de base no desenvolvimento de guias para a determinação da incerteza associada aos resultados de ensaios mecânicos envolvendo a medição de forças.

A implementação da determinação destas incertezas nos laboratórios acreditados, tornada premente pela perspectiva da adopção da Norma ISO17025¹⁴, deveria, na opinião do autor, ser precedida da elaboração de Guias para este fim, numa Comissão Técnica de características horizontais em que participem vogais envolvidos na execução de ensaios mecânicos.

Os três Documentos-Guia acima referidos têm vindo a ser divulgados pelo autor através de cursos de formação técnica, organizados pela RELACRE e pelo LNEC, no domínio da metrologia das forças.

BIBLIOGRAFIA

- BAPTISTA, A.M., *Determinação da melhor incerteza de medição de um laboratório de calibração de forças*, LNEC, ITM 1, 1996, 22 p.
- BAPTISTA, A.M., *Determinação da incerteza dos resultados da calibração de instrumentos de medição de forças*, LNEC, ITM 2, 1996, 19 p.
- BAPTISTA, A.M., *Determinação da incerteza dos resultados da verificação de máquinas de ensaio de tracção ou compressão*, LNEC, ITM3, 1998, 18 p.

¹⁰ Guia RELACRE 4, *Determinação da melhor incerteza de medição de um laboratório de calibração de forças*, 1996, 16 p.

¹¹ Guia RELACRE 5, *Determinação da incerteza dos resultados da calibração de instrumentos de medição de forças*, 1996, 12 p.

¹² Guia RELACRE 12, *Determinação da incerteza dos resultados da verificação de máquinas de ensaio de tracção ou compressão*, 1999, 11 p.

¹³ BAPTISTA, A.M., *Participação do LNEC no "II WECC Audit on Force Measurement"*, Rel 33/92-NCE, 60 p.

¹⁴ ISO17025 – *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*