

Cálculo da transmitância visível e semafórica com função de ponderação alternativa

Calculation of visible and traffic light transmittance with alternative weighting function

Marcio M. Mello e Liliane Ventura

Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO), Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos (SP), Brasil.

Resumo

Medidas de transmitância em óculos de sol fazem parte de alguns dos testes propostos pela norma NBR15111. Dois testes relevantes estão na região do espectro visível: um divide os óculos de sol em 5 categorias de acordo com a quantidade de luz visível transmitida, e outro mede o coeficiente de atenuação visual relativo para reconhecimento das cores semafóricas. Porém, estas medidas são realizadas com o uso de espectrofotômetros (equipamentos caros) e pessoas qualificadas para utilizar o equipamento, aplicar as funções de ponderação e fornecer laudos técnicos sobre a lente testada. O objetivo é encontrar uma função de ponderação alternativa que utilize componentes simples para medidas de transmitância luminosa e semafórica, de acordo com a norma NBR15111. Foram usados um sensor visível com resposta espectral próxima a do olho humano e diferentes fontes de luz (uma lâmpada incandescente, fluorescente e um arranjo de LEDs, para a transmitância luminosa, e três LEDs para a transmitância semafórica). Com os resultados, foi proposto um novo arranjo de LEDs (com curvas gaussianas) para simulação como uma tentativa de aproximar o espectro da função de ponderação, para a transmitância luminosa. A comparação é feita para 30 lentes. As lâmpadas são limitadas em fornecer um espectro apropriado para função de ponderação visível, com exatidão abaixo do esperado para esta medida, enquanto LEDs fornecem a resposta espectral adequada.

Palavras-chave: luz solar, óculos, dispositivos de proteção dos olhos, normas.

Abstract

Transmittance measurements in sunglasses are part of a series of tests proposed by the NBR15111 standard. Two relevant tests are at the visible wavelength: one sorts the sunglasses into five categories according to the amount of light transmitted, and the other measures the relative visual attenuation coefficient for signal light recognition. However, these measurements are performed using spectrophotometers (expensive equipment), which requires skilled practitioner to manage the equipment as well to apply the weighting functions and interpret the data. The objective is to find an alternative weighting function with simple components to be used in visible and semaphoric transmittance measurements, in accordance with the NBR15111. A visible light sensor was used with close spectral human eye response and different light sources (incandescent, fluorescent, and a set of LEDs, and three LEDs for semaphoric transmittance). With the results, a different set of LEDs was proposed (gaussian curves) to the simulation as an attempt to achieve the weighting spectrum for visible transmittance. The comparison is made for 30 different spectacles. The white lamps were limited to provide an appropriate weighting function, leading to measurements with accuracy below the expected for this kind of measurements, while the LEDs have a suitable spectral response.

Keywords: sunlight, eyeglasses, eye protective devices, standards.

Introdução

No Brasil, os óculos de sol são usados por uma extensa parcela da população, seja pela estética ou pelo conforto visual, e esse uso pode induzir malefícios caso as lentes não tenham proteção adequada¹. A norma brasileira NBR 15111² estabelece as características físicas (mecânicas, ópticas, etc.) para óculos de sol e filtros de proteção solar não usados para óculos corretivos. Estes filtros de proteção são previstos

para uso geral na proteção contra radiações solares e também para uso social e doméstico, inclusive no trânsito².

As medidas de transmitância abrangem radiações eletromagnéticas no ultravioleta (UV), testando a proteção eficaz dos filtros das lentes relacionadas a patologias oculares devido ao UV^{3,4}; infravermelho⁵; testes de cromaticidade para estabelecer limites mínimos necessários para a visibilidade de sinais de trânsito; e visível, dividindo os óculos em cinco categorias proporcionalmente ao grau de

escurecimento das lentes. São medidas necessárias para que os óculos tenham requisitos mínimos de segurança para o usuário, demonstrando lentes excessivamente escuras para dirigir pelo fato de limitar a habilidade de identificar objetos em sombras, lentes excessivamente coloridas que podem prejudicar a detecção e reconhecimento das cores do semáforo de maneira rápida e segura e lentes que podem induzir danos secundários⁶.

Transmitância

A transmitância visível e semafórica dos filtros, abordagem deste trabalho, podem ser calculadas pelas equações 1 e 2.

$$\tau_v = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \tau_F(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S_{D65}(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} V(\lambda) \cdot S_{D65}(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \tau_F(\lambda) \cdot W_V(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} W_V(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

$$\tau_{\text{sin}} = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \tau_F(\lambda) \cdot \tau_s(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S_{A_\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \tau_s(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S_{A_\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

$$= \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \tau_F(\lambda) \cdot W_{\text{sin}}(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} W_{\text{sin}}(\lambda) d\lambda}$$

onde, λ = comprimento de onda da radiação eletromagnética; τ_v = transmitância luminosa do filtro; na Equação 1; τ_{sin} = transmitância luminosa do filtro de proteção solar referente à distribuição espectral da luz de sinalização de trânsito; e na Equação 2; S_{D65} = distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão D65 da CIE⁷; S_{A_λ} = a distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão A; V = função da visibilidade espectral para a visão com luz diurna; τ_F = transmitância espectral dos filtros de proteção solar e τ_s = transmitância espectral das lentes dos sinalizadores de trânsito (semáforos).

A transmitância luminosa (τ_v) é calculada como a média ponderada para cada comprimento de onda da transmitância espectral do filtro (τ_F) dos óculos pela função de ponderação da norma tabelada em ($W_V(\lambda) = V(\lambda) \cdot S_{D65}(\lambda)$). Para o cálculo das transmitâncias semafóricas (τ_{sin}) são usadas quatro funções de ponderação (W_{sin}), na região do vermelho, verde, amarelo e azul ($W_{\text{sin}} = W_{\text{verm}}(\lambda)$ ou $W_{\text{verd}}(\lambda)$ ou $W_{\text{amar}}(\lambda)$ ou $W_{\text{azul}}(\lambda)$), funções que traduzem a multiplicação $\tau_s(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S_{A_\lambda}(\lambda)$, para diferentes $\tau_s(\lambda)$. A Figura 1 mostra uma representação do cálculo da transmitância visível τ_v .

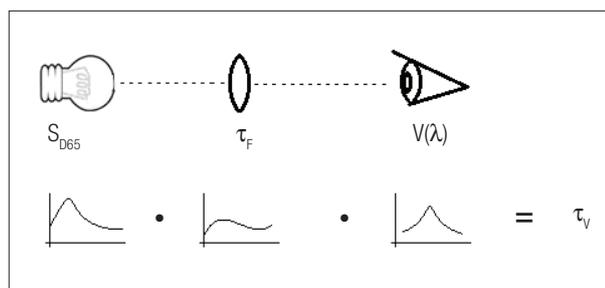


Figura 1. Representação gráfica do cálculo da transmitância visível.

As medidas de transmitâncias τ_F para óculos são realizadas por espectrofotômetros, equipamentos caros e muitas vezes não acessíveis. Medidores de transmitância visível mais simples já foram propostos em trabalhos anteriores⁸; porém, tem metodologia questionável pois utilizam lâmpadas incandescentes e fluorescentes como espectro necessário para a ponderação exigida pela norma, e LEDs com intensidades não reguladas.

Sendo o limite do desvio do erro para as medidas de transmitância de $\pm 3\%$ (absoluto) para a transmitância nas categorias de 0 a 3 e de $\pm 30\%$ (relativo) do valor da transmitância, para a categoria 4², o objetivo do trabalho é avaliar uma metodologia para desenvolver uma função de ponderação alternativa ($W_{\text{ALT}}(\lambda)$), com componentes simples, para medidas de τ_v e τ_{sin} em óculos de sol ($W_{\text{ALT-V}}$, $W_{\text{ALT-verm}}$, $W_{\text{ALT-verd}}$, $W_{\text{ALT-amar}}$, $W_{\text{ALT-azul}}$).

Materiais e Métodos

O primeiro teste consiste na avaliação do método de aproximação das funções de ponderação utilizando lâmpadas e LEDs em conjunto com um sensor, na tentativa de aproximação do espectro W_{ALT} por W .

O espectrofotômetro USB2000+ da *OceanOptics* foi utilizado para aquisição dos espectros das fontes luminosas — uma lâmpada incandescente, duas fluorescentes, e um conjunto de LEDs (picos em 525, 560, 585 e 630 nm).

Para os testes de transmitância semafórica, não foi encontrado nenhum LED satisfatório para a simulação da sinalização azul no mercado nacional. Para as demais cores, os LEDs foram adquiridos com comprimentos de onda em 535 nm para o verde, 590 nm para o amarelo e 625 nm para o vermelho, com espectros também analisados com o USB2000+.

Utilizou-se o sensor BPW21R, com curva de resposta espectral próxima a do olho humano obtida da folha de dados do componente. A função de ponderação W_{ALT} é calculada como a multiplicação do espectro de emissão da fonte de luz pela resposta espectral do sensor, e posteriormente é comparada com a função de ponderação da norma W .

O segundo teste calcula as transmitâncias τ_v e τ_{sin} de amostras de óculos com as funções W_{ALT} e W , e realiza a correlação gráfica dos valores. O que se espera é que o cálculo das transmitâncias com a função W_{ALT} seja próxima ao esperado com a função W , dentro dos limites permitidos de erro. Como amostras de transmitância de filtros (τ_F), foram adquiridos os espectros de transmissão de 15 pares de lentes de óculos de sol na faixa de 380 a 780 nm com o espectrofotômetro *Cary 5000*, Varian.

O terceiro teste propõe uma função alternativa, feita em simulação ajustando seis curvas gaussianas centradas em 505, 530, 555, 570, 580 e 610 nm (valores de LEDs disponíveis comercialmente), com largura de banda de 10 nm, na tentativa de aproximar a função $W_{\text{ALT-V}}$ para a função W_V . Para a simulação com LEDs, o espectro de

cada LED foi multiplicado por uma constante (para todos os comprimentos de onda) na qual a curva final foi ajustada recalculando as constantes de cada LED até que se obtivesse uma curva W_{ALT-V} próxima da curva W .

Resultados e Discussão

Os resultados do primeiro teste e do segundo, com relação à transmitância visível, podem ser vistos Figura 2.

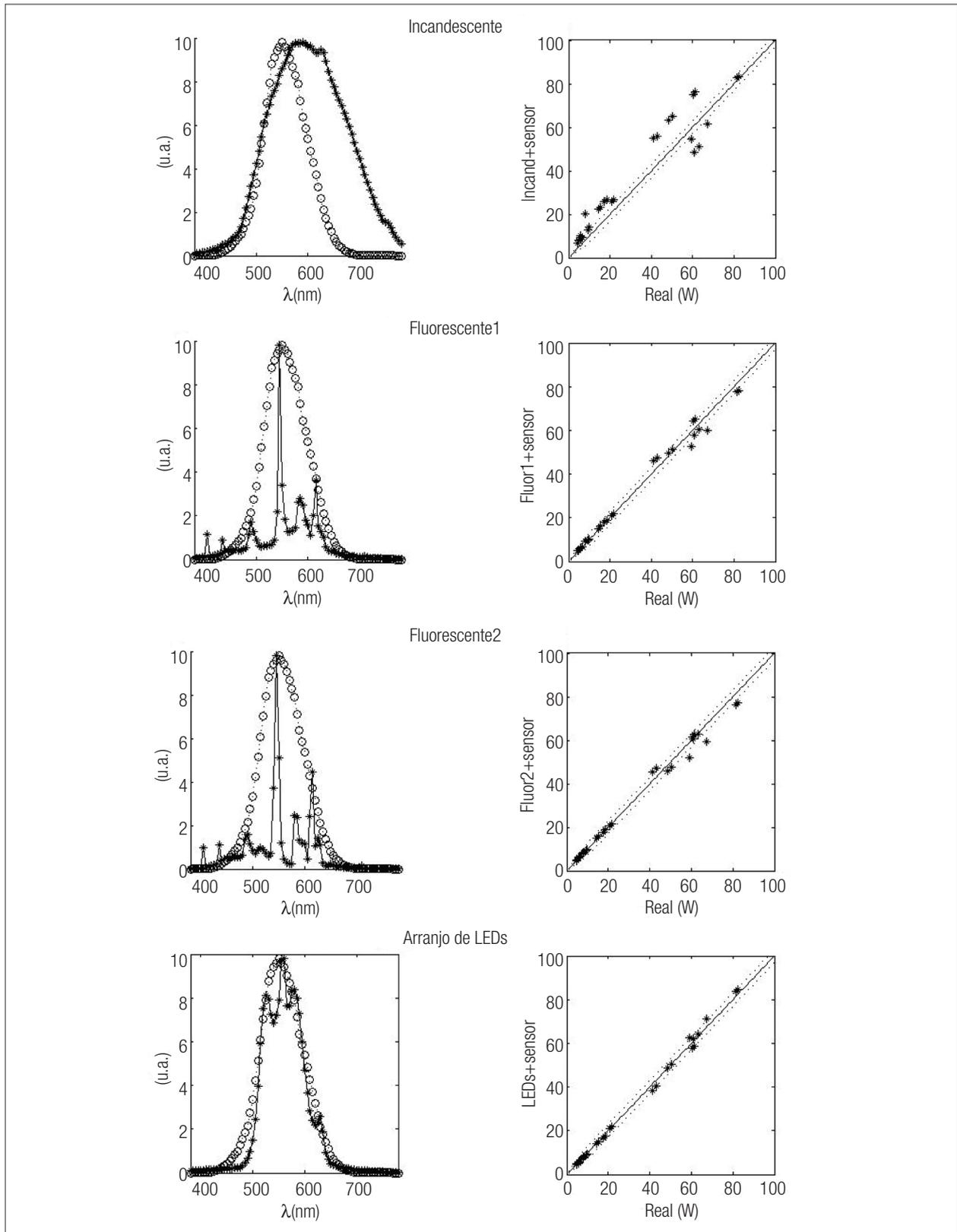


Figura 2. Coluna 1 = $W_v(\lambda)$ - o e $W_{ALT-V}(\lambda)$ - *; Coluna 2 = τ_v utilizando como ponderação $W_v(\lambda)$ (eixo X) e $W_{ALT-V}(\lambda)$ (eixo Y).

Os gráficos da coluna da esquerda mostram o resultado do primeiro método: a comparação da função W_V com a função obtida (W_{ALT-V}) multiplicando o espectro das fontes de luz pela resposta do sensor. A lâmpada incandescente mostra uma ponderação alta próximo ao vermelho, e as lâmpadas fluorescentes possuem picos de emissão curtos, e com alta energia.

A segunda coluna de gráficos apresenta o resultado do segundo método: a comparação das transmitâncias luminosas (τ_v) calculadas para 30 amostras de lentes,

utilizando a função W_V (eixo X) e a função $W_{ALT-V}(\lambda)$ (eixo Y). As linhas pontilhadas mostram as margens de erro esperadas pela norma. A não proximidade das funções W_{ALT-V} com W_V possivelmente explica as diferenças entre as medidas de transmitância. O arranjo de LEDs proporciona uma função W_{ALT-V} mais próxima de W_V e estima τ_v com menor erro.

Os resultados dos primeiro e segundo testes realizados para a transmitância semafórica estão apresentados na Figura 3. Os gráficos da coluna da esquerda

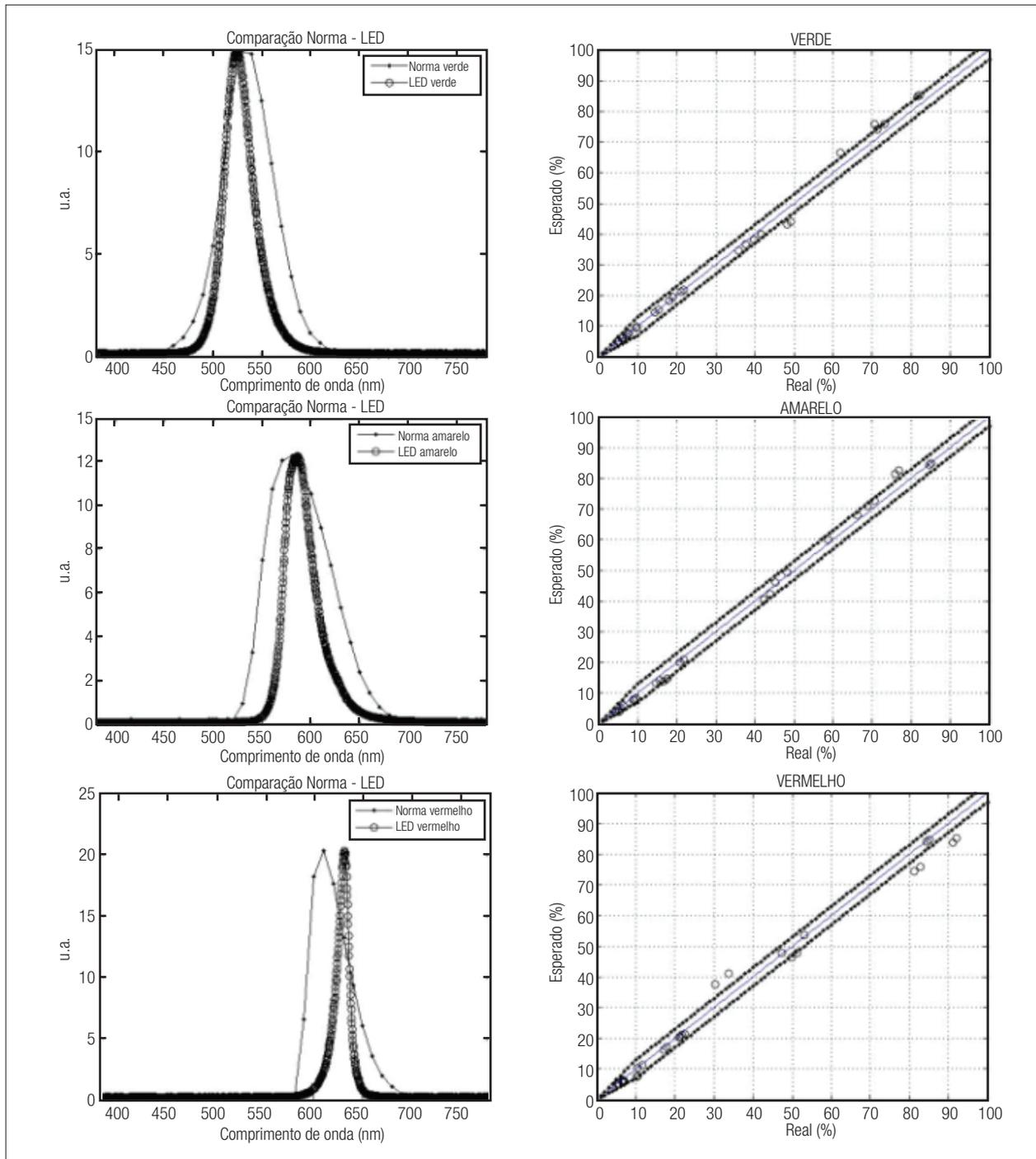


Figura 3. Coluna 1 = Funções para cálculo de τ_{signal} e LEDs; Coluna 2 = τ_{signal} utilizando W_{verd} , W_{amar} e W_{verm} (eixo X) e as funções $W_{\text{ALT-verd}}$, $W_{\text{ALT-amar}}$ e $W_{\text{ALT-verm}}$ (eixo Y).

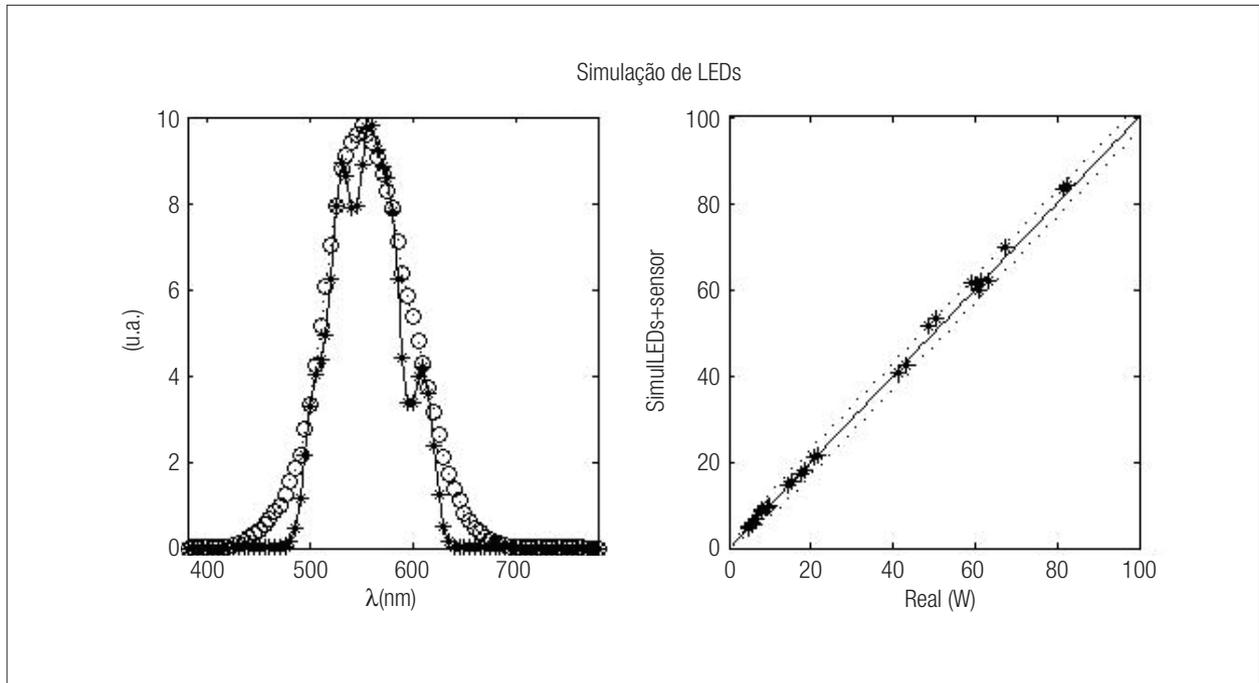


Figura 4. Gaussianas simulando LEDs e transmitância visível com arranjo proposto.

mostram o resultado do primeiro método, W_{verd} com LED em 525 nm, W_{amar} com LED em 590 nm e W_{verm} com LED em 625 nm, enquanto a segunda coluna apresenta o resultado do segundo método, a comparação das transmitâncias luminosas (τ_{sinai}) calculadas para os 15 pares de óculos, utilizando as funções W_{verd} , W_{amar} e W_{verm} (eixo X) e as funções $W_{\text{ALT-verd}}$, $W_{\text{ALT-amar}}$ e $W_{\text{ALT-verm}}$ (eixo Y). É possível perceber que o LED que menos se aproxima da função de ponderação da norma, o LED vermelho, e que também proporciona a estimação de transmitância com maior erro.

A Figura 4 mostra o resultado do terceiro teste. As gaussianas ajustadas simulam um espectro com LEDs que se aproxima da função de ponderação WV. As medidas de transmitância utilizando as gaussianas ficaram todas dentro da margem de erro esperada.

Conclusão

Neste artigo, foi testada uma metodologia para medir a transmitância de óculos de sol, baseada na norma NBR15111, utilizando componentes simples. As funções de ponderação possuem grande influência no cálculo da transmitância, tanto no visível quanto para o teste semafórico, pois é notável um aumento no erro em decorrência da utilização de funções de ponderação com maiores diferenças.

A utilização de lâmpadas convencionais não mostra um resultado desejável para a obtenção de uma função de ponderação adequada com a utilização do sensor BPW21R, pois percebem-se desvios significativos da transmitância luminosa calculada com $W_{\text{ALT}}(\lambda)$ da reta ideal esperada, em comparação com os valores reais obtidos com a função da norma $W(\lambda)$.

Uma montagem com LEDs mostra ser uma alternativa interessante quanto ao tamanho e baixo consumo para os medidores de transmitância portáteis. Este arranjo de LEDs foi inserido em um protótipo de medidas para óculos de sol e uso público, que visa a divulgação do malefício da radiação ultravioleta e informar se os óculos tem a devida proteção.

Referências

1. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Relatório sobre Análise em Óculos de Sol, Rio de Janeiro: Inmetro; 2009.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 15111 Proteção pessoal dos olhos - Óculos de sol e filtros de proteção contra raios solares para uso geral. São Paulo: ABNT; 2004.
3. International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Phys. 2004;87(2):171-86.
4. United Nations Environment Programme – UNEP, International Labour Organisation – ILO, World Health Organization – WHO. Environmental Health Criteria 160, WHO: Geneva; 1994.

5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μM). *Health Phys.* 1997;73(3):539-54.
6. Dain SJ. Sunglasses and sunglass standards. *Clin Exp Optom.* 2003;86(2):77-90.
7. [Joint ISO/CIE Standard ISO 10526:1999/CIE S 005/E-1998, CIE Standard illuminants for colorimetry. *Color Res Appl.* 25(5):385.
8. Mello MM, Lincoln VAC, Ventura L. A prototype for measurements in visible light transmittance of sunglasses. In: *Progress in biomedical optics and imaging.* San Francisco; 2012. p. 8209-55.