



MEDIDAS PRELIMINARES DE POTÊNCIA E IRRADIÂNCIA DE LASERS APLICADOS À MEDICINA

Maurício Simões¹, Thiago Menegotto², Giovanna Borghi³ e Iakyrá Couceiro⁴

¹Inmetro, Duque de Caxias - Xerém, Brasil, mslima@inmetro.gov.br

²Inmetro, Duque de Caxias - Xerém, Brasil, tmenegotto@inmetro.gov.br

³Inmetro, Duque de Caxias - Xerém, Brasil, gbalmeida@inmetro.gov.br

⁴Inmetro, Duque de Caxias - Xerém, Brasil, ibcouceiro@inmetro.gov.br

Resumo: Hoje no Brasil, são utilizados cada vez mais equipamentos eletromédicos à base de laser em diversas áreas da medicina. Esses instrumentos, em muitos casos, não são calibrados, o que pode acarretar vários riscos para os pacientes. Foi iniciado o desenvolvimento de uma metodologia para medições de grandezas como, a potência óptica e irradiância de lasers HeNe e íon Ar, utilizando detectores piroelétrico, trap e termopilha.

Palavras: detectores de radiação óptica, caracterização de laser, potência óptica, irradiância, metrologia óptica.

1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletromédicos (EEM) à base de laser são hoje amplamente utilizados em vários segmentos da medicina e biologia. Eles são poderosas ferramentas cirúrgicas, pois conseguem focalizar de forma eficaz em um ponto, cauterizando a região seccionada e reduzindo o trauma cirúrgico causado pelo bisturi tradicional, além de serem muito usados no tratamento e diagnóstico de doenças. Em muitos casos, para visualizar o interior do corpo humano é usada uma fibra óptica acoplada a um laser [1-6].

Todos esses equipamentos eletromédicos devem estar em conformidade com a Norma Geral NBR IEC 601-1 “Equipamentos eletromédicos – Parte 1 – Prescrições gerais para segurança”, além de normas particulares e colaterais. No caso dos EEM a laser, a norma particular é a NBR IEC 601-2-22 “Equipamento eletromédico Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento terapêutico e de diagnóstico a laser” [7, 8]. Este procedimento deve ser seguido para garantir a segurança do paciente e do operador do equipamento.

Os procedimentos de medição na área da saúde devem ser rastreados ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Os EEM que não atendem às especificações técnicas e metroológicas podem provocar efeitos adversos: afetam a saúde de pacientes, operadores e médicos; diagnóstico falso; perdas econômicas com repetição de medições; custos de tratamentos desnecessários ou complicações advindas de tratamentos realizados indevidamente. No Brasil, a cultura metroológica nesta área ainda está no início, sendo necessário o desenvolvimento de sistemas padrões rastreados ao SI,

principalmente na caracterização de medidores de energia e potência, entre outros procedimentos, garantindo a confiabilidade metrológica desses equipamentos.

Em maio de 2010, ocorreu um Painel Setorial no Inmetro para Equipamentos Eletromédicos [9] com vários representantes de empresas ligadas ao setor, da ANVISA, e outros interessados. O objetivo foi minimizar o impacto da implementação da 3ª edição da IEC 60601-1 no Brasil, que está em andamento. Nesta nova versão da IEC 60601-1:2005 foi introduzido o gerenciamento de risco - ISO 14971:2000. Com isto, estão ocorrendo diversas mudanças no cenário internacional na regulação de produtos para a saúde, consequentemente, a indústria brasileira deste setor deve se adaptar a essas mudanças para ser competitiva.

Apesar das exigências normativas brasileiras, verifica-se que não existe um padrão nacional rastreável para calibração de medidores de potência e energia laser. A implantação deste padrão é fundamental para o atendimento à norma particular citada acima e para a garantia da confiabilidade dos equipamentos EEM em uso no Brasil.

2. METODOLOGIA

O Laboratório de Radiometria e Fotometria (Laraf) do Inmetro possui um radiômetro criogênico, um detector térmico que funciona a temperatura de hélio líquido (4,2 K) - padrão primário em medidas de potência óptica (W) [10-12]. Este instrumento foi caracterizado e as principais fontes de incerteza avaliadas [11]. Foi construída a escala de responsividade espectral absoluta (A/W) em detectores “trap”, na região do visível até o início do infravermelho próximo (400 nm - 950 nm) [12-14].

A partir deste equipamento é gerada a cadeia de rastreabilidade para outros setores ligados direta ou indiretamente à Radiometria, como na área médica, onde os lasers têm ampla aplicação.

Para a caracterização das fontes e detectores de radiação óptica são necessários padrões secundários e de trabalho. Um padrão secundário é estabelecido por meio de uma calibração com referência a um padrão primário de uma grandeza do mesmo tipo [15]. Já um padrão de trabalho é utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar instrumentos de medição ou sistemas de medição [15]. O

detector piroelétrico disponível no Laraf, um padrão secundário, possibilita a medida de potência e de irradiância no intervalo da ordem de 0,00001 W - 0,1 W e 0,00001 W/cm² - 0,1 W/cm², respectivamente. Este dispositivo pode ser utilizado para a caracterização de lasers de baixa potência usados principalmente em medicina para fins terapêuticos. A Figura 1 mostra um esquema simplificado para a caracterização de detectores e fontes de radiação.

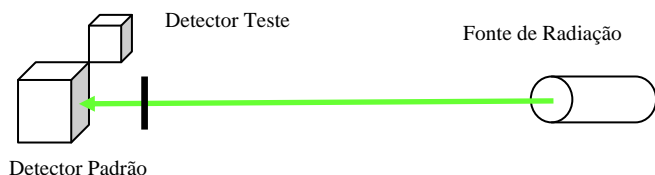


Figura 1 - Esquema do sistema experimental para a caracterização de detectores e fontes de medidores de potência e energia.

Descrição: um feixe de luz é emitido por uma fonte de radiação (laser). O método utilizado para a calibração do detector teste é o de substituição. Substitui-se o detector padrão pelo detector teste. A responsividade espectral (ρ) do detector teste é a relação entre a resposta deste detector (X) e a potência (Φ) (ou energia), equação 1:

$$\rho = \frac{X}{\Phi} \quad (1)$$

onde: X normalmente é uma tensão ou uma corrente elétrica.

Outros parâmetros importantes na caracterização de um laser para cada tipo de aplicação, além da medida de potência óptica, são o comprimento de onda, perfil do pulso laser, diâmetro do feixe.

2.2 - Detector piroelétrico

Seu princípio físico de funcionamento está baseado no fato de que um material piroelétrico possui uma polarização permanente ou espontânea na ausência de um campo elétrico aplicado [16] e esta é uma função da temperatura. Como exemplos de tais materiais, têm-se: o titanato de bário (BaTiO₃), niobato de lítio (LiNbO₃), tantalato de lítio (LiTaO₃), nitrato de sódio (NaNO₃) [16]. Assim, uma variação da polarização com a temperatura produz um fluxo de carga em um circuito externo. Portanto, uma radiação ao incidir sobre um detector piroelétrico produz um aquecimento, causando uma variação na polarização elétrica e isto produz uma variação da carga elétrica dos eletrodos, gerando uma corrente elétrica.

2.3 - Termopilha

Existem disponíveis no Laraf detectores tipo termopilha que medem a irradiância (mW/cm²) no intervalo de 1μW/cm² a 200 mW/cm² [17]. Esses dispositivos são usados para medir a irradiância, outro parâmetro importante, de fontes lasers e LEDs com aplicação na medicina. Uma termopilha é formada por n termopares arranjados em série [16].

2.4 - Detectores trap

Os detectores em configuração de armadilha óptica [11-14, 18, 19], montados com fotocélulas à base de silício, são

considerados atualmente um dos melhores padrões de transferência da escala de potência de um sistema de radiometria criogênica, mantendo a incerteza neste processo baixa, uma parte em mil. Estes detectores podem ser utilizados para a calibração de outros detectores e para a caracterização de lasers aplicados à medicina.

3 - RESULTADOS

3.1 - Caracterização do detector piroelétrico

Os resultados a seguir mostram algumas medições referentes à verificação de um detector piroelétrico comparado a um radiômetro criogênico. A Figura 2 mostra as medidas de potência óptica nas linhas dos lasers HeNe (632,8 nm) e íon Ar (457,9; 472,7; 488,0; 496,5 e 514,5 nm). Essas medidas foram feitas para fins comparativos do primeiro instrumento com o segundo, visto que este é o padrão primário de medida de potência óptica.

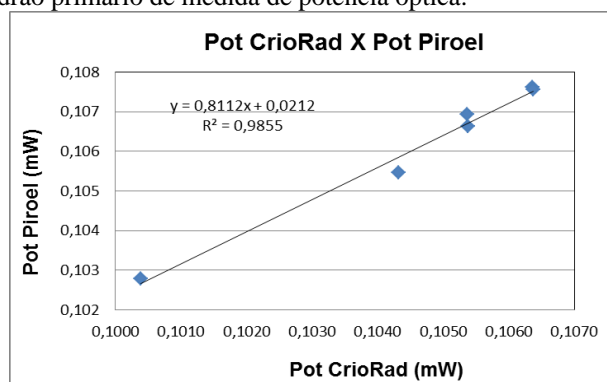


Figura 2 - Comparação da medida de potência óptica usando um detector piroelétrico contra um radiômetro criogênico.

A exatidão requerida na área de saúde para a verificação dos EEM à base de laser é de 20% [6]. Observa-se da figura um bom ajuste linear dos dados como mostra o coeficiente de correlação linear quadrático de 0,986, mostrando um bom desempenho do detector piroelétrico como um padrão secundário para dar rastreabilidade a outros detectores utilizados para a aplicação na área médica, em medidas direta de potência óptica no intervalo de 10 μW até 100 mW.

A Tabela 1 mostra as medidas de potência óptica e respectivas incertezas, a razão entre essas medidas e respectiva incerteza combinada expandida, sendo este resultado o mesmo em todos os comprimentos de onda para esta exatidão. Esta razão é um parâmetro fundamental na calibração do detector piroelétrico, pois o valor desta grandeza é instalado na memória do equipamento e é utilizado comparativamente para as medidas de potência óptica.

As incertezas nas medidas de potência óptica realizadas pelo radiômetro criogênico, u_{rad} , são oriundas da caracterização do radiômetro criogênico [11] e a repetitividade dessas medidas. Já as incertezas nas medidas de potência óptica feitas pelo radiômetro piroelétrico, u_{piroel} , são obtidas dos dados do fabricante do instrumento (resolução, equivalência entre potência óptica e elétrica, uniformidade da superfície do detector e substituição elétrica) [20] e repetitividade dessas medidas. A determinação da incerteza de medição está baseada no Guia para a Expressão e Incerteza da Medição [21].

Tabela 1 - Medidas de potência óptica, utilizando o detector piroelétrico e radiômetro criogênico, incertezas dessas medidas, razão entre essas medidas e incerteza total expandida dessa razão.

λ (nm)	Pot CrioRad (mW)	u_{rad} (%)	Pot Piroel (mW)	u_{piroel} (%)	Pot Piroel/Pot Rad	U (k=2)
457,9	0,1076	0,01	0,106	1,3	0,988	2,6
472,7	0,1076	0,01	0,106	1,3	0,989	
488,0	0,1066	0,01	0,105	1,3	0,988	
496,5	0,1069	0,02	0,105	1,3	0,985	
514,5	0,1055	0,01	0,104	1,3	0,989	
632,8	0,1028	0,01	0,100	1,3	0,977	

3.2 - Medida de irradiância de termopilha

A Figura 3 mostra um gráfico da medida de irradiância para o laser íon Ar - linha 514,5 nm para a termopilha, tomando como referência o detector piroelétrico. Verifica-se uma relação linear entre as medidas realizadas por esses instrumentos, como é mostrado pelo ajuste linear dos dados e coeficiente de correlação - $R^2 = 0,986$.

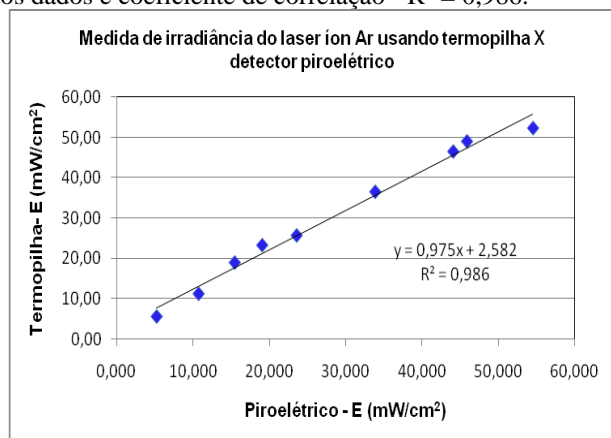


Figura 3 - Comparação da medida de irradiância do laser íon Ar linha 514,5 nm, usando uma termopilha e um detector piroelétrico.

Ainda com relação às medidas de irradiância, os resultados apresentados acima são preliminares, pois não estão rastreados a nenhum padrão, não foi realizada até o momento a escala de irradiância que é objeto de outro projeto em andamento no Laraf.

3.3 - Medida da responsividade espectral em potência de detectores trap

Alguns detectores em configuração de armadilha óptica (TRAP) foram calibrados contra o radiômetro criogênico. A responsividade espectral (A/W) absoluta foi determinada nas linhas dos lasers Ar+ e HeNe e as respectivas incertezas percentuais expandidas foram avaliadas e variaram de 0,03% a 0,06%. A Figura 4 mostra o gráfico das responsividades espectrais dos quatro detectores trap em função do comprimento de onda.

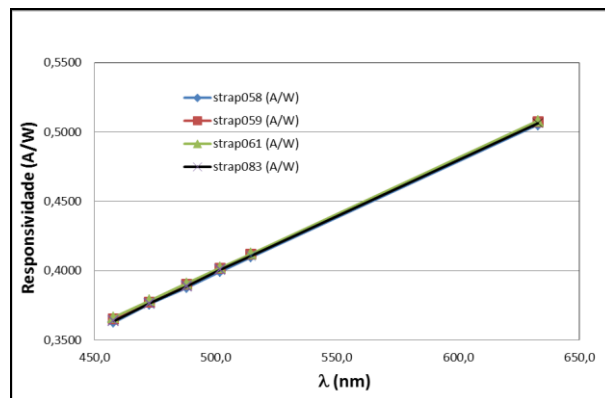


Figura 4 - Comparação da responsividade espectral de quatro detectores Trap.

O comportamento linear da responsividade espectral na região do visível e no início do infravermelho próximo (até 950 nm) para este tipo de detector é uma das propriedades que justifica o seu uso como padrão de transferência, podendo ser usada para estabelecer, em um primeiro momento, a escala de responsividade espectral a partir de interpolações e extrapolações [12].

4. CONCLUSÃO

As principais fontes de incerteza na caracterização do detector piroelétrico foram avaliadas, mas algumas componentes como a equivalência entre potência elétrica e óptica foi retirada do manual do fabricante. Portanto, é necessário aprimorar o método de avaliação de incerteza. Por outro lado, os detectores trap, que já vem a algum tempo sendo investigados, foram bem caracterizados, as principais fontes de incerteza foram avaliadas.

Além disso, com relação às medidas de irradiância, estas não estão rastreadas a nenhum padrão, não foi realizada até o momento a escala de irradiância, que é objeto de um novo projeto apresentado ao CNPq (Projeto PROMETRO) e aprovado - REALIZAÇÃO DA ESCALA DE IRRADIÂNCIA ESPECTRAL BASEADA EM DETECTOR E REALIZAÇÃO E DISSEMINAÇÃO DE ESCALA TERMODINÂMICA DE TEMPERATURA ACIMA DO PONTO DA PRATA (1234,93 K).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Faperj pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Qian Peng, Asta Juzeniene, Jiyao Chen, et al, "Lasers in medicine", Report on Progress in Physics, IOP Publishing, n. 71, 28pp, 2008.
- [2] S. A.L. Vieira, "Efeito do laser de baixa potência na cicatrização de feridas cutâneas experimentais", Dissertação - Universidade de Franca, pags. 1-49, 2006.
- [3] A. P. Romashkov, A. I. Glazov, and S. V. Tikhomirov, "Metrological Support of Medical Laser Devices", Biomedical Engineering, n. 4, pp. 211-212, 2000.

- [4] A. P. Romashkov, and S. V. Tikhomirov, Medical and Biological Measurements - Status and prospects of metrological support for laser medicine and laser medical technology, Measurements Techniques, v. 41, n. 9, 1998.
- [5] <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Laser.pdf>, E. M. Nicola, "Atuação cirúrgica do laser: laser de CO₂", 2008.
- [6] A. M. C. Drummond, "Confiabilidade metrológica de equipamentos eletromédicos a laser e a luz intensa pulsada", PUC-Rio, dissertação de mestrado, 2007.
- [7] ABNT, Norma Geral NBR IEC 601-1 "Equipamentos eletromédicos – Parte 1 – Prescrições gerais para segurança", 1997.
- [8] ABNT, NBR IEC 601-2-22 "Equipamento eletromédico Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento terapêutico e de diagnóstico a laser", 1997.
- [9] <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/RelatoEletromedicos.PDF>
- [10] J. E. Martin, N. P. Fox, P. J. Key, "A cryogenic radiometer for absolute radiometric measurement", Metrologia, v. 21, pp. 147-155, 1985.
- [11] M. Simões, A. P. Cunha, H. P. Grieneisen and I. B. Couceiro, "Cryogenic radiometer: performance and characterization as a primary standard at Inmetro", Imeko TC02, Praga, 2008.
- [12] M. Simões, T. Menegotto, A. Santana, I. B. Couceiro e H. P. Grieneisen, "Construção da escala de responsividade espectral em detectores Trap utilizando um radiômetro criogênico como padrão primário", 5^o Congresso Brasileiro de Metrologia 2009, Salvador – BA, 2009.
- [13] T. Menegotto, M. Simões, H. P. Grieneisen e I. B. Couceiro, "Determination of spectral responsivity of trap photodetectors", In: XXXIII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 2010, Águas de Lindóia. XXXIII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada. São Paulo: SBF, 2010.
- [14] M. Simões, C. L. M. Costa, A. P. Cunha, M. B. Guedes, L. C. Alves, I. B. C. Bougleux, "Montagem e caracterização de detectores padrão do tipo armadilha óptica", Metrologia, v. 35, pp. 455-460, 2003.
- [15] INMETRO, Vocabulário Internacional de Metrologia -VIM - Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados, Primeira Edição Brasileira do VIM 2008 - Tradução autorizada pelo BIPM da terceira edição internacional do VIM - JCGM 200:2008.
- [16] E. L. Dereniak, D. G. Crowe, "Optical Radiation Detectors", John Wiley & Sons, United States of America, 1984.
- [17] Manual de operação de termopilha, The Eppley Laboratory, INC. Newport, "Digital Termopilha Readout", 1996.
- [18] R. GOEBEL, S. YILMAZ, AND R. KÖHLER, Stability Under Vacuum of Silicon Trap Detectors and their Use as Transfer Instruments in Cryogenic Radiometry, Applied Optics, Vol. 35, No 22, 1996.
- [19] K. M. NIELD, J. F. CLARE, J. D. HAMLIN, AND^a BITTAR, Calibration of a Trap Detector Against a Cryogenic Radiometer, Metrologia, No 35, 581-586, 1998.
- [20] Manual de instrução do radiômetro piroelétrico, Laser Precision Corporation, "RS - 5900 Electrically Calibrated Pyroelectric Radiometer", 1983.
- [21] ABNT e INMETRO, "Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 3^a Ed Brasileira, Rio de Janeiro, 2003.