

Calibração de iluminância usando o iluminante D55: validação de método

Illuminance calibration using the illuminant D55: Method validation

Mario Ferreira^{1,2}, Éric Macêdo¹, Handerson Leite¹, Valéria Navarro¹, Marcus Navarro¹, Lara Pereira¹, Evandro Pires¹, Igor Garcia^{1,3}

¹Instituto Federal da Bahia – IFBA, campus Salvador; ²Universidade Estadual da Bahia – UNEB, ³Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública.

E-mail: lem.labprosaud@ifba.edu.br

Resumo: A calibração da grandeza iluminância é realizada, normalmente, usando o iluminante A como fonte de luz padrão. Ocorre que em algumas situações o uso de outro iluminante é preferível. Nesses casos, o National Institute of Standards and Technology (NIST) recomenda o uso de um fator que corrija a diferença espectral do iluminante usado, garantindo-se, assim, a confiabilidade metrológica. Esse trabalho descreve como esse fator de correção foi determinando para o iluminante D55 e como o uso deste iluminante no processo de calibração da grandeza iluminância foi validado.

Palavras-chave: Fotometria; calibração de iluminância; iluminante D55.

Abstract: The illuminance calibration is performed, typically, using illuminant A and standard light source. It happens that in some situations the use of other illuminant is preferable. In such cases, the National Institute of Standards and Technology (NIST) recommends the use of a factor that reconciles differences in the illuminant spectrum used, ensuring thus the metrological reliability. This paper describes how this correction factor was determining for the illuminant D55 and how the use of this illuminant in the calibration process of the illuminance has been validated.

Keywords: Photometry, illuminance calibration, illuminant D55.

1. INTRODUÇÃO

A fotometria tem como objetivo principal medir grandezas relacionadas à radiação visível. A iluminância, fluxo luminoso por unidade de área, e a luminância, fluxo luminoso por unidade de área em uma dada direção, são duas dessas grandezas e o controle das mesmas vem adquirindo importância crescente, na mesma medida em que cresce a percepção do papel importante que a iluminação ambiente desempenha na execução de atividades profissionais que exigem mais precisão.

A ABNT (2014) procura assegurar faixas dessas grandezas que ofereçam conforto e desempenho visual que capacitem os trabalhadores a realizar suas tarefas rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos. Isso é essencial em vários ambientes profissionais, sobretudo em salas de diagnóstico médico por imagem, ambiente profissional onde a luminância dos dispositivos de visualização das imagens, juntamente com a iluminância da sala, devem se manter em faixas que garantam as condições necessárias para o médico ser capaz de visualizar anomalias radiológicas importantes, de forma a garantir que seu indicativo de diagnóstico seja compatível e não represente riscos para os pacientes (Garcia et al, 2015).

Nesse contexto, calibrar essas grandezas fotométricas em laboratórios acreditados adquire contorno de requisito básico para garantir a confiabilidade metrológica e, na maior parte dos laboratórios, o procedimento é feito usando o iluminante A como fonte padrão (fonte de luz de tungstênio, temperatura de cor de 2856 K). Em algumas situações, entretanto, é conveniente para o laboratório de calibração, ou mais adequado para o

usuário final, o uso de outro iluminante para o processo de calibração. Nesses casos, a publicação NIST (1997) indica que se faz necessário determinar o fator de correção espectral (ccf) para ajustar a diferença de espectros entre o iluminante usado e o iluminante A, mantendo-se, assim, a rastreabilidade metrológica. O objetivo desse trabalho é descrever como o uso do iluminante D55 (fonte de luz de xenônio, temperatura de cor de 5500 K, incorporada no sistema Labsphere XTH-2000C) foi validado no Laboratório de Produtos para Saúde (Labprosaud), do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia da Bahia (IFBA).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se como fonte luminosa o sistema Labsphere XTH-2000C, composto por esfera integradora de 20 polegadas, com pintura reflexiva de 98%, lâmpada de xenônio de 300 W, lâmpada halogênia de 150W, fotodetector modelo DAS-050-P-RTA, radiômetro modelo SC 6000, espectrômetro UV-VIS-NIR, modelo CDS 600, atenuadores variáveis modelo VA-200-SC e motor controlador modelo MC-1000, sistema esse rastreável ao NIST. Para a calibração da iluminância foi utilizado, como referência, o fotômetro PRC Krochmann, número de série 051113-1, rastreável à RBC e, como instrumento a ser calibrado (corpo de prova), foi utilizado MAVOLUX 5032 B, medidor digital de iluminância fabricado pela Gossen, número de série 0c21580, rastreável à RBC. Para medir a distribuição de potência espectral dos iluminantes A e D55, do sistema XTH-2000C do Labprosaud, utilizou-se o espectrometro USB 2000, da Ocean Optics.

Como metodologia, calibrou-se o fotômetro de prova (Mavolux) nos iluminantes A e D55, por substituição, realizando-se, separadamente, 5 medidas em cada faixa para o medidor de referência e para o corpo de prova; em seguida foram realizados os cálculos dos desvios absolutos e de suas incertezas, baseando-se no Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (INMETRO, 2012). As leituras do fotômetro de referência foram corrigidas pelo fator de correção espectral ($ccf^*(S_t(\lambda))$) descrito na publicação NIST (1997):

$$ccf^*(S_t(\lambda)) = \frac{\int_{\lambda} S_A(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_t(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_t(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda}$$

onde $S_t(\lambda)$ é a distribuição de potência espectral do iluminante D55; $S_A(\lambda)$ é a distribuição de potência espectral do iluminante A; $s_{rel}(\lambda)$ é a resposta espectral relativa do fotômetro de referência em comparação com $V(\lambda)$, obtidos do manual do fabricante do fotômetro de referência (PRC Krochmann) e $V(\lambda)$ é a função eficiência luminosa espectral para visão fotópica.

A planilha usada para o cálculo desse fator foi disponibilizada pelo fabricante do sistema Labsphere XTH-2000C. Para testá-la, variou-se o comprimento de onda de 10 em 10 nanômetros (nm), no intervalo de 400 nm a 750 nm, e considerou-se os valores médios dos integrandos dentro desse intervalo; em seguida simulou-se dados do iluminante A, disponíveis na norma CIE (2004), contra dados do próprio iluminante A da referida norma; foi encontrado o valor $ccf^*(S_A(\lambda)) = 1,000$, como deveria necessariamente ser, visto

que o iluminante simulado foi o próprio iluminante A.

Após as medidas, foi calculado o erro normalizado das calibrações nos dois iluminantes, entendendo-se como satisfatório um erro menor ou igual a 1. Para o cálculo do erro normalizado (E_n) foi usada a expressão:

$$E_n = |(M_{referencia} - M_{prova})| / (u_{ref}^2 + u_{prova}^2)^{1/2},$$

onde $M_{referencia}$ é a medida feita pelo fotômetro de referência; M_{prova} é a medida feita pelo fotômetro de prova (Mavolux); u_{ref} é a incerteza expandida associada à medida do fotômetro de referência e u_{prova} é a incerteza expandida associada à medida do fotômetro Mavolux.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão resumidas na tabela 1. Utilizando-se dados de $S_A(\lambda)$ e $S_{D55}(\lambda)$ (distribuição de potência espectral dos iluminantes A e D55), medidos no Labprosaud com o espectrômetro USB 2000, encontrou-se:

$$ccf^*(S_{D55}(\lambda)) = 1,014$$

Utilizando-se dados de $S_A(\lambda)$ e $S_{D55}(\lambda)$, obtidos da norma CIE (2004), encontrou-se:

$$ccf^*(S_{D55}(\lambda)) = 1,011 \text{ (tabela 2).}$$

Como pode ser visto na tabela 1, este foi o fator adotado na correção das medidas feitas pelo fotômetro de referência no iluminante D55.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O erro normalizado, em todas as faixas medidas, foi menor do que a unidade, sendo que o valor máximo foi de 0,27, indicando que o uso do iluminante D55 em procedimentos de calibração com o fotômetro de referência apresenta resultados compatíveis com medidas feitas no iluminante A. Isso permite considerar que a substituição dessa fonte em calibrações de iluminância, aplicando-se o fator de correção espectral correspondente ao iluminante escolhido, leva a erros aceitáveis e, portanto, é um procedimento viável. Os fatores de correção espectral, obtidos a partir de dados medidos no Labprosaud e de dados normalizados,

apresentaram valores muito próximos: $ccf^*(S_{D55}(\lambda)) = 1,014$ (dados medidos) e $ccf^*(S_{D55}(\lambda)) = 1,011$ (dados normalizados). A determinação desses fatores é uma forma bastante efetiva para se avaliar o quanto o espectro do iluminante usado apresenta uma distribuição de potência espectral dentro das características previstas para aquele iluminante, além de possibilitar as correções necessárias quando se substitui o iluminante padrão. Essa metodologia dá flexibilidade ao processo de calibração da grandeza iluminância, permitindo o uso de iluminantes com espectros mais próximos daqueles esperados na área de atuação do usuário final, o que implicará, em última instância, em valores experimentais mais próximos do valor verdadeiro da grandeza.

Tabela 1 – Resultados obtidos.

Medidas no iluminante D55				Medidas no iluminante A				Erro normalizado
Referência x 1,011 (lx)	Medida (prova) (lx)	Incerteza (lx) k=2	Incerteza % k=2	Medida referência (lx)	Medida (prova) (lx)	Incerteza (lx) k=2	Incerteza % k=2	
800	707	36,8	4,6%	800	719	36,8	4,6%	0,23
600	531	27,6	4,6%	600	540	27,6	4,6%	0,23
400	354	18,0	4,5%	400	361	18,0	4,5%	0,27
200	177	9,0	4,5%	200	180	9,0	4,5%	0,24
100	88	4,5	4,5%	100	89	4,5	4,5%	0,14
50,0	44,0	2,3	4,5%	50,0	44,5	2,3	4,5%	0,15

Tabela 2: Cálculo do fator de correção espectral (ilum A x D55, dados normalizados) para o fotômetro referência.

nm	SA(λ)	Srel(λ)	S(λ)	V(λ)	ΔSA(λ)	ΔSrel(λ)	ΔS(λ)	ΔV(λ)
	Iluminat A	RadioLux	Iluminat D55		Srel(λ)	S(λ)	V(λ)	SA(λ)
400	14,7080	0,0009	60,949	0,0028	0,0269	0,1063	0,3390	0,086
410	17,6753	0,0023	68,554	0,0074	0,0529	0,1960	0,9149	0,249
420	20,9950	0,0031	75,577	0,0175	0,0881	0,2700	1,5883	0,520
430	24,6709	0,0045	67,914	0,0273	0,2191	0,6408	2,5492	0,881
440	28,7027	0,0114	85,605	0,0379	0,7477	2,1783	3,9153	1,336
450	33,8590	0,0345	97,993	0,0468	1,9415	5,2970	5,3069	1,927
460	37,8121	0,0718	100,463	0,0600	3,7689	9,2267	7,5589	3,084
470	42,8693	0,1125	99,913	0,0910	6,2587	13,8135	11,6864	5,303
480	48,2423	0,1595	102,739	0,1390	9,9368	19,2713	17,3425	8,961
490	53,9132	0,2259	98,078	0,2080	15,8109	27,4478	26,4803	15,275
500	59,8611	0,3248	100,800	0,3230	25,3818	40,2397	41,6040	26,283
510	66,0635	0,4741	100,695	0,5030	39,7906	57,1504	60,8202	42,351
520	72,4959	0,6657	99,987	0,7100	57,6182	77,0176	80,4099	60,126
530	79,7903	0,8394	104,210	0,8620	74,1710	92,0669	93,6172	75,386
540	85,9470	0,9467	102,102	0,9540	86,8185	99,4587	99,9267	87,218
550	92,9120	0,9931	102,968	0,9950	96,1355	101,1288	100,9740	95,971
560	100,0000	1,0000	100,000	0,9950	101,2768	96,5081	96,0248	100,770
570	107,1840	0,9568	97,216	0,9520	101,3082	89,2440	88,7956	100,799
580	114,436	0,8744	97,749	0,8700	96,3379	77,5166	77,1278	95,855
590	121,731	0,7608	91,432	0,7570	87,2260	64,7210	64,3962	86,788
600	129,043	0,6342	94,419	0,6310	75,3810	53,9869	53,7169	75,004
610	136,346	0,5055	95,140	0,5030	61,9571	42,0851	41,8766	61,650
620	143,618	0,3829	94,220	0,3810	47,5795	30,0816	29,9333	47,345
630	150,836	0,2663	90,448	0,2650	33,9781	20,1636	20,0632	33,809
640	157,979	0,1759	92,330	0,1750	22,7645	12,8963	12,8326	22,652
650	165,028	0,1075	88,854	0,1070	14,1409	7,5441	7,5084	14,074
660	171,963	0,0613	90,317	0,0610	6,7991	3,5715	4,2579	8,105
670	178,769	0,0171	93,950	0,0320	7,0172	3,4660	2,2678	4,436
680	185,429	0,0592	89,956	0,0170	8,5116	3,9176	1,0917	2,364
690	191,931	0,0315	79,677	0,0082	4,5991	1,9135	0,4970	1,195
700	198,261	0,0159	82,840	0,0041	2,3325	0,9725	0,2586	0,620
710	204,409	0,0074	84,844	0,0021	1,1139	0,4333	0,1255	0,324
720	210,365	0,0034	70,235	0,0010	0,5089	0,1749	0,0574	0,166
730	216,120	0,0014	79,301	0,0005	0,2178	0,0810	0,0312	0,084
740	221,667	0,0006	84,993	0,0002	0,1006	0,0363	0,0149	0,041
750	227,000	0,0003	71,880	0,0001				
Soma					1091,92	1054,82	1055,91	1081,04
F = 1091,92 x 1055,91 / 1054,82 x 1081,04					F =	1,011		

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no LABPROSAUD – IFBA (lem.labprosadud@ifba.com.br), laboratório construído através de um projeto financiado pelo Ministérios da Saúde e da Ciência, Tecnologia e Inovação (FINEP), e contou com o apoio da UNEB e da FAPESB/Bolsas ProPARQ.

REFERÊNCIA

AAPM - American Association of Physicists in Medicine. On-Line Report No. 03. Alexandria, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/CIE 8995, proposta 251/2014. Cambaúva, 2013

CIE - Commission Internationale de L'Eclairage, Technical Report 15- Colorimetry. Vienna, 2004

Garcia I, Macedo E, Navarro V, Navaro M, Leyton F, Pereira L, Ferreira M. Implantação de método para calibração da luminância em fotômetros. Congresso Brasileiro de Metrologia. Bento Gonçalves, 2015.

INMETRO. Guia para a Expressão de Incerteza de Medição. GUM 2008. Rio de Janeiro; 2012.

NIST - National Institute of Standards and Technology. Special Publication 250-37, photometric calibration,. Gaithersburg,1997.

Pinto M, Pedro M, Santos A; Saraiva A. RadiolBras vol.45 no.1 São Paulo Jan./Feb. 2012.

Taylor A. Illumination Fundamentals. Polytechnic Institute. Rensselaer, 2000.