Caracterização de um espectroradiômetro comercial para avaliação de irradiância de fototerapia neonatal

Characterization of a commercial spectroradiometer for irradiance evaluation in neonatal phototherapy

DOI:10.34119/bjhrv5n5-179

Recebimento dos originais: 30/08/2022
Aceitação para publicação: 03/10/2022

Antonio Francisco Gentil Ferreira Junior
Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP)
Instituição: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Usos Finais e Gestão de Energia (LGE), Universidade de São Paulo,
Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Endereço: Av. Prof. Almeida Prado, 532, Predio 55, CEP: 05508-901 - SP, Brasil
E-mail: agentil@ipt.br

José Carlos Teixeira de Barros Moraes
Doutorado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP)
Instituição: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Endereço: Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, No. 158, Sala D2-05,
CEP: 05508-900, São Paulo – SP, Brasil
E-mail: jcmoraes@leb.usp.br

RESUMO
O presente trabalho apresenta a caracterização de um espectroradiômetro considerando a calibração nas escalas de comprimento de onda e irradiância espectral, juntamente com a avaliação de sua linearidade e a influência da variação angular na geometria de medição e da polarização da luz incidente. Os resultados mostram que para a aplicação na avaliação de fototerapia neonatal a calibração da escala de irradiância é crítica com variações entre valores teóricos e medidos de até 10 % e a avaliação da linearidade obtida foi 4 % por ordem de grandeza da irradiância, o que demonstra necessidade da caracterização do espectroradiômetro incluindo sua calibração para correta avaliação da irradiância de fototerapia neonatal.

Palavras-chave: espectroradiômetro, fototerapia, irradiância, calibração.

ABSTRACT
This work presents a spectroradiometer performance evaluation concerning it use for newborn phototherapy equipment testing. For this propose, the spectroradiometer is calibrated in wavelength and spectral irradiance scales and its linearity, light polarization effects and angular variation in the measurement geometry are evaluated. The results show differences of 10 % between predicted and obtained calibration factor of irradiance and variation of 4 % per a ten factor in the irradiance. These results reinforce the need of spectroradiometer characterization, including its calibration, to evaluate newborn phototherapy equipment.

Keywords: spectroradiometer, phototherapy, irradiance, calibration.

1 INTRODUÇÃO

O uso de fototerapia para tratamento neonatal é uma técnica consagrada [1] e a existência de normas dentro da Associação Brasileira de Normas Técnicas determina os requisitos de segurança e desempenho dos equipamentos utilizados na fototerapia [2]. A distribuição de irradiância espectral tanto de lâmpadas LED como de diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares e da tradicional lâmpada de filamento se tornou mais diversificada, o que aumenta a dificuldade de medição da irradiância [3-4].

Comparações de medidas de irradiância de fototerapias com diferentes radiômetros apresentaram variações de até 200 % para uma fonte de halogênio, 164 % para uma fonte fluorescente e 173% para uma fonte LED [3]. Em comparações interlaboratorias no Brasil 85% das medições de irradiância foram consideradas insatisfatórias [5], sendo no Brasil a calibração dos radiômetros um dos fatores de influência neste resultado.

Os limites de irradiância recomendados pela Academia Americana de Pediatria possuem um valor mínimo de 0,9 mW/cm² e um máximo de 1,95 mW/cm², ambos para uma faixa de emissão de 460 nm a 490 nm [6]. Os valores mínimos são compatíveis com estudos anteriores que recomendavam uma irradiância mínima eficaz no tratamento da icterícia neonatal de 1 mW/cm² em uma faixa de emissão de 420 nm a 480 nm [7]. A existência de um limite superior está associada a efeitos fotoquímicos que a radiação na faixa do espectro pode causar na epiderme, já confirmado em cultura celular [8], porém com resultados ainda contraditórios em estudos com neonatais [9]. Uma visão geral dos tipos de equipamentos de fototerapia aprovados pela ANVISA no Brasil é apresentada na literatura [10].

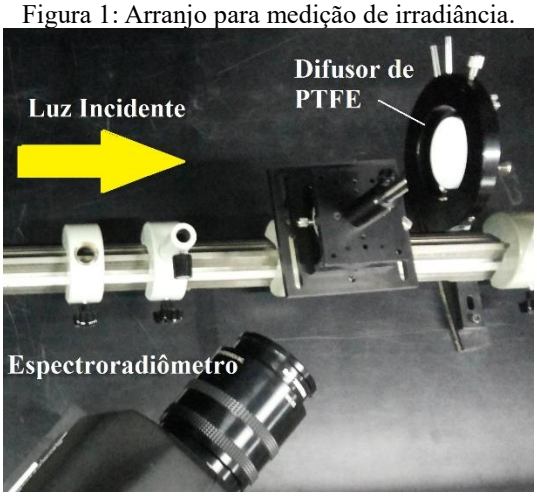
Este trabalho tem com objetivo apresentar os principais parâmetros de caracterização de um espectroradiômetro comercial e seus impactos para a avaliação de irradiância de equipamentos de fototerapia neonatal.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização do espectroradiômetro marca Photoresearch, modelo PR 705 para medição de irradiância espectral foi feita com uma lâmpada espectral de mercúrio para avaliação de sua escala de comprimento de onda e para escala de irradiância uma lâmpada padrão de irradiância espectral tipo FEL de 1000 W com rastreabilidade ao PTB (laboratório nacional da Alemanha). A medição de irradiância foi feita seguindo as orientações do

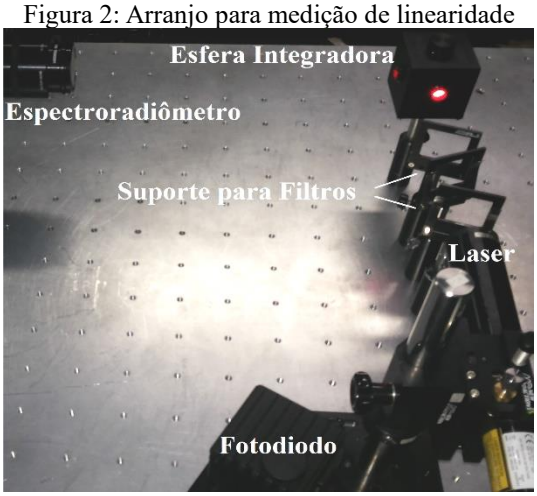
certificado da lâmpada padrão e utilizando um difusor plano de PTFE (Politetrafluoretileno) com refletância de 99 % na geometria de incidência da luz a 90° e a visualização do espectroradiômetro a 45°, ambas em relação à superfície do difusor. O arranjo para medição de irradiância é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Arranjo para medição de irradiância.



A avaliação da linearidade do equipamento foi feita com o uso de um conjunto de filtros de densidade neutra rastreado ao INMETRO para alterar a potência da radiação de uma fonte laser de HeNe (632 nm) que atingia uma esfera integradora. Um fotodiodo foi utilizado para monitorar a estabilidade da fonte laser e promover eventuais correções, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Arranjo para medição de linearidade



A resposta angular do sistema foi verificada variando do posicionamento do elemento difusor de luz e mantendo os demais elemento fixos, ver Figura 1, em uma faixa de ± 10º. O

efeito de polarização da luz na resposta do sistema foi avaliado variando a polarização linear da luz incidente de 0º a 135º em um passo de 45º. Em ambas as medições, foi utilizado um fotodiodo para monitorar a estabilidade da fonte de luz durante as medições.

3 RESULTADOS

O resultado obtido para a calibração da escala de comprimento de onda é apresentados na Figura 3 e os fatores de calibração da escala de irradiância do espectroradiômetro são apresentados na Figura 4.

A incerteza adotada aos valores de referência de comprimento de onda da lâmpada espectral de mercúrio é de ± 0,01 nm que é 100 vezes superior à relatada na literatura [11] e a incerteza nos fatores de calibração de irradiância é de ± 4 %, ambas para um fator de abrangência k = 2.

Figura 3: Calibração da escala de comprimento de onda do espectroradiômetro.

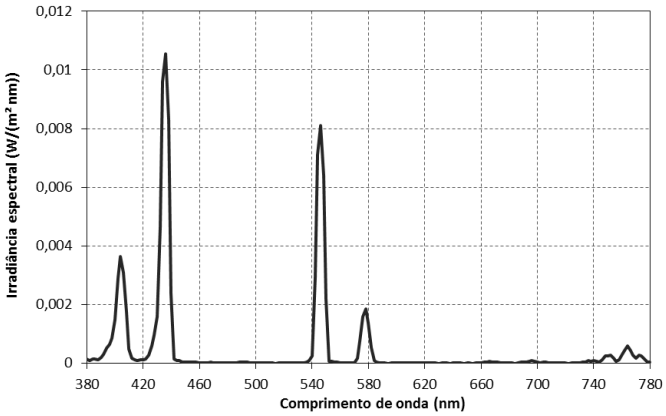
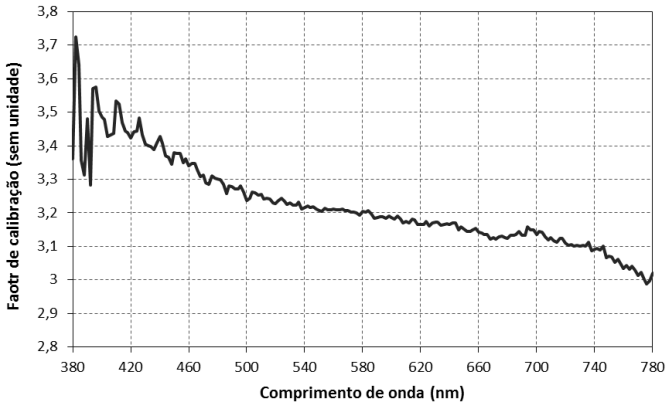
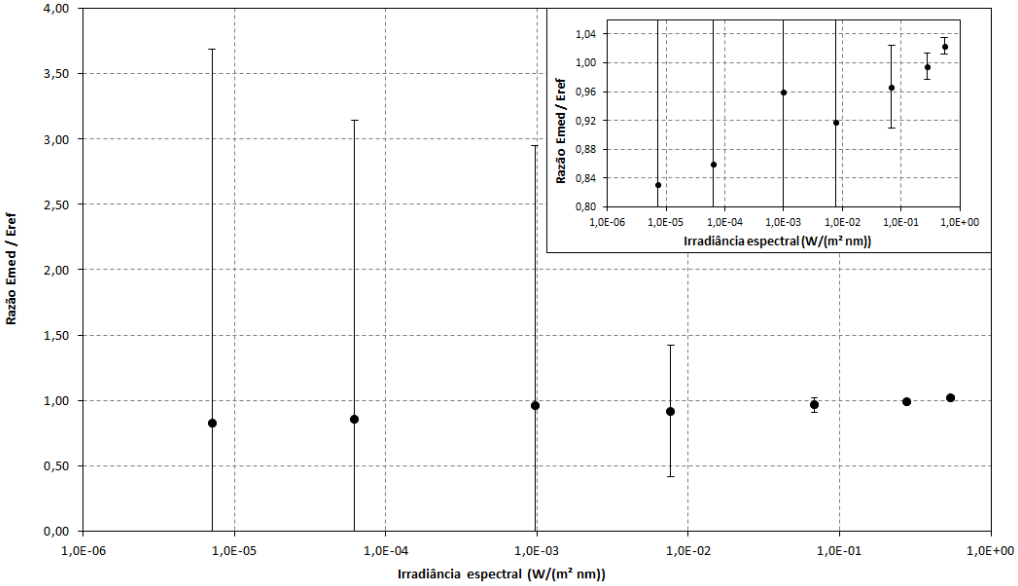


Figura 4: Calibração da escala de irradiância do espectroradiômetro.



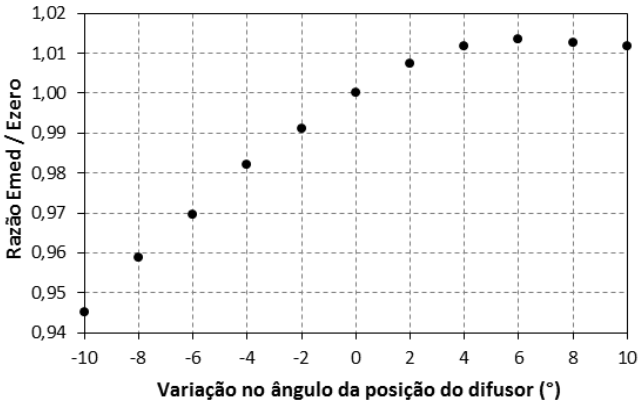
O resultado da determinação da linearidade do equipamento é apresentado na Figura 5, na qual se observa a razão entre a irradiância medida (E_{med}) pela irradiância de referência (E_{ref}) calculada utilizando a atenuação dos filtros de densidade.

Figura 5: Variação da linearidade do espectroradiômetro. No detalhe, escala ampliada.



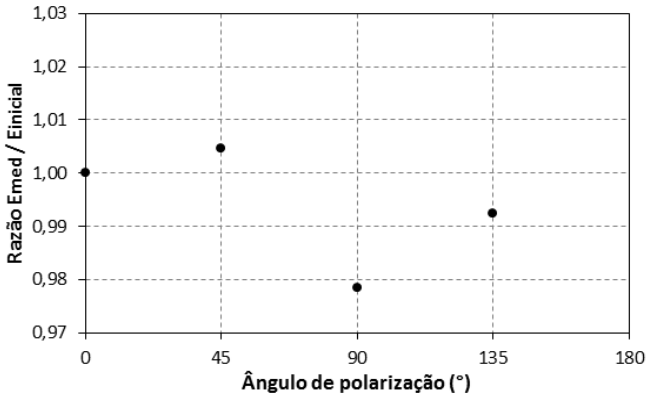
A resposta angular do sistema é apresentada na Figura 6 sendo que os dados de irradiância (E_{med}) são normalizados pelo valor de irradiância (E_{zero}) obtido para o ângulo zero.

Figura 6: Resposta angular do espectroradiômetro.



O efeito da polarização da luz na resposta do espectroradiômetro é apresentado na Figura 7, na qual a os dados de irradiância (E_{med}) são normalizados pelo valor de irradiância ($E_{inicial}$) obtido para a polarização inicial.

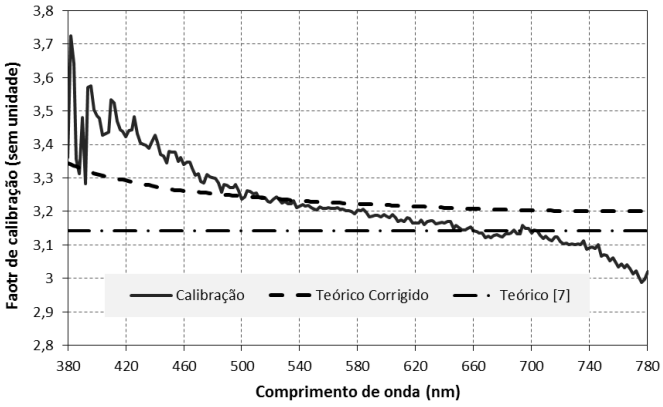
Figura 7: Resposta do espectroradiômetro com a variação da polarização.



Os resultados dos fatores de calibração para a escala de irradiância mostram uma variação de mais de 20% ao longo de toda faixa espectral. O fator de calibração teórico esperado para toda a faixa espectral deveria ser teoricamente uma constante (com o valor de π) [12], porém este valor teórico necessita de correções que são devido a não uniformidade da refletância espectral e o comportamento não Lambertiano do difusor. A comparação do fator teórico de calibração e do fator calibração teórico corrigido considerando os efeitos da refletância do difusor com sua degradação devido à exposição à radiação [13] com o fator de calibração obtido é apresentada na Figura 8. O que se observa na Figura 8 é que a diferença entre os resultados não pode ser somente atribuída à degradação do difusor, devendo ser considerados mudanças na resposta do espectroradiômetro como a alteração do sistema óptico e da responsividade dos detectores (efeitos de temperatura, umidade, envelhecimento e desgastes dos componentes, poeira, entre outros) [14].

A variação da linearidade o equipamento apresenta um tendência de aproximadamente 4 % para cada ordem de grandeza da irradiância. Estes resultados possuem uma elevada incerteza devido à incerteza de calibração obtida na calibração dos filtros de densidade utilizados. A incerteza da linearidade pode ser reduzida para ± 0,6 % no ponto inicial a ± 1,8 % para o ponto final com a utilização de calibração dos filtros no PTB que possui melhores incertezas e faixa de calibração ampliada [15].

Figura 8: Comparação do fator de calibração de irradiância com fatores teóricos.



O efeito angular da posição do difusor na geometria de mediação é de aproximadamente 1 % para uma variação angular de ± 1°. Este efeito pode ser desprezado para as montagens que utilizam alinhamento com sistemas laser ou goniométricos que apresentam incertezas de medição na faixa de décimos de graus.

A amplitude de radiação da resposta do espectroradiômetro com a polarização da luz incidente foi de aproximadamente de 3 % que é inferior ao efeito da polarização observado na medição de refletância espectral em amostras, cuja amplitude foi de 10 % [16].

Dentre os parâmetros analisados a variação do fator de calibração de irradiância na faixa de trabalho de fototerapias (400 nm a 550 nm) de aproximadamente 5 % contra valores teóricos corrigidos pela degradação da refletância do difusor [13], quando os valores teóricos não são corrigidos estes valores são de aproximadamente 10 %. Outro parâmetro significativo na medição é o comportamento da linearidade que precisa ser conhecida para evitar variações consideráveis, que no caso apresentado foi de 4 % por variação de ordem de grandeza da irradiância, sendo possível minimizar seus efeitos com a aplicação de correções ou a calibração da irradiância espectral em uma faixa compatível a da fonte sob teste. O efeito da polarização da luz se torna um parâmetro significativo quanto a fonte sob teste apresenta uma emissão polarizada ou parcialmente polarizada que pode ocorrer com o uso de LEDs.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a caracterização de um espectroradiômetro para a avaliação de fototerapia neonatal considerando sua calibração nas escalas de comprimento de onda e irradiância espectral, além de sua avaliação da linearidade, da variação angular na geometria de medição e da polarização da luz incidente. A calibração da escala de irradiância do espectroradiômetro se mostrou crítica com variações de 10 % entre valores teóricos e os

obtidos. A variação da linearidade também se mostrou significativa sendo 4 % por ordem de grandeza da irradiância. Os resultados mostram que a caracterização do espectroradiômetro incluindo sua calibração é fundamental para correta avaliação da irradiância de fototerapia neonatal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Governo do Estado de São Paulo e ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo suporte a realização deste trabalho por meio do Projeto 5000.56.A.

REFERÊNCIAS

Ferreira, HC, Berezin D, Larrubia MN. A super-iluminação na hiperbilirrubinemia do recém-nascido a termo. Jornal de Pediatria. 1960; 57: 335-8.

ABNT. ABNT IEC 60601-2-50. Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial do equipamento de fototerapia para recém-nascido. Rio de Janeiro, 2010.

Vreman HJ, Wong RJ, Stevenson DK. Phototherapy: current methods and future directions. Seminar Perinatol. 2004; 28(5):326-33.

Clarkson DM, Nicol R, Chapman P. Neonatal phototherapy radiometers: current performance characteristics and future requirements. Med. Eng. Phys. 2014; 36(4):522-9.

Ferreira Jr. AFG. Blue irradiance intercomparison in the medical field, Proc. SPIE 8466, Instrumentation, Metrology, and Standards for Nanomanufacturing, Optics, and Semiconductors VI, 84660B, 2012.

Bhutani VK. Phototherapy to Prevent Severe Neonatal Hyperbilirubinemia in the Newborn Infant 35 or More Weeks of Gestation. Pediatrics 2011; 128(4):1046-52.

Modi N, Keay AJ. Phototherapy for neonatal hyperbilirubinaemia: the importance of dose. Arch Dis Child 1983; 58(6):406-9.

Godley BF, et al. Blue light induces mitochondrial DNA damage and free radical production in epithelial cells. J Biol Chem. 2005; 280(22):21061-6

Brewster DH, et al. Risk of skin cancer after neonatal phototherapy: retrospective cohort study. Arch Dis Child. 2010; 95(10):826-31.

Carneiro, Suzana Alves Mundim, et al. Revisão de literatura acerca dos tratamentos de hiperbilirrubinemia neonatal. Brazilian J. Health Rev. 3.5 (2020): 13606-13619.

Sansonetti CJ, Salit ML, Reader J, Wavelengths of spectral lines in mercury pencil lamps. Appl. Opt. 1996; 35(1):74-7.

McCluney WR. Introduction to Radiometry and Photometry, London: Artech House, 1994. p. 15-19

Möller W, Nikolaus K-P, Höpe A. Degradation of the diffuse reflectance of Spectralon under low-level irradiation. Metrologia, 2003; 40(1):S2015-5.

Commission Internationale de L'éclairage – CIE. The spectroradiometric measurement of light sources, n. 63, Austria, 1984.

BIPM. Apresenta capacitação para serviços de transmitância do PTB. Disponível em: <http://kcdb.bipm.org/appendixC/country_list_search.asp?CountSelected=DE&sservice=PR/Mater.4.1>. Acesso em 30/06/2022.

Minato H, Nanjo M, Nayatani Y. Errors in spectrophotometry and colorimetry of fluorescent samples caused by polarization of the measuring system. Color Res. Appl., 1980; 8(4):238-44.