

1.05.99 – Física.

UMA ABORDAGEM SIMPLES PARA A ANÁLISE DE LÂMPADAS UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO DOMÉSTICA

Roniel F. Cruz¹, Jorge R.A. Kaschny^{2*}

1. Estudante de IC do IFBA - Campus Vitória da Conquista
2. Professor Associado do IFBA - Campus Vitória da Conquista

Resumo:

A presente contribuição tem como objetivo apresentar uma caracterização simplificada do desempenho de lâmpadas tipicamente empregadas em iluminação residencial. As avaliações efetuadas indicam que, em ordem crescente de eficiência, temos as lâmpadas incandescentes, fluorescentes, halógenas e LEDs. Excetuando as lâmpadas LED, todas as demais apresentam uma tremulação com frequência igual ao dobro da rede de alimentação alternada. Como esperado, as lâmpadas fluorescentes são as que mostram maior flutuação de intensidade. Além do aspecto relativo à eficiência energética, verifica-se que as lâmpadas LED apresentam uma tremulação com frequência muito superior.

Palavras-chave: caracterização; eficiência energética; flutuação.

Apoio financeiro: FAPESB via concessão de bolsa PIBIC/IFBA.

Introdução:

Durante os últimos séculos, a iluminação doméstica sofreu diversas evoluções significativas. Primeiramente, com a introdução da lâmpada elétrica por volta de 1880, que substituiu a iluminação a gás ou querosene pelas chamadas lâmpadas incandescentes, seguido pela evolução das lâmpadas de descarga em gás, denominadas usualmente como fluorescentes, chegando mais recentemente às lâmpadas LED (WIKIPEDIA, 2018). De fato, nos dias atuais, dispomos de diversas opções para a iluminação de nossas residências, locais de trabalho e espaços públicos, conjugando viabilidade econômica, conforto e eficiência energética (OSRAM, 2010). Contudo, cada tipo de lâmpada elétrica apresenta suas particularidades.

Na presente contribuição apresentamos uma breve análise de algumas características das lâmpadas comumente utilizadas em iluminação doméstica, avaliando aspectos relacionados com eficiência, espectro de emissão e variações de luminosidade.

Metodologia:

Inicialmente, é importante salientar que todas as medidas e estimativas foram efetuadas seguindo procedimentos convencionais, não sendo observadas normas específicas empregadas em luminotécnica. Portanto, todo o procedimento experimental foi baseado em instrumentação e métodos convencionais. As medidas de tensão alternada, V_{AC} , foram efetuadas utilizando um multímetro, modelo Minipa ET-1100 e para as medidas de corrente alternada, I_{AC} , foi usado um alicate amperímetro, modelo Hikari HA-3300.

A determinação da variação de intensidade de luz emitida pela lâmpada como função do tempo, algo que é comumente denominado como tremulação, cintilação ou “flicker”, foi determinada com o auxílio do circuito-sensor cujo diagrama esquemático é mostrado na Figura 1a. Para a aquisição dos dados foi utilizado um osciloscópio digital, modelo Rigol DS-512M, em conjunto com o software UltraScope. É digno de nota que a tensão lida no osciloscópio corresponde diretamente a uma variação da intensidade da luz emitida pela lâmpada. De fato, na Figura 1b é ilustrado um oscilograma tipicamente obtido nesse tipo de medida. Em tal figura observa-se que a tremulação apresenta uma frequência típica, f_{ip} , que está intimamente relacionada com a maneira com a qual a lâmpada é alimentada. Por outro lado, a correspondente forma de onda reflete, de maneira indireta, o mecanismo de emissão de luz para uma dada condição de alimentação.

Seguindo a definição usualmente disponível na literatura (POPLAWSKI, 2013), a porcentagem de tremulação, δ , pode ser calculada via a expressão:

$$\delta = \frac{V_{pp}}{2V_{av}} \times 100\% \quad (1)$$

onde V_{pp} é a amplitude do sinal alternado atribuído à tremulação, lido na saída do circuito-sensor conforme indicado na Figura 1b, e V_{av} é a tensão média, ou offset, presente na saída desse circuito. Em todas as medidas observou-se que V_{pp} situou-se na faixa entre 10 a 500 mV, sendo isto muito inferior ao offset que se manteve em torno de 4,8 V. Sendo assim, para melhor visualizar o sinal devido a tremulação, optamos por configurar a entrada do osciloscópio em modo corrente alternada (acoplamento AC).

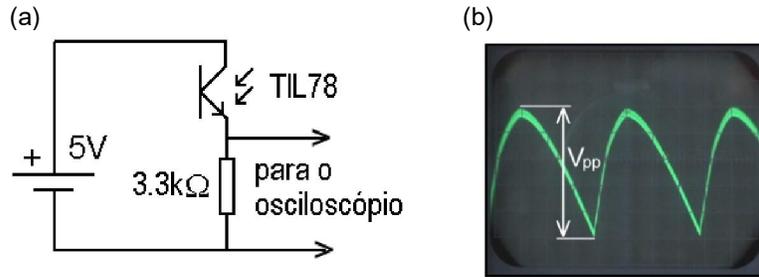


Figura 1. (a) Diagrama esquemático do circuito empregado nas medidas de tremulação. (b) Exemplo de oscilograma obtido nas medidas de tremulação. IFBA, 2017.

Para as medidas de iluminância, L_n , empregou-se um luxímetro digital, modelo Minipa MLM-1011 (MINIPA, 2010), sendo seu sensor posicionado a 50 cm da fonte luminosa. Os espectros de emissão foram obtidos via um espectrômetro portátil Vernier modelo SpectroVis, em conjunto com o software Logger-Pro, operando na faixa comprimentos de onda de 400 nm até 700 nm, correspondendo a faixa de luz visível (VERNIER, 2016). Cabe salientar que tal intervalo de comprimentos de onda é inteiramente compatível com a utilizada para as medidas de iluminância através do luxímetro.

Resultados e Discussão:

A Tabela 1 mostra um sumário dos resultados obtidos para quatro tipos de lâmpadas usualmente encontradas no mercado. Todas as lâmpadas foram alimentadas pela rede de tensão alternada, sendo $V_{AC} = 214$ V. A potência, P , é calculada de forma rudimentar, via o produto das leituras da tensão de alimentação pela corrente consumida pela lâmpada ($P = V_{AC} \times I_{AC}$). Adicionalmente, o coeficiente de eficiência, ϵ_f , é calculado via o quociente L_n/P . Em uma primeira análise, observamos que os valores de potência obtidos são razoavelmente similares aos correspondentes valores nominais. Além disso, tal como esperado, os valores obtidos para o coeficiente ϵ_f indicam que, em ordem crescente de eficiência, temos as lâmpadas incandescentes, fluorescentes, halógenas e LEDs.

Tabela 1. Principais resultados obtidos para os quatro tipos de lâmpadas testadas. IFBA, 2017.

Tipo de lâmpada / Potência nominal	I_{AC} (mA)	L_n (lx)	P (W)	ϵ_f (lx/W)	V_{pp} (mV)	δ (%)	f_{tip} (Hz)
Incandescente / 40 W	181	166	38,73	4,28	12,4	0,13	119,9
Fluorescente / 11 W	42	274	8,99	30,48	480	5,00	119,0
Halógena / 50 W	202	1920	43,23	44,41	10,6	0,11	120,2
LED / 6,5 W	19	374	4,07	91,98	12,4	0,13	49140,0

A Figura 2a mostra o espectro de emissão da lâmpada incandescente, onde para efeitos de comparação foi incluído o espectro da luz solar (linha pontilhada). Como podemos ver, as lâmpadas incandescentes emitem um espectro contínuo, muito similar a um corpo negro (EISBERG, 1979). A luz emitida apresenta uma maior abundância na região do vermelho e baixas intensidades no azul e no violeta. Adicionalmente, podemos perceber que uma parte muito significativa do espectro situa-se em comprimentos de onda acima de 700 nm, ou seja, na região do infravermelho. Isso justifica a baixa eficiência desse tipo de lâmpada para aplicações em iluminação. Na Figura 2b é mostrado o oscilograma correspondente a flutuações na intensidade da luz emitida, sendo tal tremulação devida à variação periódica na temperatura do filamento. Esta variação apresenta uma frequência de aproximadamente 120 Hz, ou seja, igual ao dobro da frequência da rede de alimentação alternada.

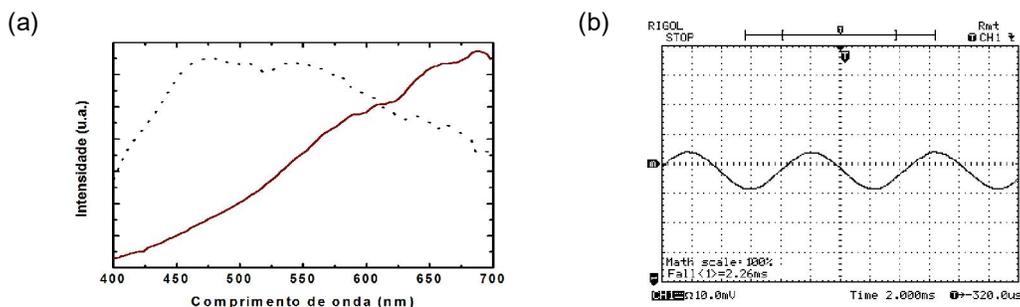


Figura 2. (a) Espectro de emissão de uma lâmpada incandescente. A linha pontilhada ilustra o espectro da luz solar. (b) Oscilograma da tremulação dessa lâmpada. IFBA, 2017.

Na Figura 3 são mostrados o espectro de emissão e o oscilograma de tremulação correspondente a uma lâmpada fluorescente compacta, tipicamente encontrada no mercado. O espectro mostra uma sobreposição de raias de emissão, características tanto do gás como do revestimento fluorescente. Essas características são típicas de lâmpadas de descarga em gás. O espectro apresenta baixa intensidade na faixa do vermelho, intensidades superiores no azul, e raias intensas no verde e amarelo. O oscilograma da Figura 3b

mostra um sinal de intensidade consideravelmente superior às demais lâmpadas testadas, com uma frequência de 120 Hz. Assim como a forma de onda, tal frequência é resultado do acionamento proporcionado pelo chamado “reator eletrônico”, geralmente encapsulado na base da lâmpada. Exemplos desses circuitos de acionamento podem ser encontrados facilmente em diversas bibliografias, e são basicamente constituídos de um circuito de chaveamento que aciona a lâmpada a cada meio ciclo da rede de alimentação (NETTO, 2011). Como visto, o rendimento dessa categoria de lâmpadas é bem superior às incandescentes, mas com uma tremulação elevada.

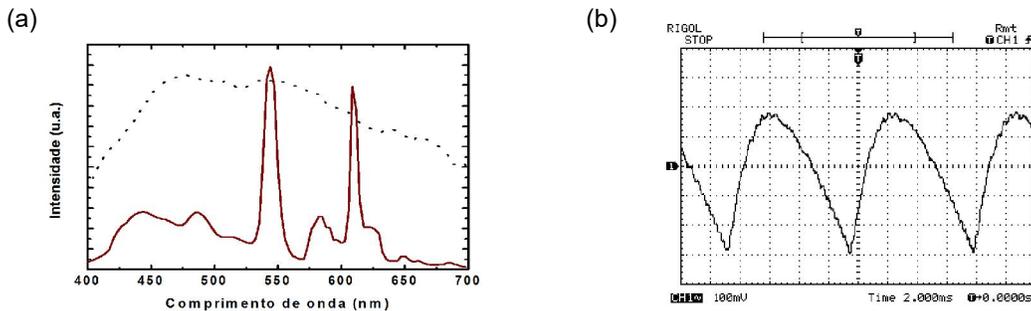


Figura 3. (a) Espectro de emissão de uma lâmpada fluorescente. A linha pontilhada ilustra o espectro da luz solar. (b) Oscilograma da tremulação dessa lâmpada. IFBA, 2017.

Na Figura 4 temos o espectro de emissão e o oscilograma de tremulação correspondente a uma lâmpada halógena. Novamente, temos um espectro contínuo, com grande abundância na faixa do vermelho ao verde, e intensidades reduzidas no azul e violeta. Apesar de seu rendimento ser superior as lâmpadas incandescentes, é notável que boa parte da radiação emitida deva situar-se na faixa do infravermelho. Cabe ainda salientar que a tremulação das lâmpadas halógenas possui características muito similares às apresentadas pelas incandescentes.

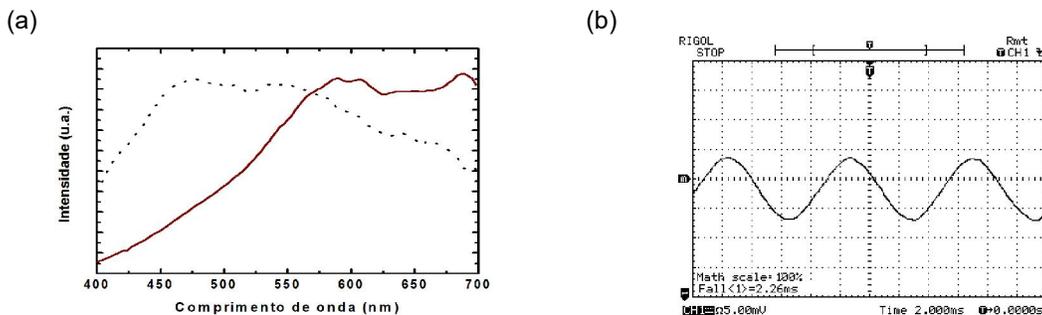


Figura 4. (a) Espectro de emissão de uma lâmpada halógena. A linha pontilhada ilustra o espectro da luz solar. (b) Oscilograma da tremulação da lâmpada. IFBA, 2017.

O tipo de lâmpada de maior eficiência foi a LED, tendo sido testado as duas versões mais comuns disponíveis no mercado, a branca fria (5000 K) e a amarelada (3000 K). Os espectros de emissão de ambos os tipos são mostrados na Figura 5a. Como esperado, a diferença mais proeminente entre eles está entre as intensidades de azul e amarelo. Ambas as versões apresentam espectros contínuos. Na LED branca fria temos uma maior intensidade de emissão nas faixas do azul e do verde, enquanto na amarelada o pico de emissão fica evidentemente no amarelo. De fato, comparando os espectros de emissão de todas as lâmpadas testadas com o espectro da luz solar (ver linha pontilhada), constatamos que a LED branca fria (ver linha contínua) é a que mais se aproxima deste. A tremulação, cujo oscilograma é mostrado na Figura 5b, representa uma variação de luminosidade compatível com a lâmpada incandescente. Contudo, sua frequência característica é muito superior, aproximadamente igual a 49 kHz. Isso ocorre devido ao modo com que esta categoria de lâmpada é acionada. Nos modelos testados tais lâmpadas são controladas por um circuito regulador de corrente do tipo “buck”, o integrado MT7812 (MAXICTECH, 2015), instalado na base do soquete, como mostrado na Figura 5c. Segundo alguns especialistas, uma frequência de tremulação mais elevada deveria ser mais confortável, principalmente para portadores de epilepsia fotossensível (AZEVEDO, 2012). Portanto, além da eficiência energética das lâmpadas LED, elas se mostram mais recomendadas sob o aspecto de tremulação.

Conclusões:

No presente trabalho trouxemos uma avaliação concisa das lâmpadas tipicamente empregadas em iluminação residencial. As avaliações efetuadas indicam que as lâmpadas LED possuem a maior eficiência seguidas, em ordem, pelas halógenas, fluorescentes e incandescentes. Destaca-se que, excetuando-se as lâmpadas LED, todas as demais apresentam uma tremulação com frequência igual ao dobro da rede de alimentação alternada, sendo as lâmpadas fluorescentes as que mostram maior flutuação de intensidade. Além do aspecto relativo à eficiência energética, as lâmpadas LED apresentam uma tremulação com frequência muito superior e um espectro de emissão que melhor se aproxima da luz solar.

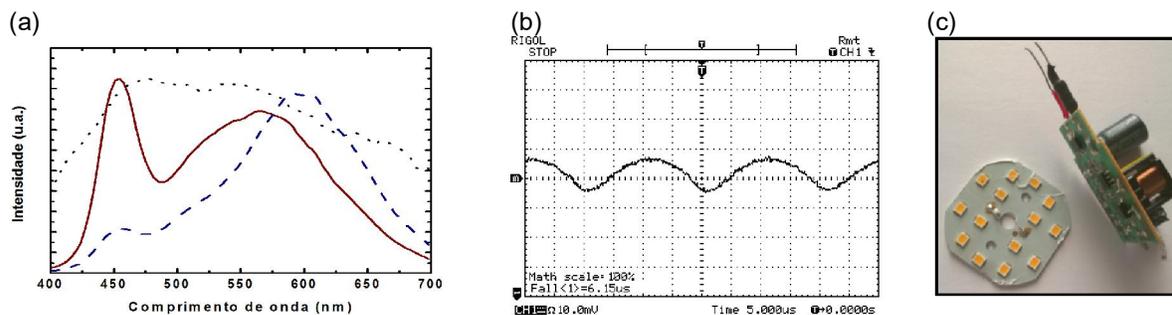


Figura 5. (a) Espectro de uma lâmpada LED branca fria (5000 K – linha contínua) e de uma amarelada (3000 K – linha tracejada). A linha pontilhada indica o espectro de emissão solar. (b) Oscilograma da tremulação característica dessas lâmpadas. (c) Circuito controlador de corrente instalado na base da lâmpada e o arranjo de LEDs típico. IFBA, 2017.

Finalizando, cabe mencionar que os presentes resultados devem ser vistos como oriundos de um estudo comparativo, ou seja, não absoluto, que evidencia o fato de que lâmpadas fluorescentes apresentam uma tremulação significativamente superior aos demais tipos.

Referências bibliográficas

AZEVEDO, Izabela Galletti de. **Estudo de caso:** a influência da iluminação para o epiléptico fotossensível. 5ª Edição nº 005 Vol.01/2013. Goiânia: Revista Especialize On-line IPOG, 2012.

EISBERG, Robert M. **Fundamentos de Física Moderna**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1979.

MAXICTECH. **MT7812:** High Efficiency High Precision Buck Constant Current Driver. [S.l.:s.n], 2015. Disponível em: <http://www.maxictech.com/uploads/soft/201502/1_10122629.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.

MINIPA ELECTRONICS. **Manual de Instruções:** Luxímetro digital MLM-101. 2ª edição revisada. São Paulo: Minipa do Brasil Ltda, 2010.

NETTO, Luiz Ferraz. **Geradores de Alta Tensão**. [S.l.:s.n], FEIRADECENCIAS, 2011. Disponível em: <http://www.feiradecencias.com.br/sala15/15_37c.asp>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. [S.l.:s.n], 2010. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2018.

POPLAWSKI, Michael; MILLER, Naomi. **Flicker in Solid-State Lighting:** Measurement Techniques, and Proposed Reporting and Application Criteria. Portland, USA: Pacific Northwest National Laboratory, 2013.

VERNIER. **Vernier SpectroVis Plus Spectrophotometer**. Beaverton, USA: Vernier Software & Technology, 2016. Disponível em: <<https://www.vernier.com/files/manuals/svis-pl/svis-pl.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.

WIKIPÉDIA. **Electric Light**. [S.l.:s.n], 2018. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_light>. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.