

METODOLOGIA DE PROJETO PARA LUMINÁRIAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA BASEADA NA ANÁLISE FOTOMÉTRICA

Fernanda Braz Mendes

Graduanda do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria
femendes.eng@gmail.com

Vitor Cristiano Bender

Pós-Graduando do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria
bender@gedre.ufsm.br

Tiago Bandeira Marchesan

Professor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria
tiago@gedre.ufsm.br

Resumo. Neste trabalho, é proposto um método ótico para resolver um problema de distribuição luminosa de luminárias de iluminação pública (IP). Com esse método é possível calcular o fluxo luminoso da luminária LED pela altura de montagem, otimizando a iluminância e a luminância com o uso de lentes, garantindo que os padrões nacionais de iluminação pública sejam respeitados. No exemplo, é analisada uma luminária LED de IP de 75W.

Palavras-chave: Iluminação pública. LED. Lentes.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os diodos emissores de luz (LEDs) estão ganhando muito interesse para IP, uma vez que podem fornecer uma elevada eficácia luminosa (mais de 150lm/W), longa vida útil (50-100kh), alto índice de reprodução de cores (IRC 70-90), confiabilidade e economia de energia (RODRIGUES, ALMEIDA, *et al.*, 2011). No Brasil, a iluminação pública conta com 3% do total de consumo de eletricidade (9,7 bilhões kWh/ano), com mais de 15 milhões de pontos de luz (PROCEL, 2011). Recentemente, com o aumento da eficácia da tecnologia LED, eles são bons candidatos a substituir lâmpadas de descarga de alta pressão (HID), como exemplo as lâmpadas

de sódio de alta pressão (VSAP), que são largamente usadas para iluminação pública.

Devido ao baixo fluxo luminoso de apenas um LED, comparado com uma única lâmpada VSAP, é necessário integrar vários LEDs em uma mesma luminária para alcançar o fluxo luminoso equivalente. (MAGGI, COSTA, *et al.*, 2012).

O presente trabalho propõe um método para definir o fluxo luminoso proveniente de LEDs para IP. O método compreende na escolha do LED, lentes e *driver* para um projeto completo de luminária. O objetivo é alcançar a uma luminária que esteja de acordo com a norma (ABNT-NBR-5101, 2012).

2. LUMINÁRIAS DE IP

A maioria dos LEDs apresenta uma distribuição luminosa simétrica, tipicamente com 120° de ângulo de abertura e dirigido do centro para frente da via. A principal tarefa na elaboração de luminárias é conseguir uma correta distribuição da luz na via. A norma brasileira para iluminação pública fornece valores de referência para iluminância, luminância e uniformidade na via de acordo com a classificação apresentada em tabelas da própria NBR 5101 (ABNT-NBR-5101, 2012). Para a análise de uma luminária na via é utilizado o eixo de coordenadas (C, γ) , como mostra a Fig. 1.

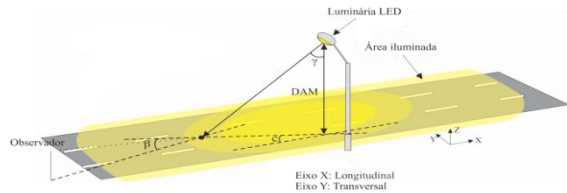


Figura 1. Sistemas de coordenadas (C,γ).

A intensidade da luz para cada ângulo de abertura (γ) e o ângulo horizontal (C) pode ser calculada com a altura de montagem (DAM) através de:

$$I(C, \gamma) = \frac{DAM^2 E_{min}}{\cos^3(\gamma)} \text{ para } 0 < \gamma < \gamma_{max}(C) \quad (1)$$

Usando as coordenadas (C,γ) na Eq. (1) é possível calcular qualquer intensidade luminosa para todos os ângulos C de 0° a 360°, juntamente com seu γ equivalente. Assim, empregando arranjos matemáticos apresentados em Bender, Mendes, *et al.* (2013) e usando a Eq. (2) pode-se calcular o fluxo luminoso:

$$F_C = 2\pi \sum_{\gamma=0}^{175} I_{med} \left(\gamma + \frac{5}{2} \right) [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + 5)] \quad (2)$$

A equação (2) prevê o valor calculado do fluxo luminoso (F_C) necessário para a via, ignorando perdas. Quando as perdas são consideradas, o fator de perda de luz (FPL) é usado. O FPL é utilizado para quantificar a depreciação da luminária (IESNA, 2000). Quatro fatores apresentam impacto predominante sobre o FPL para luminárias de LED: O Fator de Depreciação do LED (FDL), Fator de Depreciação por Sujeira (FDS), Eficiência da Luminária (η_L), e ainda o Fator de Utilização (FU). O fator de E/F é uma relação entre a visão escotópica e fotópica. Logo FPL é dado pela Eq. (3):

$$FPL = FDL \cdot FDS \cdot \eta_L \cdot FU \quad (3)$$

Assim, o fluxo luminoso total da luminária pode ser calculado pela Eq. (4):

$$F_T = \frac{F_C}{FPL \cdot E/F} \quad (4)$$

3. METODOLOGIA DE PROJETO

A abordagem matemática mostrada na seção 2 pode ser organizada em um algoritmo, como mostra a Fig. 2.

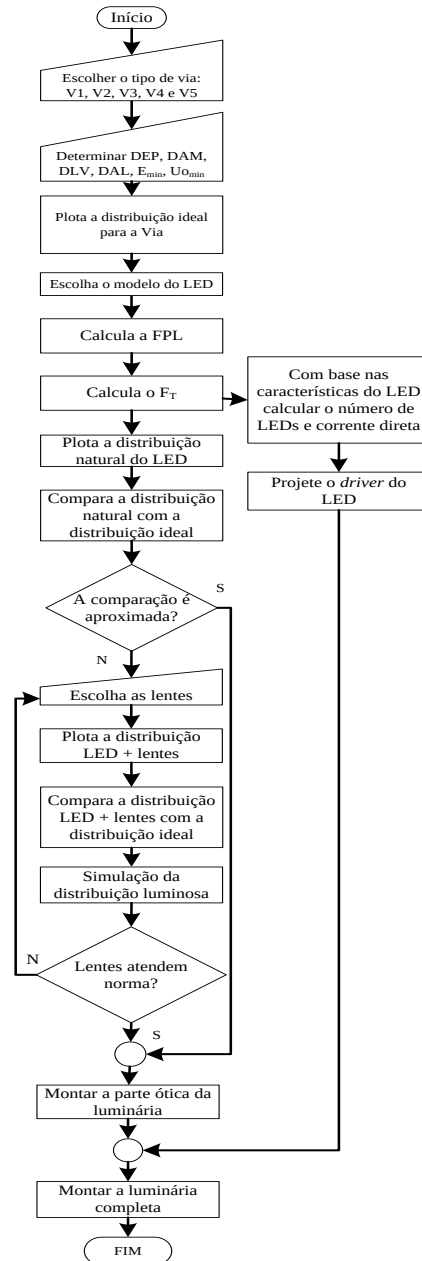


Figura 2. Algoritmo de projeto da luminária.

A metodologia integra o uso de diagramas polares para verificar a distribuição de luz. Dessa forma, o projetista escolhe primeiramente o tipo de via, logo, são fornecidos os parâmetros para o cálculo do fluxo luminoso e é plotada a distribuição ideal da luz. Após, é escolhido o modelo de

LED, e assim é calculado o FPL. Com o modelo, o número e a corrente direta, é possível projetar o *driver* do LED. É plotada a distribuição natural e comparada com a ideal, se o resultado deste teste é aproximado, o LED não precisa de lentes, e da rotina vai para a montagem da luminária. Caso contrário, é necessário escolher um tipo de lente. O próximo passo é plotar a distribuição da luz LED + lentes e comparar com a distribuição ideal. Depois disso, é realizada a simulação da distribuição luminosa, com *freewares* (por exemplo, Dialux, Relux e radiante). Com os resultados da simulação, é possível verificar se a luminária está de acordo com os requisitos da norma. Enquanto uma configuração ideal de LED + lente não for encontrada, lentes diferentes são testadas até que os requisitos da norma sejam atingidos. Por último ocorre a montagem completa da luminária.

4. EXEMPLO DE UMA LUMINÁRIA

Esta seção apresenta um exemplo de uma luminária de IP LED utilizada para verificação da metodologia. O exemplo considera uma via Tipo V5, com as características obtidas da NBR 5101.

Utilizando os valores da Tabela 1 e as Eq. (1), (2), (3) e (4), o diagrama polar de distribuição ideal é obtido, como mostra a Fig. 3(a). O LED escolhido para esta aplicação foi o modelo Philips Luxeon Rebel LXML-PWC1 (LUMILEDS, 2012).

Baseado no procedimento de ensaio proposto pela IES LM-80, a manutenção do fluxo luminoso para este LED foi em torno de $F_{DL}=0,8$. A eficiência de lentes tem um valor de $\eta_L=0,85$ e considerado um $FU=0,7$. Em seguida, o valor encontrado usando a Eq. (3) é $FPL=0,38$.

Com a Eq. (4), é possível calcular o fluxo luminoso total $F_T = 3341$ lm, considerando as perdas e um fator E/F de 1,13 (CIE 191, 2010). A distribuição natural do LED é apresentada na folha de dados do dispositivo e caracteriza uma distribuição luminosa concentrada em um ponto. Comparando essa distribuição com uma

distribuição ideal, conclui-se a necessidade da utilização de lentes para melhorar a distribuição da luz.

As análises foram realizadas com lentes da Hong Xuan. Alguns tipos de lentes foram testados, mas a lente HX-73 apresentou os melhores resultados. A distribuição luminosa da lente é dada pelo fabricante na folha de dados do produto (XUAN).

Comparando a distribuição da lente com a distribuição ideal, percebe-se resultados semelhantes. Quando as lentes são testadas juntamente com os LEDs obtêm-se uma distribuição, como mostra a Fig. 3(b).

Usando esta distribuição, a simulação foi realizada no software DIALux. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 1 e na Fig 4.

A determinação do número de LEDs necessários para alcançar os resultados desejados é baseada no modelo de LED, corrente e temperatura da junção. A corrente

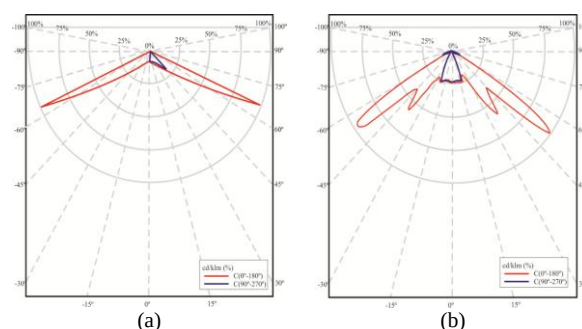


Figura 3. Diagrama polar de distribuição (a) Ideal para uma V5 (b) LED com a lente

Tabela 1. Resultados da simulação do LED com a lente HX-73

Via	Simulado			Norma NBR 5101		
	$E_{méd}$	$E_{mín}$	$U_{mín}$	$E_{méd}$	$E_{mín}$	$U_{mín}$
V5	7 lux	1,45 lux	0,208	5 lux	1 lux	0,2

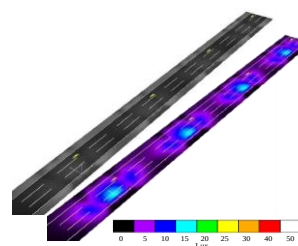


Figura 4. Simulação da distribuição da luz do LED com a lente na via

direta considerada para o LED escolhido foi de 700 mA e uma temperatura da junção estimada de 85°C. Com estas características, são necessárias 24 LEDs para atingir o fluxo luminoso total, resultando em 3.401 lumens.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para a verificação experimental, o teste foi montado com uma grelha de medição de iluminâncias, de acordo com a NBR 5101. A distribuição espacial de iluminância para a luminária LED é mostrada na Fig. 5.

Observando a Fig. 5(a), pode ser percebido o alto nível de luz sob a luminária, o que é indesejável. Na Fig. 5(b), a luz é mais bem distribuída ao longo da via, e está em acordo com os requisitos da norma.

Estes resultados apresentam as melhorias alcançadas pelo uso de LED e lentes em aplicações de IP, comparando com lâmpadas VSAP, que são necessárias 97W (lâmpada e reator) para atingir o nível de iluminância, sendo que com LEDs pode-se alcançar resultados satisfatórios com potência total de 72W (LEDs + *driver*) (DOE, 2008).

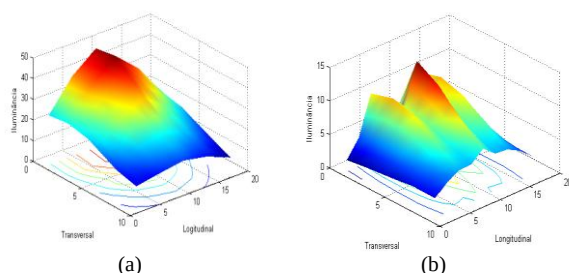


Figura 5. Distribuição espacial da iluminância (a)sem lentes e (b)com lentes

6. CONCLUSÃO

A metodologia de projeto de luminárias proposta é baseada em uma análise matemática, considerando conceitos e requisitos fotométricos. Inicialmente calcula-se o fluxo luminoso necessário para atingir o nível de iluminância exigido pela NBR 5101 para a via desejada. Foi proposto um algoritmo para fornecer o projeto completo da luminária, juntamente com um exemplo de uma luminária, utilizando a

análise matemática em conjunto com resultados gráficos e simulação para comprovação da metodologia.

Apesar de uma luminária de LED com 30 LEDs ter sido utilizada nos testes experimentais, a metodologia indica que são necessários apenas 24 LEDs para alcançar o nível de iluminância desejado. Com os resultados da simulação e experimentais é demonstrado que, com base no nível de iluminância, e com uma análise fotométrica, é possível projetar uma luminária com o número correto de LEDs e com as características necessárias do *driver*.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT-NBR-5101. Iluminação Pública - Procedimento, 2012. 35 p.
- BENDER, V. C. et al. Design methodology for street lighting luminaires based on a photometrical analysis, Maio 2013.
- CIE 191. Technical Report: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance, 2010.
- DOE. LED Application Series: Outdoor Area Lighting. United States Department of Energy. 2008.
- IESNA. The IESNA Lighting Handbook. 9. ed., 2000.
- LUMILEDS, General Purpose White Portfolio - Technical Datasheet DS64. Philips Lumileds, 2012. Disponível em: <www.philipslumileds.com/>. Acesso em: 17 Maio 2013.
- MAGGI, T. et al. Estudo do fluxo luminoso necessário para Luminárias de Iluminação Pública de LEDs. XIX CBA, 2012.
- PROCEL. Iluminação Pública no Brasil. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2011.
- RODRIGUES, C. R. B. S. et al. An experimental comparison between different technologies arising for public lighting, IEEE International Symposium on 2011. 141-146.
- XUAN, H. Product Datasheet HX-73 Lens. Optic-pov. Disponível em: <www.optic-pov.com/>. Acesso em: Abril 2013.