

Rastreabilidade e método de avaliação no Laboratório Primário de Fotometria

David R. S. Nunes

E-mail: davidserranunes@msn.com

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica

Olivier Pellegrino

E-mail: opellegrino@ipq.pt

Laboratório Nacional de Metrologia, Instituto Português da Qualidade, IPQ,
Rua António Gião, 2, 2829-513 Caparica

Carlos Pires

E-mail: carlosp@ipq.pt

Laboratório Nacional de Metrologia, Instituto Português da Qualidade, IPQ,
Rua António Gião, 2, 2829-513 Caparica

Eduarda Filipe

E-mail: efilipe@ipq.pt

Laboratório Nacional de Metrologia, Instituto Português da Qualidade, IPQ,
Rua António Gião, 2, 2829-513 Caparica

Helena Navas

E-mail: hvgn@fct.unl.pt

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica

Resumo:

Desde dezembro de 2005, o Laboratório de Fotometria do Instituto Português da Qualidade (IPQ), o Laboratório Nacional de Metrologia de Portugal, tem os instrumentos de medição e as instalações instrumentais para a manutenção do padrão nacional da candela, a unidade da intensidade luminosa e o desenvolvimento dos padrões metrológicos nacionais de fotometria, como os demais laboratórios primários da respetivas unidades de base, do IPQ. No âmbito da norma NP EN ISO/IEC 17025, o Laboratório de Fotometria do IPQ efetua calibrações de lâmpadas em intensidade luminosa e de luxímetros, em iluminância. Esta breve comunicação apresenta os meios do Laboratório utilizados para garantir os seus objetivos dentro do quadro normativo citado. Assim, após uma rápida introdução aos meios instrumentais e a sua rastreabilidade ao SI, os métodos de validação dos resultados de medição são apresentados. Trata-se essencialmente de métodos estatísticos presentes em

procedimentos de validação interna e externa. Trata-se também, de participação em comparação entre laboratórios. O Laboratório de Fotometria do IPQ participou assim na comparação chave de intensidades luminosas da associação europeia de laboratórios nacionais de metrologia (EURAMET).

Palavras-chave: Rastreabilidade, sistema de qualidade, fotometria, NP EN ISO/IEC 17025.

Abstract:

Since December 2005, the Laboratory of Photometry of the Portuguese Institute for Quality (IPQ), the National Metrology Laboratory of Portugal, has measured instruments and instrumental facilities to maintain the national standards of candela, unit of luminous intensity and development of national measurement standards photometry, as other laboratories of the respective primary base units from the IPQ. Under the NP EN ISO / IEC 17025, the IPQ Laboratory of Photometry has performed calibrations of lamps in luminous intensity and luximeters in illuminance. This brief communication presents the means of the laboratory used to ensure their objectives within the framework mentioned. So, after a quick introduction to instrumental means and their traceability to the SI, the validation methods of measurement, improvements and results are presented. These are essentially statistical methods that are present in internal procedures and external validation. Also, it consists on participation in interlaboratory comparison. The Laboratory of Photometry of the IPQ participated in the key comparison of light intensities of the European Association of National Metrology Laboratory (EURAMET).

Keywords: Traceability, quality system, photometry, NP EN ISO / IEC 17025.

1. Introdução

No IPQ, o Laboratório de Fotometria (LFR) contém um banco fotométrico com 3,5 metros de comprimento efetivo, situado numa sala cujas paredes foram pintadas de preto, uma fonte de alimentação estável, lâmpadas padrão e uma cortina preta. Segundo a lei de Bouguer-Lambert, o quociente entre a intensidade luminosa, I_v , de uma fonte de radiação e o quadrado da distância à fonte, D^2 , define a iluminância, E_v , medida com luxímetros. A sensibilidade, s_v , definida como o quociente entre a fotocorrente, causada pela radiação luminosa incidente, e a iluminância, é medida com um fotómetro.

O LFR é regularmente submetido a auditorias internas seguindo a ISO 17025 [1]. O ponto principal destas auditorias é evidenciar a rastreabilidade metrológica das medições efetuadas

pelo laboratório. Este ponto é obtido através de calibrações regulares das lâmpadas padrão e do fotômetro padrão no CNAM/LNE, o Laboratório Nacional de Metrologia de França.

De particular importância para as medições no laboratório, são as grandezas elétricas, tais como a resistência elétrica e a fotocorrente. A medição das distâncias também é crucial uma vez que, como vimos, permite deduzir o valor da iluminância e controlar a calibração das intensidades luminosas. Por fim, e como em todos os laboratórios de metrologia, as condições ambientais são controladas e as suas medições são realizadas por instrumentos de medição calibrados. No IPQ, existem os laboratórios primários de eletricidade, comprimento e temperatura, pelo que todos os instrumentos de medição são calibrados no laboratório do respetivo domínio metrológico. A figura 1 apresenta os componentes experimentais principais do laboratório de fotometria: a fonte de alimentação, o banco fotométrico e as lâmpadas padrão secundário nos suportes

Figura 1 – a) fonte de alimentação; b) banco fotométrico com lâmpadas padrão secundário



De acordo com a ISO EN 5725-2 [2], para cada conjunto de medições, é possível estimar a variância da reprodutibilidade a partir de valores médios e da variância da repetibilidade. Uma avaliação do tipo A da incerteza de medição por método estatístico é então dada pelo desvio-padrão da reprodutibilidade assim estimado.

No LFR, mesmo após dezenas de horas de uso, observa-se uma incerteza-padrão relativa de 0,3 % para as intensidades luminosas das lâmpadas padrão e uma variação relativa da respetiva fotocorrente igual a 0,4 %, medida pelo fotômetro padrão. Finalmente, observa-se uma variação de 0,5 % para os valores das intensidades luminosas das lâmpadas secundárias do laboratório em calibrações nos últimos anos. Por serem menores que as incertezas expandidas das intensidades luminosas das lâmpadas primárias do laboratório, estas variações relativas demonstram uma validação interna dos resultados do laboratório. Associado à rastreabilidade metrológica das medições efetuadas no laboratório, podemos concluir que a

disseminação da unidade e da unidade derivada pode ser feita a nível nacional, com garantia de qualidade metrológica.

2. Equipamentos

O início do ano de 2006 corresponde à entrada em funcionamento do Laboratório de Fotometria. O banco fotométrico tem 4 metros de comprimento e é constituído por dois suportes, montados sobre carris, que permitem o seu movimento ao longo do banco e a medição da distância percorrida. Um conjunto de 10 lâmpadas padrão primário, das quais 7 são lâmpadas Wi 41/G da Osram e 3 são lâmpadas LIS da Polaron, apresentadas na figura 2, assim como um fotómetro padrão primário P15 F0T da LMT, constituem a estrutura de base do Laboratório de Fotometria. Três conjuntos de lâmpadas padrão secundário permitem calibrar outras lâmpadas em intensidade luminosa e calibrar luxímetros em iluminância [3].

Figura 2. Lâmpadas padrão primário: Osram Wi 41/G e Polaron LIS.



O laboratório possui várias lâmpadas secundárias, como as apresentadas na figura 3. Trata-se de lâmpadas BRL 6332, EHJ 6334 e FLJ 6315 da Oriel com potências de alimentação na ordem de 50 W, 250 W e 1000 W, respetivamente.

Figura 3. Lâmpadas padrão secundário, com potência de alimentação, da esquerda para a direita: 50 W, 25 W e 1000 W.



A intensidade luminosa das lâmpadas padrão do laboratório é determinada de duas maneiras: ou por calibração no Laboratório Primário de Fotometria em França ou através da participação do laboratório em comparações EURAMET em intensidade luminosa.

O fotómetro padrão do laboratório LMT P 15 FOT é calibrado regularmente no Laboratório Primário de Fotometria de França. Este equipamento juntamente com as lâmpadas padrão, permite-nos manter e disseminar a unidade [3], dentro e fora do IPQ. Com efeito, os dois equipamentos que se encontram à direita da figura 4 são usados na calibração de instrumentos de medição de clientes. Um luxímetro/colorímetro do Laboratório permite medições de temperatura de cor de radiações, o que é utilizado para realizar a calibração de lâmpadas para a distribuição espectral do iluminante A da *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), i.e. $T_C = 2856$ K, no laboratório. Trata-se de um fotómetro/colorímetro CL200 da Minolta Konica. Todas as medições efetuadas pelo laboratório são realizadas por meio de programas da linguagem gráfica *LabVIEW* da *National Instruments*, o que permite estimar rigorosamente desvios padrão da repetibilidade e reprodutibilidade como componentes da incerteza [3].

Os programas de aquisição e tratamento de dados, escritos em linguagem *LabVIEW*, permitem medir grandezas como a tensão elétrica nos terminais da resistência para deduzir a corrente elétrica de alimentação em energia elétrica, a tensão elétrica nos terminais das lâmpadas, a fotocorrente (no caso de um fotodetector) ou o sinal proveniente de um luxímetro, a temperatura e humidade ambientes, como foi descrito num trabalho anterior [3]. O programa informática referido é portanto uma ferramenta útil para as tarefas correntes do laboratório de fotometria que são a calibração de lâmpada em intensidade luminosa e calibração de luxímetros e fotómetros.

3. Metodologia de medição

O fator de sensibilidade dum fotodetector, s_f , é, por definição, o quociente entre a iluminância a que é exposto o fotodetector, E_v , pela fotocorrente, j_f , produzida pelo fotodetector. Em consequência, duas lâmpadas, de intensidade luminosa respetiva $I_{v,p}$ e $I_{v,s}$, sucessivamente à mesma posição em frente do fotodetector produzem as fotocorrentes j_p e j_s . Segundo a lei de Bouguer-Lambert, como a distância entre as lâmpadas e o fotodetector é a mesma, temos a relação:

$$I_{v,s} = I_{v,p} \times j_s / j_p \quad (1)$$

Repetindo esta operação várias vezes, podem ser deduzidos valores médios e desvios-padrão de repetibilidade e de reprodutibilidade, como foi escrito num trabalho anterior [3].

Por este método, efetua-se a calibração da lâmpada S em intensidade luminosa e a equação (1) constitui o modelo de medição. A relação entre desvios-padrão de reprodutibilidade, s_R , de repetibilidade, s_r , e desvio-padrão do valor médio, s_m :

$$(s_R)^2 = (s_m)^2 + (s_r)^2 (n-1)/n \quad (2)$$

após n replicas, permite dar-nos uma avaliação das incertezas das grandezas de entrada pelo método de tipo A [2], [4]. Utilizando as expressões analíticas resumidas por G. Sauter [5], para as grandezas de entrada (tempo de uso das lâmpadas, resistência elétrica para medição da corrente elétrica de alimentação das lâmpadas, fatores geométricos) para o cálculo da mensurada e para o cálculo dos coeficientes de sensibilidade a multiplicar às incertezas das correspondentes incertezas-padrão das grandezas de entrada [4], para obter uma estimativa da incerteza-padrão da mensurada, por aplicação da lei de propagação das incertezas. Este procedimento é realizado pelo menos duas vezes, usando duas lâmpadas primárias diferentes na calibração de lâmpadas secundárias.

Sendo d a distância entre o plano do luxímetro e o plano da lâmpada, I_v a intensidade luminosa da lâmpada e E_v a iluminância, obtemos:

$$E_{v,ref} = I_v/d^2 \quad (3)$$

Esta é o valor de referência da iluminância e o erro do luxímetro em calibração é dado por:

$$e = E_v - E_{v,ref}.$$

A incerteza é então estimada por:

$$u(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 u(x_i)^2} = \sqrt{\sum_i u_i(y)^2} \quad (4)$$

onde c é o coeficiente de sensibilidade, aplicado ao modelo de medição (3).

4. Desenvolvimento

No Laboratório de Fotometria do IPQ efetuou-se um projeto de implementação de um sistema eletromecânico aplicado à calibração de lâmpadas, luxímetros e luminancímetros. Este sistema eletromecânico tem a função de automatizar o movimento de abertura e fecho de um orifício circular com um diâmetro de 5 cm que atualmente é efetuado por um operador. Este orifício está situado no eixo fotométrico de medição de uma lâmpada emissora e um detentor no banco fotométrico e tem como finalidade, quando o orifício está fechado, de medir a radiação luminosa parasita que o detentor recebe de origem diferente da lâmpada que se irá subtrair às radiações da lâmpada quando o orifício está aberto.

Com base na simplicidade de funcionamento, construção e custo de produção, a projeção do sistema eletromecânico dividiu-se essencialmente em três partes: a componente mecânica, a parte eletrónica e a programação informática. A parte mecânica é constituída por um servomotor, que é um motor de corrente contínua com um circuito de controlo de posição acoplado. Deste modo, não é dada uma volta completa ao seu eixo, mas opera-se entre 0° e 180°. O servomotor utilizado no sistema eletromecânico é um HS-322HD fabricado pela HITEC RCD KOREA INC cujas especificações técnicas se encontram no quadro 2 [6].

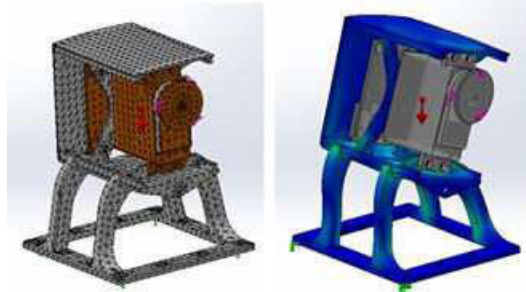
Quadro 2 – . Especificações técnicas do Hitec HS-322HD

Rotação	Velocidade máxima	Torque	Dimensões	Massa
180°	316°/s	3,0 kg cm	40 mm x 20 mm x 37 mm	43 g

A plataforma escolhida para controlar o servomotor foi uma placa PhidgetServo 1-Motor produzida pela Phidgets. Consiste num controlador capaz de controlar um servomotor diretamente alimentado por uma porta USB, com resolução de 0,1° [7]. A Phidget foi escolhida por ser programável em *LabVIEW*. Para o fabrico da estrutura que irá suportar o sistema eletromecânico, optou-se pela modelagem utilizando o software de CAD SolidWorks. Após a modelagem da estrutura, efetuaram-se análises à mesma de modo a calcular a resposta desta às solicitações que irá sofrer no decorrer da sua utilização no laboratório de Fotometria. Pretendia-se determinar os valores dos deslocamentos e das tensões suportadas pela referida estrutura, por meio do *software* SolidWorks Simulation, nas quais foram consideradas forças e momentos aplicados em locais específicos de modo a simular situações reais de funcionamento. Trata-se de uma ferramenta de simulação virtual totalmente integrada ao

SolidWorks CAD que utiliza o método dos elementos finitos para efetuar a análise estrutural. O resultado está apresentado na Figura 4.

Figura 4. Esquerda: Malha produzida pelo MEF. Direita: Análise estrutural (ampliada).



Após efetuada a análise à estrutura e aprovado o projeto, efetuou-se a produção da estrutura com recurso à impressão 3D, por permitir a construção de modelos tridimensionais com um detalhe muito rigoroso utilizando um processo de adição, camada por camada, de ABSPlus. A impressão foi efetuada por uma Dimension Elite 3D fabricada pela Stratasys.

O desenvolvimento das capacidades do Laboratório apresentado neste trabalho pode ser validado pela obtenção de resultados de compatibilidade metrológica [8] em comparação com os publicados antes da atualização [3]. Com efeito, os resultados da calibração de lâmpada em intensidade luminosa ou de luxímetro em iluminância permite deduzir o z-score om os resultados obtidos antes da atualização do banco fotométrico: o valor absoluto do z-score menor ou igual a 1 garante a validação.

Referências Bibliográficas

- [1] ISO/IEC 17025. (2005) “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”
- [2] ISO 5725-2. (1994) – “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results- Part2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [3] Pellegrino O., Pires C., Filipe E. (2011) Traceability and method validation in a photometry Laboratory *Int. J. Metrology and Quality Engineering*, **2**: 1-4.
- [4] “Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)” (1993, amended 1995) (published by ISO in the name of BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP and OIML).
- [5] Sauter G. (2006) “CIE Uncertainty Symposium – Tutorial”.
- [6] Jun Hee, Lee. (2002). Announced Specification Of Hs-322hd Standart Deluxe Servo. Acedido em 2 de Maio de 2013, no *Web site* da: <http://www.inmotion.pt/store/hitec-hs-322hd-servo-motor>
- [7] Phidgets. *Products for USB Sensing and Controle*. Acedido em 2 de Maio de 2013, em: <http://www.phidgets.com>
- [8] Vocabulário Internacional de Metrologia, 1ª edição luso-brasileira (2012), IPQ.

Curriculum Vitae:

David Nunes, a frequentar o Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Está atualmente como estagiário, no Laboratório de Fotometria do Instituto Português da Qualidade (IPQ), a desenvolver o Projeto que sustenta a tese de mestrado.

Olivier Pellegrino é doutorado em Física pela Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), em 1995. É responsável pelo Laboratório de Fotometria, Radiometria e Radiofrequências no Instituto Português da Qualidade.

Carlos Pires é Licenciado em Engenharia Física, pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa em 2005. Desde 2006 que trabalha como Técnico Superior de laboratório no Instituto português da Qualidade no Laboratório de Fotometria. Os seus principais interesses de investigação são a metrologia científica na área de fotometria e gestão do sistema da qualidade do laboratório, de acordo com a NP EN ISO/IEC 17025:2005.

Maria Eduarda de Carvalho Pamplona Côrte-Real Filipe é Diretora do Departamento de Metrologia do Instituto Português da Qualidade (IPQ) na Caparica, que gere o Laboratório Nacional de Metrologia e a Unidade de Metrologia Legal. É licenciada Engenharia Eletrotécnica - Ramo Telecomunicações e Eletrónica do Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa e Mestre em Instrumentação, Manutenção Industrial e Qualidade da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Helena V. G. Navas é doutorada em Engenharia Mecânica pela Universidade Nova de Lisboa. É Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL) e investigadora do UNIDEMI – Unidade de Investigação em Engenharia Mecânica e Industrial. Os interesses de investigação abrangem as áreas de metrologia e toleranciamento, inovação sistemática e projeto mecânico.

Authors Profiles:

David Nunes is a student of the MSc in Mechanical Engineering in the Faculty of Science and Technology, New University of Lisbon. Currently as at a stage in the Laboratory of Photometry of the Portuguese Institute for Quality (IPQ), to develop the project that supports the master's thesis.

Olivier Pellegrino has received a PhD in Physics from the Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) in 1995. He is Head of the Photometry, Radiometry and Radiofrequency Laboratory at the Portuguese Institute for Quality.

Carlos Pires has received a Degree from the Faculty of Science of Lisbon University– Portugal, Lisbon in 2005. Is now an Superior Technician of Laboratory in Portuguese Institute for Quality, in Photometry Laboratory. His research interests are in the areas of scientific metrology in the area of Photometry and quality management according to ISO/IEC 17025:2005.

Maria Eduarda de Carvalho Pamplona Côrte-Real Filipe is Director of Metrology Department of IPQ (Instituto Português da Qualidade) Caparica, that manages the National Metrology Laboratory and the Legal Metrology Unit. Electrotechnical Engineer – Telecommunication and Electronic branch by Instituto Superior Técnico (IST), Lisbon and Master in Instrumentation, Industrial Maintenance and Quality by Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Helena V. G. Navas has received a PhD in Mechanical Engineering from Universidade Nova de Lisboa. Is an Assistant Professor at the Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Science and Technology (FCT) of the Universidade Nova de Lisboa (UNL) and a researcher at the UNIDEMI - Research Unit in Mechanical and Industrial Engineering. The research interests cover the areas of metrology and tolerancing, systematic innovation and mechanical design.