

# PROPOSTA DE UMA CURVA DE SENSIBILIDADE AO EFEITO FLICKER PARA ANÁLISE DO FENÔMENO DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

Arnaldo José Pereira Rosentino Junior<sup>1</sup>, José Rubens Macedo Junior<sup>2</sup>, Antônio Carlos Delaiba<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. E-mail: arnaldo@ieee.org

<sup>2</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. E-mail: jrubens.macedo@gmail.com

<sup>3</sup>Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. E-mail: delaiba@ufu.br

**Resumo** - As limitações atualmente verificadas no *flickermeter* IEC podem ser consideradas de duas formas. Inicialmente, tem-se que as modernas lâmpadas eletrônicas são menos sensíveis ao fenômeno da flutuação de tensão do que as lâmpadas incandescentes utilizadas na própria construção da metodologia IEC, introduzindo respostas não representativas da real intensidade da variação do fluxo luminoso dessas lâmpadas. Adicionalmente, a metodologia proposta pela IEC 61000-4-15 não é capaz de quantificar corretamente a magnitude da severidade de cintilação luminosa quando da presença de componentes de frequências inter-harmônicas na tensão de alimentação das lâmpadas. Diante disso, torna-se questionável se os valores dos indicadores de severidade de *flicker* aplicados às novas tecnologias de lâmpadas representam de maneira satisfatória a resposta do olho humano à cintilação luminosa, conforme originalmente proposto pelo modelo da IEC. Da mesma forma, estariam os limites propostos para os referidos indicadores adequados à esta nova realidade tecnológica? Diante deste contexto, o presente trabalho propõe uma curva de sensibilidade ao efeito *flicker*, fundamentada na variação do fluxo luminoso, a qual contribuirá para qualificação e quantificação do fenômeno de flutuação de tensão.

**Palavras-Chave** - Flutuação de tensão, IEC 61000-4-15, Inter-harmônica, Qualidade da energia e Variação do fluxo luminoso.

## PROPOSAL OF A FLICKER SENSIBILITY CURVE FOR VOLTAGE FLUCTUATION ANALYSIS

**Abstract** - The deficiency of IEC flickermeter can be explained by two significant hypotheses. Firstly, modern lightning may be significantly less sensitive to voltage fluctuations than standard incandescent lamps upon which the entire IEC flickermeter concept is based. As a result, the luminous flux variation from modern lamp bulbs is not well represented by the IEC flickermeter. Furthermore, the IEC standard 61000-4-15 is not able to detect flicker caused by high interharmonics components. In this connection, the flicker severity index measured by the IEC flickermeter to evaluate the flicker effect in modern lamp bulbs is controversial. Thus, would be the flicker planning levels and flicker requirements adequate

to this scenario? This work proposes a new flicker sensibility curve based on the luminous flux variation, which will contribute to qualify and quantify the voltage fluctuation disturbance.

**Keywords** - IEC 61000-4-15, Interharmonic, Luminous flux, Power quality and Voltage fluctuation.

## I. INTRODUÇÃO

De acordo com a norma IEC 61000-4-15 [1], as flutuações de tensão devem ser medidas e quantificadas através do uso do medidor de cintilação luminosa, conhecido na bibliografia como *flickermeter*. Este medidor avalia o incômodo sofrido pelo olho humano, utilizando como referência a variação do fluxo luminoso produzido em uma lâmpada incandescente (LI), em decorrência do fenômeno das flutuações de tensão. Porém, sabe-se que estas lâmpadas estão praticamente em desuso, já que em busca de uma maior eficiência no uso da energia elétrica estão sendo rapidamente substituídas pelas lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e LED. Esse cenário tem revelado algumas limitações do *flickermeter*. Por exemplo, há situações em que o efeito de cintilação luminosa pode ser constatado nas LFCs (sensibilizadas pela modulação do valor de pico da tensão), enquanto que nas lâmpadas incandescentes (sensibilizadas pelo valor eficaz da tensão) não se observa qualquer efeito [2]. Assim, o *flickermeter* proposto pela IEC e utilizado em todo o mundo não acusaria qualquer distúrbio na rede, já que a metodologia empregada em sua implementação se baseou nas lâmpadas incandescentes, as quais respondem apenas à variação do valor eficaz da tensão. Verifica-se que a principal causa das deficiências do *flickermeter* IEC está associada com a presença de elevadas componentes inter-harmônicas nos sinais de tensão. Ressalta-se que as flutuações de tensão não estão correlacionadas apenas às variações abruptas de carga, mas também com a superposição das inter-harmônicas nos sinais da rede. Ao longo dos últimos anos, tem-se considerado a relação direta existente entre esses dois fenômenos. Em termos práticos, sabe-se hoje que não é



XIII CEEL - ISSN 2178-8308  
12 a 16 de Outubro de 2015  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

possível a existência de flutuações de tensão sem a existência de componentes inter-harmônicas nos sinais de tensão associados [3-5]. A fim de obter uma melhor correlação entre um índice que quantifica a cintilação luminosa e o incômodo percebido pelo consumidor final, diversos trabalhos têm proposto novas técnicas de avaliação. As metodologias mais promissoras destacam que a avaliação do impacto devido à cintilação luminosa pode ser medida fielmente apenas através da análise da luz emitida [6-10].

À luz destas considerações, o presente trabalho tem por objetivo propor uma curva de sensibilidade ao efeito *flicker*, fundamentada na variação do fluxo luminoso, a qual contribuirá para qualificação e quantificação dos efeitos de cintilação luminosa. Assim, este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: a Seção II destaca as limitações do protocolo IEC 61000-4-15. Na Seção III pode ser encontrado o comportamento da variação do fluxo luminoso em lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas e do tipo LED. A Seção IV introduz a curva de sensibilidade proposta e analisa os resultados obtidos. Finalmente, as conclusões deste trabalho são resumidas na Seção V.

## II. LIMITAÇÕES DO FLICKERMETER IEC

O *flickermeter* IEC é essencialmente uma unidade de processamento de sinal, a qual leva em conta o sinal de tensão como entrada e o índice de severidade de *flicker* (*Pst*) como saída [1, 11]. Este protocolo apresenta uma deficiência: o mesmo é incapaz de quantificar o efeito *flicker* causado por componentes inter-harmônicas de tensão com frequências superiores a 102 (Hz) (assumindo que a frequência fundamental seja igual a 60 (Hz)), comumente produzidas por sistemas de dupla-conversão [12, 13]. Contudo, constata-se que é possível a percepção visual de cintilação luminosa em modernas lâmpadas eletrônicas quando da sobreposição de elevadas componentes de frequência inter-harmônica no sinal da rede. Para evidenciar esse fato foi criada uma estrutura em laboratório para realização de testes considerando-se lâmpadas incandescentes, lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas LED. A Figura 1 apresenta a arquitetura laboratorial implementada.

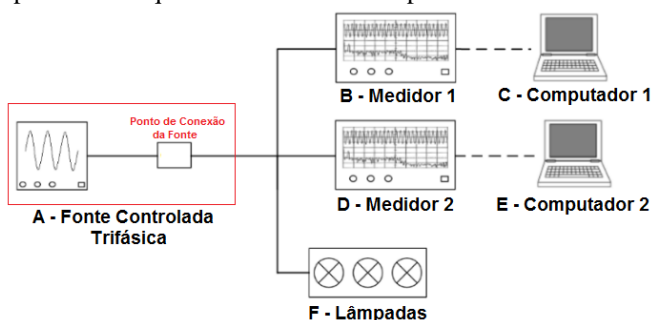


Fig. 1. Arquitetura laboratorial para avaliar as limitações do *flickermeter* IEC.

Conforme ilustrados pela Figura 1, os principais dispositivos para realização dos ensaios foram:

- **A** - Fonte controlada trifásica (Fabricante HP, Modelo 6834A): Responsável pela aplicação das flutuações de tensão;

- **B** - Medidor 1: Utilizado como medidor de referência para medir o valor de *Pst*;
- **C** - Computador 1: Análise dos dados enviados pelo medidor 1;
- **D** - Medidor 2: Medidor instalado com objetivo de registrar os dados de corrente e tensão, possibilitando a visualização da forma de onda no computador 2;
- **E** - Computador 2: Análise dos dados enviados pelo medidor 2;
- **F** - Lâmpadas:
  - - LI: OSRAM, 60 (W), 127 (V) – 60 (Hz);
  - - LFC: FLC, 20 (W), 127 (V) – 60 (Hz), tipo 3U;
  - - LED: ECOLUMÉ PAR20, 3 (W), 127 (V) -60 (Hz).

A fonte controlada trifásica utilizada neste trabalho não é capaz de gerar componentes inter-harmônicas de forma isolada, mas apenas em pares. Por conseguinte, uma frequência de modulação configurada em 105 (Hz) irá produzir componentes inter-harmônicas iguais a 45 (Hz) e 165 (Hz), ou seja,  $|60 \pm 105|$  (Hz). Conforme indicado pela Equação (1), este par de inter-harmônicas irá causar uma modulação na tensão com frequência de 15 (Hz) [3].

$$f_m = |f_{IH1} - h_{IH1} \cdot f_1| = |f_{IH2} - h_{IH2} \cdot f_1| \quad (1)$$

$$f_m = |45 - 1 \cdot 60| = |165 - 3 \cdot 60| = 15 \text{ (Hz)}$$

Onde:

- $f_m$  - Frequência de modulação da tensão;
- $f_{IH1}$  - Frequência da inter-harmônica 1;
- $h_{IH1}$  - Ordem harmônica mais próxima de  $f_{IH1}$ ;
- $f_{IH2}$  - Frequência da inter-harmônica 2;
- $h_{IH2}$  - Ordem harmônica mais próxima de  $f_{IH2}$ .

Sob estas considerações, elaborou-se um estudo de caso, cujas características encontram-se apresentadas na Tabela I, para evidenciar a limitação do *flickermeter* IEC. Ressalta-se, portanto, que outros casos poderiam ter sido escolhidos para tal propósito.

Tabela I – Características do estudo de caso para evidenciar a limitação do *flickermeter* IEC.

Frequência aplicada pela fonte ( $f_{fonte}$ ) (Hz)	Amplitude da modulação ( $m$ ) (%)	$f_{IH1}$ (Hz)	$f_{IH2}$ (Hz)
166,5	8	106,5	226,5

A Tabela II apresenta os resultados numéricos obtidos para as três lâmpadas analisadas. Verifica-se que há uma discordância entre o valor de *Pst* e a percepção de *flicker* para as lâmpadas LFC e LED. Esta limitação é justificada pelas elevadas componentes inter-harmônicas superpostas à tensão fundamental, as quais nesse caso, conforme espectro de frequências da Figura 2, são iguais a 106,5 (Hz) e 226,5 (Hz).

Tabela II – Resultados do estudo de caso.

Parâmetro	Tipo de lâmpada		
	LI	LFC	LED
<i>Pst</i> ( $pu$ )	0,53	0,74	0,79
Percepção de cintilação	Não	Sim	Sim
Frequência de flutuação (Hz)	13,58	13,58	13,58

Outra forma de justificar os resultados é através da análise das variações de tensão de pico e eficaz. Nota-se pela Figura 3 que a variação de tensão de pico é bem evidente, por isso a percepção de *flicker* nas lâmpadas fluorescente compacta e LED. Por outro lado, conforme destaca a Figura 4, a variação de tensão eficaz é bem suave, por isso a não percepção de *flicker* na lâmpada incandescente.

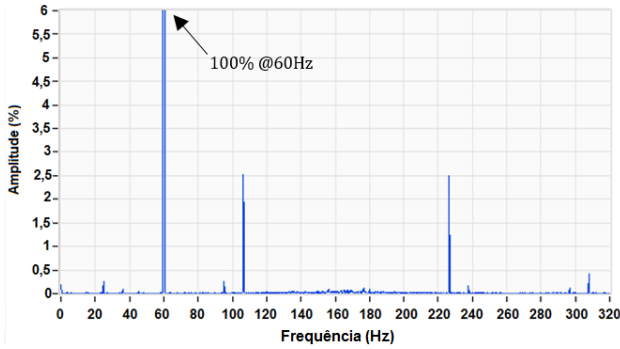


Fig. 2. Espectro de frequências da tensão para testes nas lâmpadas LI, LFC, e LED. Estudo de caso:  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ .

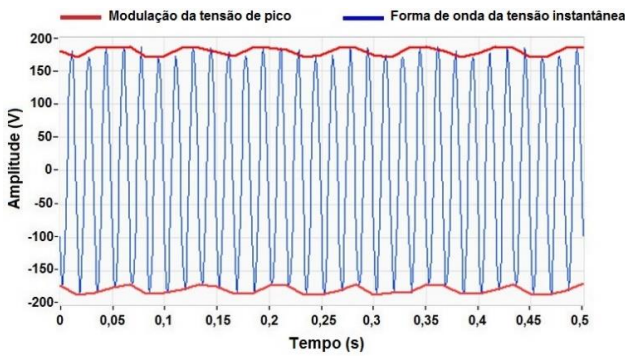


Fig. 3. Forma de onda da tensão para testes nas lâmpadas LI, LFC e LED. Estudo de caso:  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ .

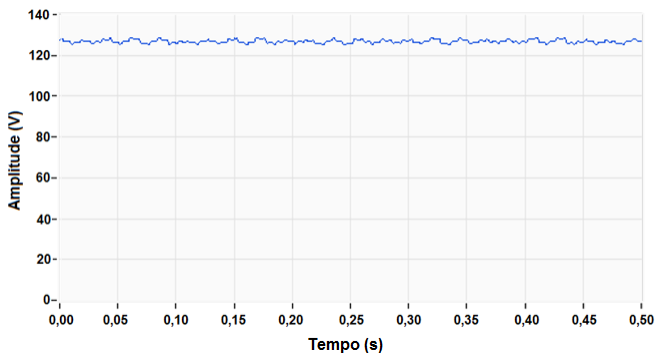


Fig. 4. Tensão eficaz para testes nas lâmpadas LI, LFC e LED. Estudo de caso 2:  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ .

### III. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

Diante da deficiência do *flickermeter* IEC, o interesse da comunidade científica tem recentemente sido focado no desenvolvimento e aprimoramento de técnicas que possam avaliar o efeito de cintilação luminosa. Neste sentido, este trabalho tem avaliado a resposta do fluxo luminoso diante da flutuação de tensão/inter-harmônicas, buscando propor uma metodologia para qualificar e quantificar corretamente o

efeito *flicker*. Para tanto, utilizou-se uma estrutura laboratorial similar àquela da Figura 1, na qual foram adicionados mais dois dispositivos como segue:

- **G** - Luxímetro (Fabricante INSTRUTHERM): Dispositivo responsável em detectar a variação do fluxo luminoso. A escolha deste equipamento foi possibilitada pelo fato do mesmo ter uma resposta espectral similar ao do olho humano. Adicionalmente, ressalta-se que este dispositivo foi alocado em uma câmara escura para avaliar apenas a fonte de luz sob teste, evitando qualquer interferência de iluminação externa;
- **H** - Placa de aquisição da *National Instruments* – NI USB-6008 (14-bit, 12 (kS/s)): Recebe o sinal analógico do luxímetro e envia os dados para análise no computador 2.

A Figura 5 ilustra o diagrama elétrico para avaliação dos estudos relacionados à variação do fluxo luminoso.

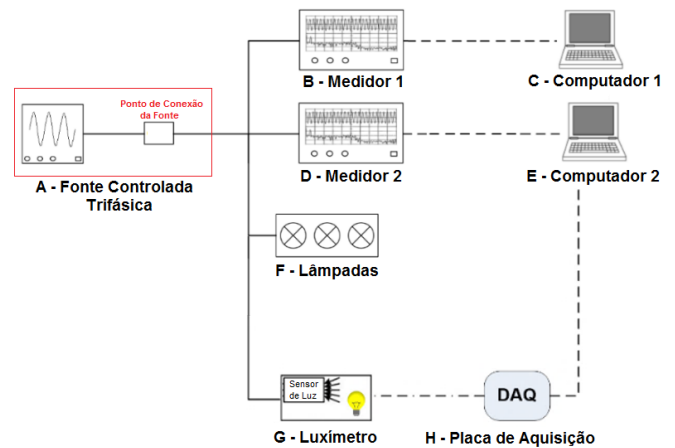


Fig. 5. Diagrama elétrico da arquitetura laboratorial para avaliar variação do fluxo luminoso das lâmpadas.

A partir do estudo de caso apresentado na Seção II, as Figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, a intensidade do fluxo luminoso e o respectivo espectro de frequências obtido na saída do luxímetro para os três tipos de lâmpadas analisadas. A Tabela III destaca os resultados numéricos. Nota-se que a modulação do fluxo luminoso não acompanha a modulação da tensão (13,5 (Hz)). Tal fato se justifica pela resposta diferente de cada lâmpada quando da presença de elevadas componentes inter-harmônicas.

### IV. PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO FLICKER BASEADA NA VARIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

Diante dos resultados obtidos em laboratório, apresentados anteriormente, verifica-se que um bom caminho para avaliar o efeito da cintilação luminosa é através da análise da amplitude e frequência da variação do fluxo luminoso. Assim, conhecendo-se o valor limite de iluminância ao efeito *flicker* para cada frequência localizada entre 0 e 30 (Hz), pode-se obter uma curva de sensibilidade para a quantificação do efeito.

Sabe-se que um valor de  $P_{st}$  acima de 1,0 (pu) é capaz de causar *flicker* em uma lâmpada incandescente. Partindo dessa premissa, a estratégia para obter a iluminância limite dentro

da faixa de 0 a 30 (Hz), sem a necessidade de um grupo de voluntários, foi baseada na aquisição da frequência e da iluminância em uma lâmpada incandescente, tomando-se o valor de  $Pst$  unitário para cada frequência na faixa de 0 a 30 (Hz), ou seja, para cada frequência e amplitude de flutuação de tensão, em que o medidor indicasse um valor de  $Pst$  igual a 1,0 (pu), obteve-se um par frequência e amplitude do fluxo luminoso. A lâmpada incandescente foi utilizada para essa finalidade, pois ela permite a criação da curva para toda a faixa de frequência de sensibilidade do olho humano, algo que seria mais difícil para os outros tipos de lâmpadas. Muito embora os ensaios tenham sido realizados a partir da lâmpada incandescente, ao contrário da curva de sensibilidade do *flickermeter* IEC, a curva de sensibilidade do fluxo luminoso é válida para qualquer tipo de lâmpada, já que a resposta do luxímetro é obtida diretamente da cintilação luminosa detectada na lâmpada.

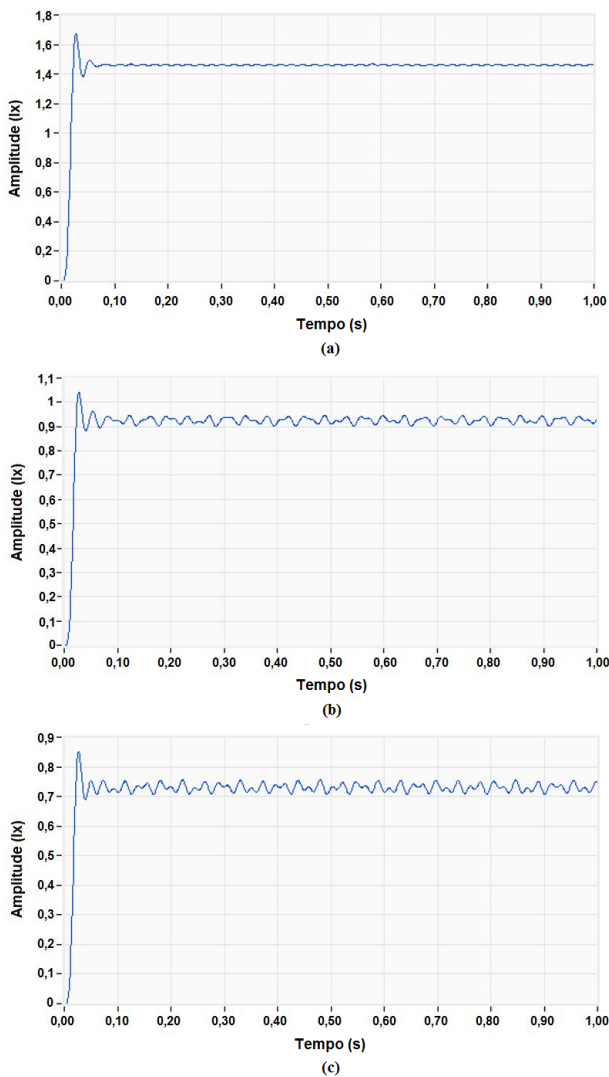


Fig. 6. Forma de onda da variação do fluxo luminoso -  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ : (a) LI; (b) LFC; (c) LED.

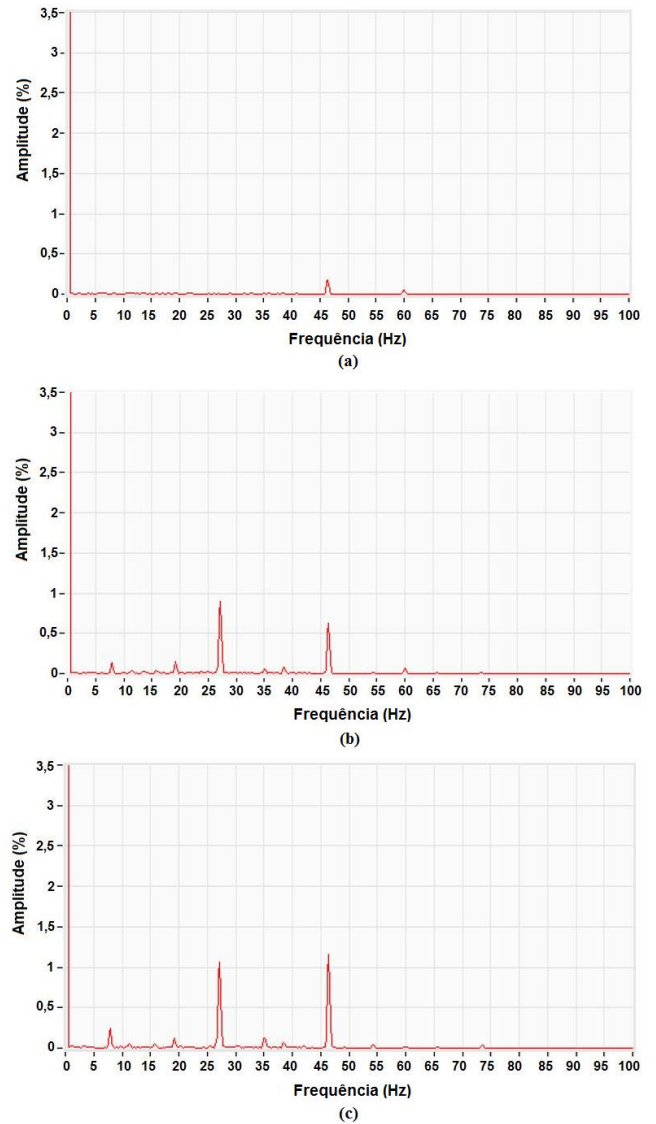


Fig. 7. Espectro de frequência da variação do fluxo luminoso -  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ : (a) LI; (b) LFC; (c) LED.

Tabela III – Resultados numéricos associados à análise da variação do fluxo luminoso para lâmpada LI, LFC e LED em  $f_{fonte} = 166,5$  (Hz) e  $m = 8\%$ .

Parâmetro	LI	LFC	LED
Frequência [Hz]	46,5	27,25	27,25
Amplitude [%]	0,18	0,92	1,06

A Figura 8 mostra quatro curvas de sensibilidade (linhas sólidas) baseada na variação do fluxo luminoso, tomando-se os valores de  $Pst$  iguais a 0,5 (pu), 1,0 (pu), 2,0 (pu), e 3,0 (pu). Após medição, as curvas de sensibilidade de 0,5 (pu), 2,0 (pu) e 3,0 (pu) foram calculadas através da relação (2).

$$lux_{[c]pu}(f_m) = c \cdot lux_{1,0pu}(f_m) \quad (2)$$

Onde:

$lux_{[c]pu}(f_m)$  - Amplitude da variação do fluxo luminoso em [mlx], associado à curva c para uma frequência de modulação  $f_m$  localizada na faixa de 0 a 30 (Hz);

$c$  - Valor em (pu), o qual indica a curva de sensibilidade a ser estimada;

$lux_{1,0pu}(f_m)$  - Amplitude da variação do fluxo luminoso em [mlx], associado a curva de 1,0 (pu) para uma frequência de modulação  $f_m$  localizada na faixa de 0 a 30 (Hz).

As curvas estimadas também se encontram apresentadas na Figura 8 (linhas tracejadas), onde verifica-se que a variação do fluxo luminoso é diretamente proporcional à curva de referência.

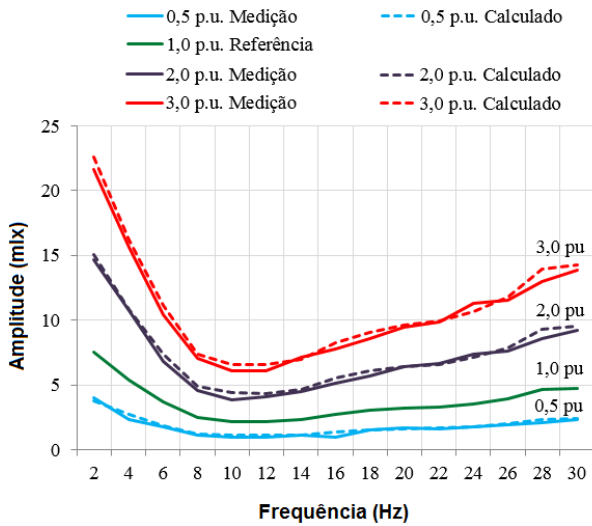


Fig. 8. Curvas de sensibilidade ao efeito flicker baseadas na variação do fluxo luminoso – “Flicker lux meter”.

Estas curvas introduzem a proposta deste trabalho para avaliação do efeito de cintilação luminosa, denominada de “Flicker lux meter”. Observa-se que o comportamento das curvas obtidas é similar ao da curva de sensibilidade do flickermeter IEC, verificando-se que a maior sensibilidade ao efeito flicker também se encontra próxima da frequência mais sensível ao olho humano, ou seja, 8,8 (Hz).

A Tabela IV apresenta os resultados do coeficiente de correlação de Pearson, destacando que há uma boa aproximação entre as respectivas curvas obtidas por medição e através da expressão (2).

Tabela IV – Análise da correlação entre as curvas medidas e calculadas.

Curva	Coefficiente de Correlação de Pearson
0,5 [pu]	0,9793
2,0 [pu]	0,9961
3,0 [pu]	0,9965

O próximo passo foi introduzir na metodologia proposta um índice que fosse capaz de diagnosticar a severidade da cintilação luminosa. Esse novo indicador foi denominado de  $Plux$ . Dessa forma, a curva de referência destacada na Figura 9 foi equacionada através da relação (3), a qual foi fundamentada na aproximação polinomial pelo método dos mínimos quadrados [14].

$$lux_{1,0pu}(f_{lux}) = 1,755 - 0,339 \cdot f_{lux} + 0,028 \cdot f_{lux}^2 - 0,000944 \cdot f_{lux}^3 + 0,0000116 \cdot f_{lux}^4 \quad (3)$$

Onde:

$lux_{1,0pu}(f_{lux})$  - Amplitude da variação do fluxo luminoso associado à curva de 1,0 (pu) do flicker lux meter;

$f_{lux}$  - Frequência da variação do fluxo luminoso;

$a_0, a_1, \dots, a_i$  - Coeficientes do polinômio da equação de referência do flicker lux meter.

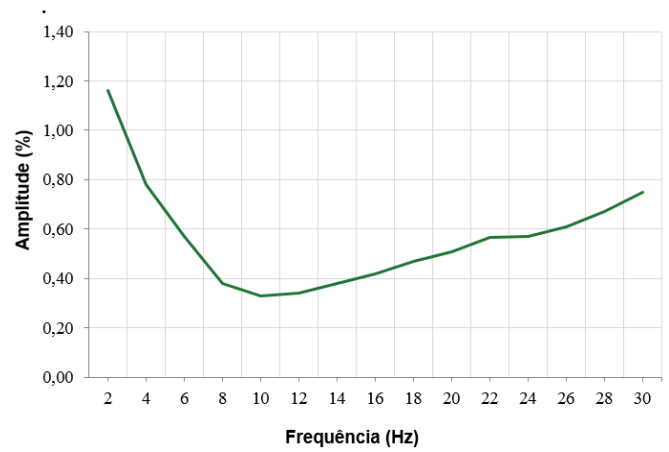


Fig. 9. Curva de referência utilizada pelo “flicker lux meter”.

Assim, diante da existência de uma proporcionalidade entre as curvas de sensibilidade do luxímetro para diferentes valores de  $Pst$ , conforme ilustrado na Figura 8, estima-se o indicador de severidade da variação do fluxo luminoso, denominado de índice  $Plux$ , o qual pode ser obtido através da relação (4).

$$P_{lux} = \frac{lux_{med}(f_{lux})}{lux_{1,0pu}(f_{lux})} (pu) \quad (4)$$

Onde:

$lux_{med}(f_{lux})$  - Amplitude da variação do fluxo luminoso obtida em medição para uma determinada frequência de iluminância,  $f_{lux}$ .

A Figura 10 apresenta a curva associada à Equação (3), bem como a curva obtida por medição. Nota-se que há uma boa aproximação entre ambas as representações.

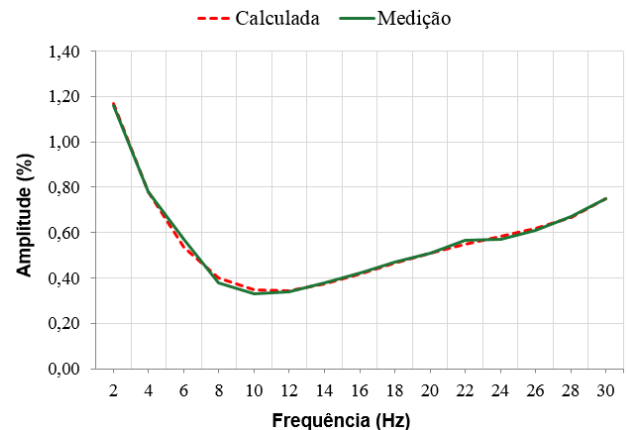


Fig. 10. Curvas de sensibilidade de referência obtidas por medição e analiticamente.

Para avaliar o desempenho do “Flicker lux meter”, tomando-se o estudo de caso apresentado na Seção II, o novo indicador de severidade de flicker,  $P_{lux}$ , foi calculado e comparado com o indicador de  $P_{st}$ . Tabela V mostra os resultados numéricos. Nota-se que apenas o medidor fundamentado no sinal de saída do luxímetro respondeu bem ao efeito flicker.

Tabela V – Desempenho dos medidores flickermeter IEC e flickermeter luxímetro para lâmpada LI, LFC e LED – Estudo de caso 1:  $f = 166,5$  (Hz),  $m = 8\%$ .

Parâmetro	LI	LFC	LED
Percepção de cintilação	Não	Sim	Sim
$P_{st}$ [pu]	0,53	0,79	0,54
$P_{lux}$ [pu]	0,03	1,42	1,65

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma alternativa para avaliar o efeito de cintilação luminosa, baseando-se na variação do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada. Através de uma arquitetura laboratorial, realizou-se um conjunto de testes, onde foi possível analisar a variação do fluxo luminoso a partir de um luxímetro. Diante dos testes realizados, desenvolveu-se uma curva de sensibilidade do luxímetro para avaliação da cintilação luminosa. Verificou-se que o índice de severidade de flicker fundamentado na variação do fluxo luminoso pode responder melhor que aquele associado ao flickermeter IEC, já que o sinal de saída do luxímetro é uma resposta direta da cintilação luminosa da lâmpada. Uma sugestão para investigações futuras é a proposta de uma curva típica de iluminância, da qual seja possível representar a resposta da variação do fluxo luminoso dos vários tipos de lâmpadas em função da variação de tensão e da frequência de modulação. Esta estratégia possibilitará a realização de simulações computacionais, obtendo-se uma melhor predição do efeito flicker causado pelas cargas potencialmente perturbadoras, tais como os fornos a arco.

## REFERÊNCIAS

- [1] "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications," 2010.
- [2] J. R. Macedo Jr., "Uma Contribuição à Análise das Componentes Inter-harmônicas e seus Efeitos nos Indicadores de Flutuação de Tensão," Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2009.
- [3] Y. Jing, T. Tayjasanant, X. Wilsun, and S. Caixin, "Characterizing Voltage Fluctuations Caused by a Pair of Interharmonics," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 319-327, 2008.
- [4] T. Tayjasanant, W. Wencong, L. Chun, and X. Wilsun, "Interharmonic-flicker curves," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1017-1024, 2005.
- [5] V. B. Virulkar and M. V. Aware, "Modeling and simulation of flicker due to interharmonics," in *Power Electronics (IICPE), 2010 India International Conference on*, 2011, pp. 1-5.
- [6] A. E. Emanuel and L. Peretto, "A simple lamp-eye-brain model for flicker observations," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1308-1313, 2004.
- [7] M. G. Masi, L. Peretto, and R. Tinarelli, "Flicker Effect Analysis in Human Subjects: New Noninvasive Method for Next-Generation Flickermeter," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 60, pp. 3018-3025, 2011.
- [8] L. Peretto, E. Pivello, R. Tinarelli, and A. E. Emanuel, "Theoretical Analysis of the Physiologic Mechanism of Luminous Variation in Eye-Brain System," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 164-170, 2007.
- [9] L. Peretto, C. E. Riva, L. Rovati, G. Salvatori, and R. Tinarelli, "Analysis of the Effects of Flicker on the Blood-Flow Variation in the Human Eye," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 2916-2922, 2009.
- [10] J. R. Macedo Jr. and D. S. L. Simonetti, "Análise de desempenho do flickermeter na presença de componentes inter-harmônicas," *Controle & Automação (Impresso)*, vol. 23, pp. 508-519, 2012.
- [11] L. W. White and S. Bhattacharya, "A Discrete Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 527-533, 2010.
- [12] X. Wilsun, "Deficiency of the IEC flicker meter for measuring interharmonic-caused voltage flickers," in *Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE*, 2005, pp. 2326-2329 Vol. 3.
- [13] K. Taekhyun, E. J. Powers, W. M. Grady, and A. Arapostathis, "Detection of Flicker Caused by Interharmonics," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 152-160, 2009.
- [14] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Métodos Numéricos para Engenharia*, 5ª ed.: BOOKMAN, 2008.