

Avaliação de placas de circuito impresso para módulos de LED

Rating the printed circuit board for LED modules

Jean Carlos Strutz¹, Caio Maba¹, Ricardo Kratz¹.

¹Centro Universitário SENAI Blumenau

*Correspondente: jcs@edu.sc.senai.br

Resumo

O presente trabalho mostra um estudo realizado em módulos de LED aplicados à iluminação em geral. Descreve os tipos de material das placas de circuito impresso e a metodologia para avaliar o desempenho dos módulos de LED, levando em consideração o custo para produção e quais dos materiais obtiveram melhores desempenhos fotométricos. Neste estudo, também são apontadas as características mecânicas das placas de circuito impresso utilizadas, bem como as características elétricas da configuração de ligação dos LEDs. Na sequência, apresentam-se as metodologias utilizadas para a realização das medições fotométricas dos módulos de LED e os equipamentos utilizados para tais medições e, ao final, os resultados da análise entre material base, desempenho fotométrico e custo x benefício, alcançados por meio das medições fotométricas, da depreciação luminosa e do custo de fabricação dos modelos, concluindo que o material composite possui melhor relação custo-benefício, apresentando menor custo e melhor desempenho fotométrico.

Palavras-chave: módulos LED; depreciação; material base; tipos de PCIs.

Abstract

The current work will show a study over LED modules applied in general lighting. This study will present the types of printed circuit boards and the methodology to evaluate the performance of the LED modules, taking into consideration the production cost and the one that will present the best photometric performance. The mechanical characteristics of the used printed circuit boards will be presented, as well as the electrical characteristics of the LED connections setup. In sequence, it will be presented the methodology that was adopted to perform the photometric measurement of the LED modules, as well as the equipments that were adopted to do such measurements. At the end, the results of the analysis are presented between base material, photometric performance and cost vs. benefit through results of photometric results, luminous depreciation and the models manufacturing cost

Keywords: LED modules; LED depreciation; PCB types.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia LED tem propiciado significativa ascensão no seu uso em áreas de iluminação diversas. De 2011 para 2014, registrou-se um aumento de 4 milhões de unidades para 25 milhões, considerando residências, indústrias e iluminação pública (FREITAS, 2015). Outro indicador desse avanço são as publicações das portarias do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, de número 389, de 25 de agosto de 2014 e portaria de número 144, de 13 de março de 2015, destinadas a normatizar um padrão de qualidade para os produtos em ascensão.

Para o mercado consumidor nacional, dois fatores caminham lado a lado: qualidade e custo. A qualidade é um fator cujos requisitos mínimos são apontados pelas portarias de nº 389/2014 e nº 144/2015 do Inmetro, mencionadas anteriormente. O fator custo, entretanto, tem uma relação inversamente proporcional ao fator qualidade. Produtos para iluminação com tecnologia LED para o mercado brasileiro têm essa relação extremamente estreitada, ocasionando a necessidade de um padrão de qualidade para os principais produtos de iluminação. Dessa forma, as portarias publicadas passam a regulamentar esses padrões de qualidade.

O mercado notou a necessidade de regularizar os produtos considerados o “presente e o futuro da iluminação”, visto que o número de materiais sem qualidade e que não respeitam as normas técnicas vigentes é preocupante (MATTOS, 2015).

Diante dessas observações, constata-se que o desenvolvimento de produtos utilizando tecnologia LED deve atender as exigências de qualidade regulamentadas, bem como as exigências do mercado consumidor. Dessa

forma, a análise do material utilizado para fabricar módulos de LED propicia o estudo de produtos que possam ser desenvolvidos com qualidade e a um custo reduzido.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos após a análise de placas de circuito impresso utilizadas como estrutura para fabricação de módulos de LED. Essa análise foi feita por meio da monitoração da temperatura, do fluxo luminoso e depreciação luminosa. Ao final, é apresentada a relação custo-benefício entre esses materiais.

O trabalho aqui descrito inicia-se com a apresentação das características elétricas dos módulos de LED e das características mecânicas. Na sequência, são apresentados o modelo do LED utilizado no módulo, bem como os equipamentos de medição utilizados, detalhando as características da esfera integradora, do multiphotometro PHOTO 2000J e da fonte de tensão WY305, todos do fabricante Everfine.

Por fim, tem-se a apresentação dos resultados dos ensaios realizados nos módulos, com duração de 4300 horas, contemplando o histórico da depreciação luminosa e a relação custo-benefício para cada tipo de módulo.

2. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Nesta seção, são apresentados os módulos de LED, com suas características físicas, mecânicas, elétricas e térmicas.

2.1 Módulos de LED - características elétricas

O módulo de LED é composto pela placa de circuito impresso e pelos componentes eletrônicos. É composto por 47 LEDs, em um arranjo série/paralelo, conforme apresentado pela Figura 1 a seguir, e um diodo para prote-

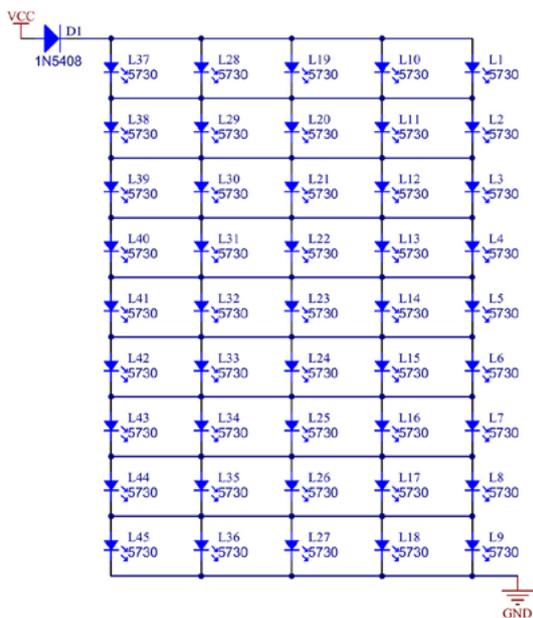
ção contra ligação invertida de alimentação.

A opção da configuração de ligação dos LEDs com nove componentes conectados em série, em que cada série está em paralelo com mais quatro séries, foi motivada por um estudo apresentado pelo fabricante Osram publicado por (HOFMANN, 2013; MURUGESU, 2011), e também por encontrarem-se, no mercado, inúmeras fontes com os níveis de tensão e corrente utilizados para fornecer alimentação necessária ao módulo de LED. Esses níveis de tensão e corrente, são:

Corrente de saída: 750mA

Tensão de saída: $\approx 28V_{cc}$

Imagem 01 - Arranjo de LEDs

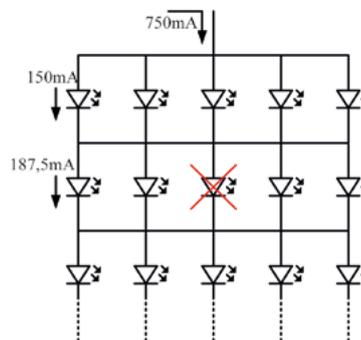


Fonte: do Autor (2016)

Este arranjo de ligação apresentado na Figura 1 tem como equilibrar o potencial em cada linha, oferecendo algumas características vantajosas. São elas:

Caso haja a falha de um LED, a série deste LED não se apagará por completo, sendo alimentada pela corrente proveniente dos LEDs em paralelo ao falhado, conforme representado pela Figura 2.

Imagem 02 - Falha de um LED no módulo



Fonte: do Autor (2016)

O terminal de dissipação de calor do LED, denominado *slug*, que é conectado ao anodo, terá uma área de dissipação maior. Caso contrário, no *Layout* da PCI, deveria ser providenciada uma pequena área de isolamento entre cada LED.

Homogeneidade na queda de tensão em cada LED.

Maior facilidade para o desenvolvimento e menor susceptibilidade a defeitos na fabricação da PCI.

Os LEDs utilizados são do fabricante Honglitrionic, com *Part Number*: HL-A-5730D42W-S1-HR1. O componente pode ser visto na Figura 3.

Imagem 03 - LED 5730 da Hoglitrionic



Fonte: Honglitrionic¹(2016)

1 Disponível em: <http://en.honglitrionic.com/en>. Acesso em: 28 set. 2016.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais características elétricas e fotométricas do componente.

Tabela 1 - Características elétricas do LED 5730

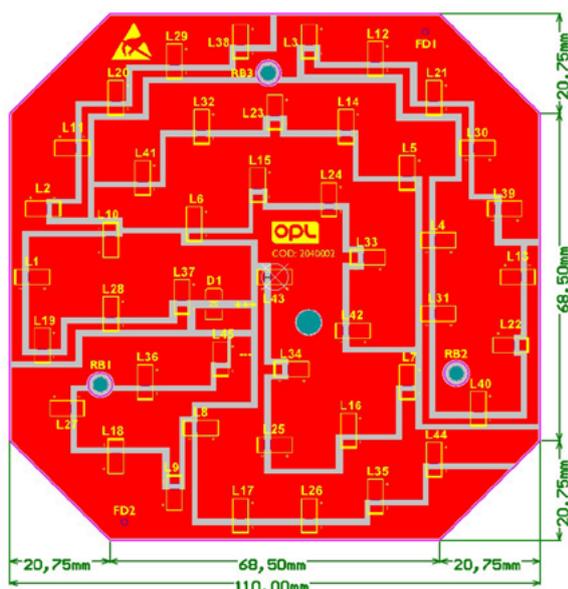
PARÂMETROS	VALOR	UNIDADE
Tensão Direta [Vf]	3,2	Vcc
Potência Dissipada [Pd]	500	mW
Corrente Direta [If]	150	mA
Max. Corrente Direta. [Ifm]	200	mA
Tipo de lente	Amarelo difuso	
Intensidade luminosa (Iv)	17,3	cd
Fluxo luminoso (Φ)	53	lm
Ângulo de abertura	120	graus

Fonte: Honglitronic (2016)

2.2 Módulos de LED – Características mecânicas

Para a apresentação das características mecânicas, a Figura 4 a seguir ilustra uma imagem do layout do módulo de LED, confeccionado no formato hexagonal, nas dimensões de 110mm X 110mm.

Imagem 04 - Módulo de LED

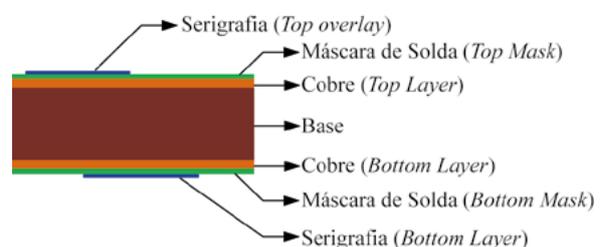


Fonte: do Autor (2016)

As áreas em vermelho indicam a área de cobre, que é conectada ao terminal *slug* de dissipação do LED, assim como também fazem a interligação entre os componentes. Os pontos circulares em cinza são furações para fixação e passagem dos fios de alimentação. As partes tracejadas em claro representam a isolamento entre as áreas de cobre.

Quanto à construção da PCI, tem-se, na Figura 5, um desenho que representa um corte transversal de uma placa de circuito impresso de dupla face.

Imagem 05 - Corte transversal de uma PCI



Fonte: do Autor (2016)

Onde:

- Serigrafia: camada utilizada para informações pertinentes ao circuito eletrônico, como, por exemplo, informações adicionais do circuito e indicações dos componentes R1, C4, U2.

- Máscara de solda: camada de tinta aplicada para proteção contra oxidação da área de cobre da PCI, deixando à mostra somente as partes de cobre utilizadas como ponto de solda.

- Cobre: camada de cobre com espessura predeterminada pelo projetista, obedecendo apenas às limitações do fabricante. Sua principal função é de ser responsável pela ligação dos terminais dos componentes.

- Base: material que serve como base de apoio e sustentação das placas de circuito impresso.

2.2.1 Modelos de PCIs utilizados

As características das PCIs utilizadas para análise de melhor desempenho deste artigo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Diferença entre os módulos

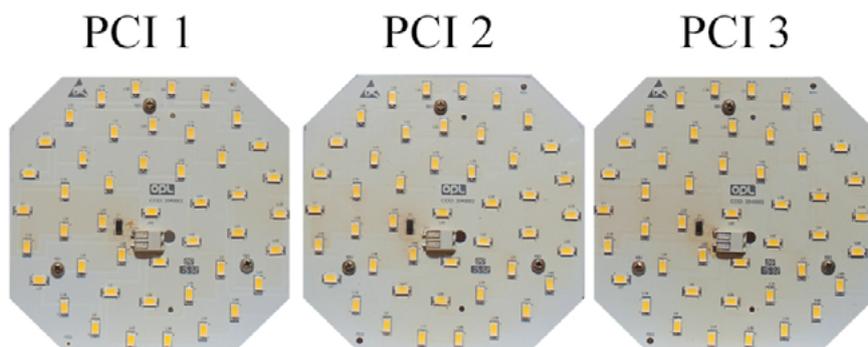
	PCI 1	PCI 2	PCI 3
Tipo de base	Composite	Fibra de vidro	Fibra de vidro
Espessura da base [mm]	1,6	1,6	0,8
Dupla face	Não	Sim	Sim

Fonte: do Autor (2016)

Para os modelos de PCI com dupla face, o lado oposto aos componentes é coberto totalmente por cobre, representando uma malha de cobre, porém sem ligação elétrica e sem máscara de solda. Essa técnica foi adotada considerando que o cobre tem mais capacidade de dissipação térmica com o ar que quando

comparado com o próprio material base das PCIs.

Na Figura 6 são apresentados os três módulos utilizados para a realização dos ensaios, e a composição de cada PCI está de acordo com a Tabela 2.



Fonte: do Autor (2016)

Nas imagens acima, é possível notar que em ambos os módulos existem regiões que apresentam manchas em sua coloração, provenientes do efeito térmico causado pelo calor produzido pelos LEDs. Essas manchas são um indicativo de que algumas das regiões do módulo operam com maior aquecimento que outras.

Para avaliação do rendimento luminoso desses módulos, essas manchas não representam informações valiosas. Para tal, é necessário realizar uma medição do fluxo luminoso, a qual, por sua vez, é apresentada no item a seguir.

3. ENSAIOS REALIZADOS

Esta seção apresenta os equipamentos utilizados para realização das medições de fluxo luminoso, os resultados das medições e uma relação custo-benefício entre os módulos estudados.

3.1 Equipamentos e Medições

Para realização dos ensaios luminotécnicos, foram utilizados uma esfera integradora com dois metros de diâmetro, o multiphotometro PHOTO 2000J e a fonte de tensão WY, todos do fabricante Everfine. Resumidamente, a esfera integradora em conjunto com o multiphotometro é utilizada para medir o fluxo luminoso de uma fonte luminosa. A Figura 7 apresenta o equipamento utilizado. Já a fonte de tensão é uma fonte de tensão contínua, com ajuste da tensão e corrente de saída, resolução de 100uV e 10uA, utilizada para fornecer a corrente de 750mA, necessária para alimentar os módulos de LED.

Imagem 07 - Equipamentos de medição



Esfera Integradora



Fonte WY305



Multiphotometro

Fonte: Everfine (2016)²

Para a realização das medições dos módulos de LED, foram utilizados os padrões de medições apresentados a seguir:

2 Disponível em: www.everfine.net. Acesso em: 28 set. 2016.

Dentro da esfera integradora, os módulos foram colocados apontando o fecho luminoso para baixo, e a uma altura de um metro do perímetro interno da esfera.

Temperatura ambiente de 25 °C.

Corrente de alimentação do módulo em 750mA.

Medição do fluxo luminoso cinco minutos após alimentação do módulo.

A primeira medição realizada, denominada de zero hora, ocorreu 30 minutos após a realização da alimentação do módulo; a partir deste momento, os módulos permaneceram ligados continuamente até atingir 4300 horas ligadas. E as medições intermediárias foram realizadas conforme apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Medições Fluxo Luminoso

HORAS	0	200	500	700	900	1200	1560	1752	2040	2500	3000	4300
PCI 1	2008	2037	2068	2010	2010	1975	1893	1872	1845	1729	1650	1507
PCI 2	1925	1939	1954	1903	1900	1876	1794	1759	1729	1646	1547	1367
PCI 3	1946	1957	1969	1921	1915	1881	1816	1785	1758	1644	1551	1376

Fonte: do Autor (2016)

Com os dados obtidos nos 12 intervalos de medições realizados, é possível calcular a depreciação para cada intervalo, considerando como base de cálculo para a depreciação a medição em zero hora. Como exemplo para o cálculo da depreciação, é considerado que o fluxo luminoso em 0 (zero) hora é igual a 100%, tornando a medição do fluxo lumino-

so em 500 (quinhentas) horas o fator seguinte para determinar se há um aumento no fluxo luminoso (depreciação negativa) ou se há uma diminuição no fluxo luminoso (depreciação positiva).

Como exemplo de cálculo, pode-se utilizar a equação abaixo para calcular a depreciação da PCI1 em 500 (quinhentas) horas:

$$PCI (500H) = \left(\frac{\text{Fluxo Lum. } 0h}{\text{Fluxo Lum. } 500h} - 1 \right) * 100 = \left(\frac{2008}{2068} - 1 \right) * 100 = -2,9\%$$

O resultado desta equação é adicionado ao percentual de 100% inicial em 0 (zero) hora.

Os resultados são apresentados na Tabela 4. Nela é possível observar que nas primeiras medições realizadas houve um acréscimo no fluxo luminoso, proporcionado pelas características dos LEDs.

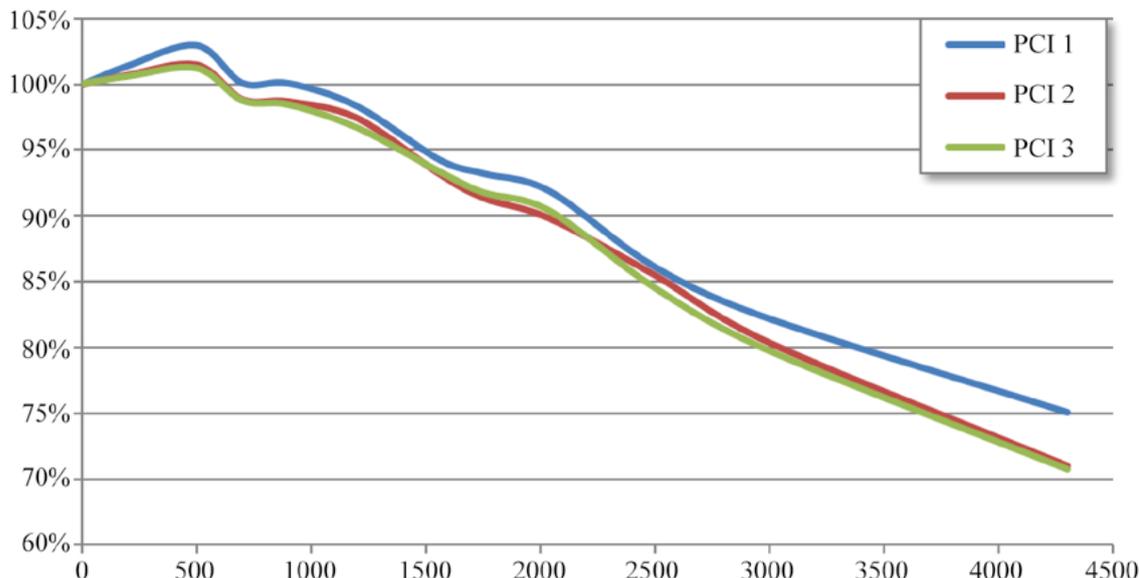
Tabela 4 - Depreciação do Fluxo Luminoso

HORAS	0	200	500	700	900	1200	1560	1752	2040	2500	3000	4300
PCI 1	100%	101%	103%	100%	100%	98%	94%	93%	92%	86%	82%	75%
PCI 2	100%	101%	102%	99%	99%	97%	93%	91%	90%	86%	80%	71%
PCI 3	100%	101%	101%	99%	98%	97%	93%	92%	90%	84%	80%	71%

Fonte: do Autor (2016)

Com os dados contidos na Tabela 4, apresenta-se as curvas de depreciação na Figura 8.

Imagem 08 - Curvas de depreciação



Fonte: do Autor (2016)

De acordo com a Portaria Inmetro n.º 478, de 24 de novembro de 2013, o tempo de operação transcorrido sobre o qual a luminária LED irá manter a porcentagem da iluminação de saída inicial é denominado de “Vida nominal da manutenção do fluxo luminoso”. Duas são as categorias denominadas, L_{80} e L_{70} , sendo a segunda opção mais adotada pelos fabricantes. Considerando a segunda opção, isso quer dizer que a vida útil de uma lâmpada LED terá seu final de vida quando atingir 70% da sua iluminação de saída inicial.

Sendo assim, observando novamente o gráfico da Figura 8, tem-se a conclusão de que todas as PCIs seriam classificadas dentro dos padrões L_{70} , podendo ser declaradas com 4000 horas úteis, com a PCI 1 apresentando o melhor resultado.

3.2 Relação Custo x Benefício

Cada fabricante de PCI se caracteriza por se especializar em determinadas linhas de placas de circuito impresso, placas em MCPCB, multi-layer, alta precisão, entre outras características. Para a análise da relação custo x benefício, obteve-se cotações com diversos fabricantes, entretanto são apresentados neste estudo os valores do fabricante com menor custo médio. Para obter o valor custo x benefício, faz-se o valor unitário de fabricação do módulo dividido pelo percentual de depreciação a 4300h, conforme apresentado pela seguinte equação:

$$\text{Custo x Benefício} = \frac{\text{Valor Unitário}}{\text{Depreciação Fluxo 4300h}}$$

A Tabela 5 mostra o custo por peça para um lote de fabricação de 100 unidades, bem

como a relação custo x benefício.

Tabela 5 - Valor unitário e custo x benefício

PCI	MATERIAL	VALOR UNITÁRIO	CUSTO X BENEFÍCIO
1	Composite (CEM) 1,6mm	R\$ 5,28	7,04
2	Fibra dupla face (FR4) 1,6mm	R\$ 6,20	8,73
3	Fibra dupla face (FR4) 0,8mm	R\$ 6,48	9,16

Fonte: do Autor (2016)

Os valores obtidos da relação custo x benefício indicaram que o material base FR4 0,8mm apresentou o pior resultado, devido ao custo do material ser o mais elevado, motivado pelo fato de ser um material de pouco giro no mercado. Apresentando um resultado mediano, tem-se o material FR4 1,6mm. E com melhor custo-benefício, dentre os materiais analisados tem-se o CEM 1,6mm, com o resultado proporcionado devido ao composite ter grande giro no mercado, igualando-se ao FR4 1,6mm, porém apresentando menor custo de aquisição, fazendo com que o composite seja o mais indicado para utilização em módulos de LED, quando comparado à Fibra FR4.

4. CONCLUSÃO

A motivação para este estudo comparativo deu-se pelo fato de que quando é desenvolvido um produto com a combinação “LED” X “baixo custo” X “qualidade”, o tipo de material utilizado para produção da PCI se torna significativa. Caso a prioridade fosse a qualidade, as placas com base em alumínio, conhecidas como MCPCB, seriam utilizadas, entretanto, afetariam consideravelmente o quesito “baixo custo”. Salienta-se que o LED não é item de comparativo para este trabalho, e que a motivação por utilizar o modelo 5730

foi por ser um dos mais comuns no mercado e-com grande escala de produção na China, competindo com o modelo 2835.

Quanto aos modelos PCI 2 e PCI 3 que foram fabricados com a face oposta à dos componentes, totalmente coberta pelo laminado de cobre, esperava-se que esta característica auxiliaria na dissipação de calor. Entretanto, o benefício de ter um auxílio da dissipação do calor é ofuscado pelo material base das PCIs, formado pela Fibra de Vidro, amplamente utilizado para isolamento em fornos.

A PCI 1 não teve sua face oposta coberta pelo laminado de cobre, por não ser possível fabricar PCIs com dupla face e material base em composite.

Pelos estudos apresentados, é possível visualizar claramente que a PCI 1, fabricada com material base de composite, apresentou melhores resultados, tanto de custo, quanto de melhor desempenho luminoso.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. **Portaria Nº 144, de 13 de março de 2015**. Seção 1, p. 95. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/88014658/dou-secao-1-17-03-2015-pg-95>. Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. **Portaria Nº 389, de 25 de agosto de 2014**. Seção 1, p. 119. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/75589247/dou-secao-1-27-08-2014-pg-119>. Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. **Portaria Nº 477, de 24 de setembro de 2013**. Seção 1, p. 78. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/59637231/dou-secao-1-27-09-2013-pg-78>. Acesso em: 29 nov. 2016.

EVERFINE. **Site**. 2016. Disponível em: www.everfine.net. Acesso em: 28 set. 2016.

FREITAS, L. LED: A tecnologia do presente. **Lumière Electric**, São Paulo, ed. 207, p.60-64, jul. 2015. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/embed/view/W2XVi-V2RuQFFxfWL>. Acesso em: 20 out. 2016.

HOFMANN, M. Comparison of LED Circuits.

Osram, 2013. Disponível em: http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00102505_0.pdf/Comparison. Acesso em: 09 set. 2016.

HONGLITRONIC. **Site**. 2016. Disponível em: <http://en.honglitrionic.com/en/index.aspx>. Acesso em: 02 out. 2016.

MATTOS, W. Aperfeiçoando a qualidade. **Lumière Electric**, São Paulo, ed. 209, p.44-49, set. 2015. Disponível em:

<https://www.yumpu.com/en/document/view/54460439/lumiere-electric-209/4>. Acesso em: 12 set. 2016.

MURUGESU, M. Current Distribution in Parallel LED Strings. **Osram**, 2011. Disponível em:

https://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2010/05/AppGuideCurrentDistributioninParallelLEDStrings.Web_.pdf. Acesso em: 11 set. 2016.