



Realização da unidade lúmen no Inmetro Realization of the unit lumen in the Inmetro

A S Sardinha

Laboratório de Radiometria e Fotometria, Inmetro, Duque de Caxias, 25250-020, Brasil

assardinha@inmetro.gov.br

Resumo: Um conjunto de lâmpadas-padrão de fluxo luminoso é necessário para a realização dos serviços do laboratório nos sistemas de goniofotometria e da esfera integradora. Para determinar o fluxo luminoso de cada uma dessas lâmpadas foram utilizados, um detector calibrado em iluminância, o sistema de goniofotometria e uma barra de alumínio calibrada em comprimento, para a determinação da distância lâmpada-detector.

Abstract. A set of standard luminous flux lamps is required to perform laboratory services on the goniophotometry and integrating sphere systems. To determine the luminous flux of each lamp, a detector, calibrated in illuminance, the goniophotometry system and an aluminum bar, calibrated in length, were used to determine the lamp-detector distance.

1. Introdução

O lumen é a unidade do SI para a grandeza fluxo luminoso. O fluxo luminoso [1] é a grandeza derivada do fluxo radiante, $\Phi_{e,\lambda}$, ponderando-se a radiação de acordo com o observador padrão CIE, conforme a equação (1):

$$\Phi_v = K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

onde Φ_v é o fluxo luminoso, em lumens, K_m é a constante de eficácia luminosa, cujo valor é 683 lm/w, $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$ é o fluxo radiante, em watts por nanômetros, $V(\lambda)$ é a eficiência luminosa espectral do observador padrão CIE 2° na visão fotópica e λ é o comprimento de onda, em nanômetros.

De maneira simplificada, o fluxo luminoso representa a quantidade de luz emitida por uma fonte por unidade de tempo (figura 1).

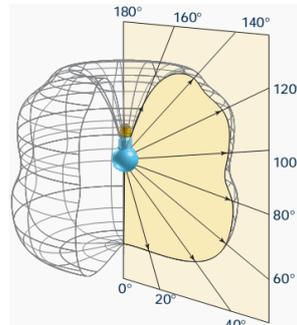


Figura 1. Distribuição de luz emitida por uma fonte.

A informação do fluxo luminoso está presente em praticamente todas as lâmpadas e luminárias de uso geral, portanto a realização e a disseminação da unidade lúmen é importante para dar rastreabilidade a essa informação e contribuir para a qualidade desses produtos e proteção ao consumidor.

O Laboratório de Radiometria e Fotometria (Laraf) possui atualmente um conjunto de cinco lâmpadas-padrão de referência em fluxo luminoso para a disseminação da unidade lúmen, inclusive para os padrões de trabalho utilizados na realização de seus serviços nos sistemas de goniofotometria e da esfera integradora. Antes da realização da unidade lúmen no Laraf, era necessário enviar essas lâmpadas a outro Instituto Nacional de Metrologia (INM) para serem calibradas. Na figura 2 temos alguns exemplos de lâmpadas incandescentes padrão utilizadas no Laraf.



Figura 2. Exemplos de lâmpadas incandescentes padrão de fluxo luminoso.

Neste trabalho é apresentada a metodologia utilizada para a determinação do fluxo luminoso dessas lâmpadas, pela integração da iluminância ao longo de uma superfície esférica com centro na lâmpada, descrito na CIE 84-1989 [2] e sua validação com os resultados da comparação interlaboratorial SIM.PR-K4 [3].

2. Desenvolvimento

O princípio de medição utilizado consistiu em determinar o fluxo luminoso, Φ_v , em lumens, através da distribuição de iluminância, E_v , em lux, sobre uma superfície de uma esfera imaginária A , em m^2 , ao redor da fonte de luz usando a equação (2):

$$\Phi_v = \int_A E_v dA \quad (2)$$

Para a calibração das lâmpadas-padrão de referência em fluxo luminoso foi utilizado o sistema do goniofotômetro do laboratório. Um goniofotômetro consiste basicamente de um dispositivo mecânico de suporte e posicionamento da fonte de luz e um detector fotométrico, juntamente com um software para adquirir e processar os dados. É necessário que a fonte de luz opere em uma posição e em uma corrente elétrica especificadas.

As lâmpadas foram medidas com o detector LMT modelo SP30SCT que capta a luz diretamente emitida pela fonte, sem reflexão em espelho (figura 3) a uma distância de 1,673 m (distância entre o plano de referência do detector e o centro fotométrico do goniofotômetro). Essa distância foi determinada através de uma barra de alumínio calibrada e sua incerteza foi considerada como uma componente para a incerteza do fluxo luminoso.

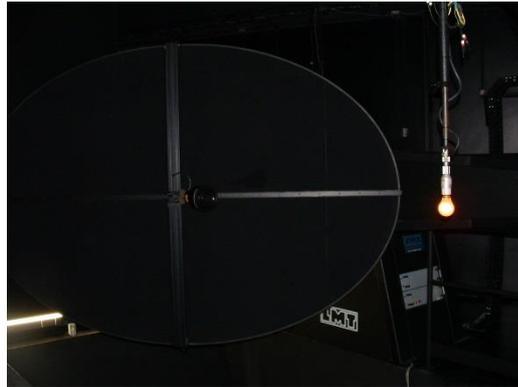


Figura 3. Goniofotômetro do Laraf com o espelho coberto.

A distribuição de iluminância foi medida continuamente ao longo de uma superfície esférica com centro na lâmpada (figura 4), onde C e γ representam, respectivamente, a rotação da lâmpada sobre o seu eixo e o deslocamento do detector em um plano vertical. A integração apresentada na equação (2) foi feita com o programa *Limes Control*.

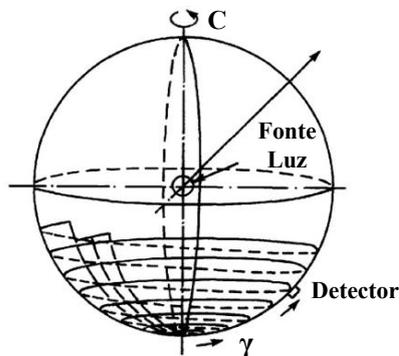


Figura 4. Princípio de medição ao longo de uma superfície esférica.

O conjunto leitora-detector (figura 5) foi previamente calibrado em iluminância utilizando-se uma lâmpada padrão de referência de intensidade luminosa com rastreabilidade ao *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB).



Figura 5. Conjunto leitora-detector.

Na tabela 1 temos os resultados da calibração do conjunto leitora-detector em iluminância com suas respectivas incertezas, determinadas de acordo com o GUM [4].

Tabela 1. Resultados da calibração em iluminância do conjunto leitora-detector.

Faixa	Leitura (lx)	$E_v \text{ calc}$ (lx)	U (%)	k	ν_{eff}
10^0	6,000	6,242	0,64	2,00	∞
10^0	7,000	7,283	0,64	2,00	∞
10^0	8,000	8,324	0,64	2,00	∞
10^1	10,00	10,50	0,67	2,01	247
10^1	40,00	42,02	0,66	2,00	∞
10^1	80,00	84,01	0,66	2,00	∞
10^2	100,0	104,9	0,69	2,01	227
10^2	400,0	420,8	0,72	2,00	∞
10^2	800,0	842,5	0,80	2,00	∞
10^3	1000	1055	0,84	2,00	∞
10^3	1300	1372	0,89	2,00	∞
10^3	1600	1692	0,93	2,00	∞

Os resultados da calibração em iluminância foram interpolados linearmente e utilizados para corrigir as leituras de fluxo luminoso obtidas pelo programa.

Na tabela 2 temos os resultados da calibração das lâmpadas em fluxo luminoso, onde a é o coeficiente angular e b o coeficiente linear da reta, aplicados para cada lâmpada-padrão de referência.

Tabela 2. Resultados das lâmpadas-padrão.

Lâmpada	PR 013	PR 016	PR 018	PR 068	PR 106
Potência (W)	200	100	200	60	60
Faixas	$10^0, 10^1$ e 10^2	10^0 e 10^1	$10^0, 10^1$ e 10^2	10^0 e 10^1	10^0 e 10^1
a	1,053	1,051	1,053	1,051	1,051
b	-0,166	-0,054	-0,166	-0,054	-0,054
Fluxo (lm)	2895	1219	2834	817	847
Incerteza (%)	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8

Os resultados desta calibração em fluxo luminoso das lâmpadas-padrão de referência foram comparados com a última calibração realizada no *Conservatoire National des Arts et Métiers* (Cnam) em dez/2012. Na tabela 3 temos os resultados desta comparação utilizando o estimador Erro normalizado (En).

Tabela 3. Comparação Cnam x Inmetro

	Cnam dez/2012		Inmetro abr/2022		<i>En</i>
	Fluxo certificado (lm)	<i>U</i> (%)	Fluxo medido (lm)	<i>U</i> (%)	
PR 013	2934	1	2895	0,9	0,99
PR 016	1226	1	1219	0,8	0,45
PR 018	2850	1	2834	0,9	0,42
PR 068	816	1	817	0,8	0,10
PR 106	xxx	xxx	847	0,8	xxx

Observamos na tabela 3 que obtivemos um resultado satisfatório para o estimador $En (\leq 1)$. A lâmpada PR 106 é uma lâmpada nova, portanto não tinha calibração anterior.

Para a validação da metodologia apresentada neste trabalho foram medidas ainda três lâmpadas padrão modelo Wi40G de fluxo luminoso que participaram da intercomparação SIM.PR-K4 de out/2015, com os resultados apresentados na tabela 4.

A média das duas medições de fluxo luminoso na intercomparação (Round 1 e Round 2) de cada lâmpada foi corrigida (-0,48 %) pelo grau de equivalência Di definido para o Inmetro, e comparado com o fluxo obtido utilizando-se a medição com o detector do goniofotômetro (Fluxo medido). Obtivemos resultados satisfatórios para o estimador $En (\leq 1)$.

Tabela 4. Resultados da comparação SIM.PR-K4 x detector do goniofotômetro.

SIM.PR-K4 out/2015					Inmetro mai/2022			
The results of Inmetro ^a								
Lamp	Luminous flux (lm)		Uncertainty	Fluxo corr. (lm) ^b	<i>U</i> (%)	Fluxo medido (lm)	<i>U</i> (%)	<i>En</i>
	Round 1	Round 2	<i>U</i> ($k = 2$) (%)					
Osram 544	2236,9	2239,8	2	2227,6	2	2231	0,9	0,07
Osram 546	2288,2	2283,2	2	2274,7	2	2270	0,9	0,09
Osram 627	2648,1	2645,5	2	2634,1	2	2637	0,9	0,05
Unilateral Degrees of Equivalence ^c								
NMI	Di (%)	Ui (%)						
CENAM	-0,41	1,09						
INMETRO	0,48	2,08						
INTI	-0,45	1,01						

^a Table 10 do documento [3]

^b Fluxo corrigido do SIM.PR-K4 para CCPR-K4

^c Table 3 do documento [3]

Com base nesses resultados fica validada a metodologia da realização da grandeza fluxo luminoso utilizando-se o detector SP30SCT com o goniofotômetro.

Na figura 6 temos o diagrama de rastreabilidade da realização da unidade lúmen com suas respectivas incertezas e sua disseminação dentro do Laraf.

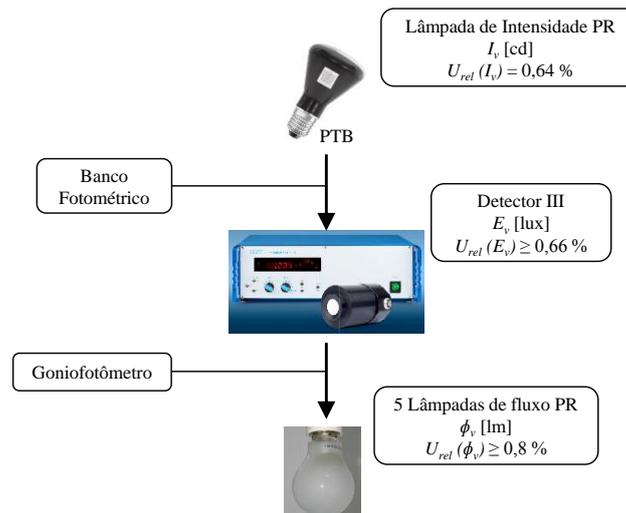


Figura 6. Diagrama de rastreabilidade.

3. Conclusões

A unidade lúmen foi realizada no Inmetro com rastreabilidade aos padrões nacionais de intensidade luminosa, calibrados no PTB. Esses padrões foram utilizados na calibração do conjunto leitora-detector utilizado na calibração dos padrões de fluxo luminoso. Com isso, não é mais necessário calibrar os padrões de fluxo luminoso em outro INM. A calibração das cinco lâmpadas padrão de referência em fluxo luminoso foi feita no goniofotômetro, obtendo-se incertezas da mesma ordem que as incertezas declaradas nos certificados anteriores do Cnam. A metodologia utilizada foi validada utilizando-se os resultados da intercomparação SIM.PR-K4, com participação de três países membros do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM).

Referências

- [1] CIE S017:2020 ILV:International Lighting Vocabulary, 2nd edition – *Comission Internationale de l'Eclairage* - 2020
- [2] CIE 084-1989 The Measurement of Luminous Flux – *Comission Internationale de l'Eclairage* - 1989
- [3] SIM.PR-K4 Report of SIM Key Comparison SIM.PR-K4 Luminous Flux - Final Report – Sistema Interamericano de Metrologia - 2015, disponível no apêndice B do BIPM
- [4] Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Inmetro 2012