

ILUMINAÇÃO COM LEDS NO CES-JF CAMPUS ACADEMIA

Jéssica de L.A. Magalhães¹
Nathalia N. Souza²
Nicole Silveira³
Paulo V.L. Pires⁴
Pedro H.S. Coelli⁵
Fernando J. Nogueira⁶

RESUMO

Este trabalho tem como objeto principal a elaboração de um projeto luminotécnico empregando diodos emissores de luz (ou LEDs) em áreas do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF) - Campus Academia. São abordados os conceitos básicos em relação a teoria de LEDs, mostrando suas principais vantagens e desvantagens. É apresentada uma metodologia de projeto luminotécnico para instalação de luminárias LED em um ambiente interno (sala de aula) e em áreas externas (via de trânsito carroçável, calçada e estacionamento) baseando-se na norma de iluminação de ambientes internos NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho e na norma de ambientes externos NBR 5101: Iluminação Pública. Tal estudo ampara-se em simulações por meio de software computacional e ensaios práticos realizados nas áreas sob avaliação. Por fim, é realizado um estudo comparativo entre o antigo sistema de iluminação (que empregavam lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão) com o proposto, empregando luminárias LED.

Palavras-chave: Diodos emissores de luz. Eficiência energética. Projeto Luminotécnico.

1 INTRODUÇÃO

O combate ao desperdício de energia e a eficiência energética são assuntos cada vez mais recorrentes no cenário mundial. A busca por tecnologias eficientes em termos de utilização da energia elétrica tem sido

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica no CES-JF. E-mail: jessica.magalhaes@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Elétrica no CES-JF. E-mail: nathaliasouza@hotmail.com

³ Graduanda em Engenharia Elétrica no CES-JF. E-mail: nicoledealmeidasilveira@outlook.com

⁴ Graduando em Engenharia Elétrica no CES-JF. E-mail: paulovpires@hotmail.com

⁵ Graduando em Engenharia Elétrica no CES-JF. E-mail: pedrocoelli@hotmail.com

⁶ Doutor em Engenharia Elétrica. Professor do CES-JF. E-mail: fernandonogueira@cesjf.br

motivada por questões de natureza econômica e ambiental, visando o desenvolvimento sustentável. Os sistemas de iluminação artificial representam um grande potencial de economia de energia elétrica. Estima-se que cerca de 30% de toda a energia elétrica gerada no mundo atualmente, seja utilizada para a produção de iluminação artificial (POLONSKII & SEIDEL, 2008). Portanto, alternativas para a redução do consumo de energia elétrica em sistemas de iluminação são de suma importância, já que podem produzir significativos impactos econômicos e ambientais.

O uso dos diodos emissores de luz (LEDs) na iluminação tem representado um grande avanço tecnológico nos últimos anos. Os LEDs, que inicialmente eram usados apenas para sinalização, tiveram um rápido desenvolvimento com os LEDs de potência de luz branca, possibilitando sua utilização para iluminar ambientes internos e externos. Diversos estudos recentes apontam para a utilização dos LEDs em sistemas de iluminação (RODRIGUES, 2012; SALES, 2011, ALMEIDA et al., 2011; NOGUEIRA, 2013). A elevada eficácia luminosa, longa vida útil, fácil controle sobre a intensidade luminosa, capacidade de emissão de luz branca, além do ótimo índice de reprodução de cores, são fatores que contribuem para a aplicação desta tecnologia em iluminação pública. Porém, um dos mais significativos benefícios que possivelmente decorrerão da utilização em larga escala de LEDs para a iluminação é a diminuição do consumo de energia.

Este trabalho propõe um projeto de iluminação com LEDs em ambientes internos e externos do CES-JF Campus Academia. Será realizada uma avaliação do atual sistema de iluminação de acordo com as normas NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho (ABNT, 2013) e NBR 5101: Iluminação pública (ABNT, 2012), e proposto um novo projeto luminotécnico com auxílio do software Dialux.

2 REFERENCIAL TEÓRICO: DIODOS EMISSORES DE LUZ

Os diodos emissores de luz, ou LEDs, são semicondutores constituídos por dois materiais diferentes, que formam uma junção do tipo PN, que permite fluxo de corrente em apenas uma direção. Se a junção PN é polarizada diretamente, as lacunas na camada P e os elétrons da camada N movem-se em direção à região de depleção, que é a área de transição entre os materiais P e N. Perto dessa região, a recombinação de elétrons e lacunas gera energia que é liberada sob a forma de fótons de luz (BULLOUGH, 2003). A Figura 1 mostra uma representação simplificada da estrutura física e do processo de emissão de luz em um LED.

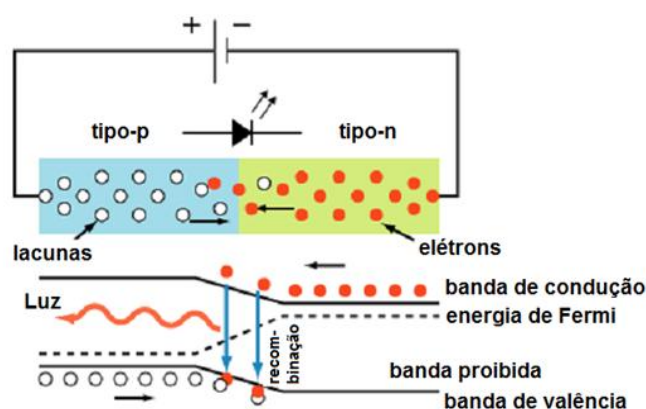


Figura 1: Representação do comportamento físico de um LED (ALMEIDA, 2012).

Os LEDs aplicados em iluminação pública são divididos em dois grupos: LEDs de alto brilho e LEDs de potência. Os LEDs de alto brilho são aqueles que trabalham em baixos níveis de potência (correntes nominais típicas de 20 mA). Já os LEDs de potência, são aqueles que trabalham em elevados níveis de potência (correntes nominais típicas de 300 mA até 1,5A). Os LEDs de potência possuem maior fluxo luminoso e eficácia luminosa do que os LEDs de alto brilho (RODRIGUES 2012), sendo os mais indicados para aplicação em iluminação. Estes dois tipos de LEDs são mostrados na Figura 2.



Figura 2: Dois tipos de LEDs (a) LED de alto brilho e (b) LED de Potência (NOGUEIRA, 2013).

Outra característica do LED é o fato de este operar com baixos níveis de tensão e corrente, não havendo a necessidade do uso de um ignitor para o seu acionamento como no caso das lâmpadas de descarga. A alimentação dos LEDs é feita através de um circuito eletrônico de acionamento (ou *driver*). Este dispositivo é responsável por ajustar os valores de tensão e corrente da rede elétrica alternada, para os níveis contínuos dos arranjos de LEDs (conjunto de LEDs associados). O *driver* também é responsável por manter a corrente no LED de forma constante e no nível adequado, a fim de evitar variações no fluxo luminoso emitido e diminuição da vida útil do LED.

A eficácia luminosa do LED é uma propriedade para se destacar nas aplicações de iluminação em geral. Nos últimos anos, com as inúmeras pesquisas realizadas nessa área, a eficácia luminosa do LED tem aumentado consideravelmente, chegando a atingir a marca de 150 lm/W (DUPUIS & KRAMES, 2008). A Figura 3 mostra a evolução da eficácia luminosa dos LEDs em comparação com outras fontes de luz.

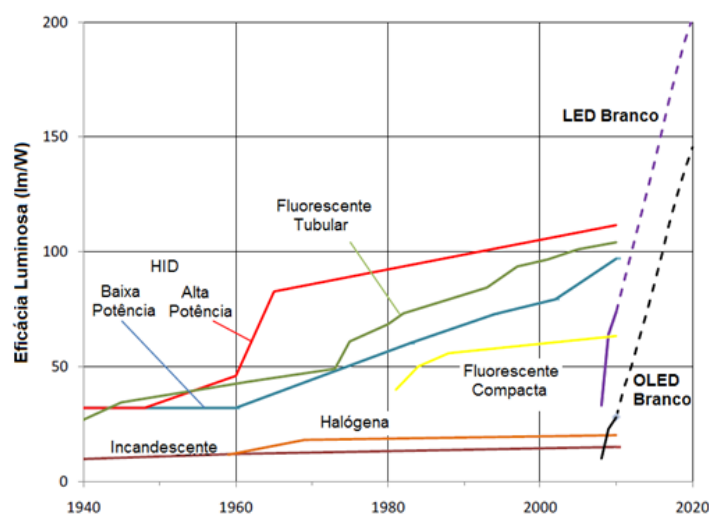


Figura 3: Evolução paralela da eficácia luminosa de diversas fontes de iluminação (U.S. DOE, 2012).

Outra particularidade dos LEDs refere-se à sua vida útil, que atualmente é de 50.000h e com projeções de chegar até 100.000h no futuro, o que reduziria os gastos com manutenção dos sistemas de iluminação (LAUBSCH *et al.*, 2010). Segundo ALBERTINI (2010), a determinação da vida útil dos LEDs é feita com base no tempo em que seu fluxo luminoso atinge 70% do fluxo inicial, o que pode variar para cada tipo de LED em função das características do encapsulamento e das condições em que estiver operando.

A maneira de se obter luz branca nos LEDs é mostrada na Figura 4. Consiste na utilização de LEDs monocromáticos azuis recobertos com camadas de fósforo amarelo, o que provoca a emissão da luz branca (SCHUBERT, 2006). Estes LEDs são conhecidos como PC-LEDs (do inglês *Phosphor Converter* LEDs). Os LEDs são construídos com pastilhas semicondutores que emitem luz azul (nitretos de gálio/índio-gálio – GaN/InGaN), e possuem uma cobertura de um fósforo especial, que possui pico de excitação próximo ao pico de emissão do semicondutor do LED azul, e reemite parte da radiação em comprimentos de onda maiores (deslocamento de Stokes), em torno de 550 nm.

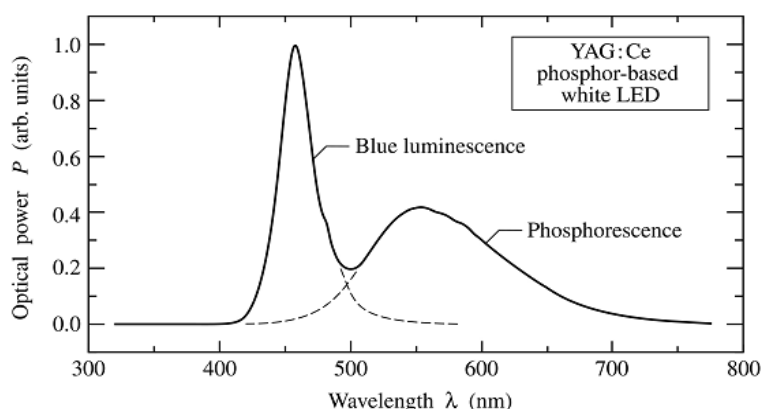


Figura 4: Método de produção de luz branca por PC-LEDs (SCHUBERT, 2006).

Portanto, a iluminação à base de LEDs causa mudanças no conceito de iluminação. Isso ocorre porque não existe uma única fonte luminosa emitindo fluxo luminoso para todos os lados, e sim um conjunto de LEDs emitindo fluxo luminoso de forma direcionada, com auxílio de todo o aparato óptico que compõe a luminária LED, como lentes, colimadores e refletores. Este direcionamento do fluxo luminoso dos LEDs causa a diminuição da poluição luminosa e uma distribuição mais eficiente. Outras vantagens das luminárias LED para iluminação pública, segundo (RODRIGUES, 2012) são:

- Elevado índice de reprodução de cores;
- Design livre adaptado para diferentes ambientes;
- Segurança (alta resistência a impactos e tensão reduzida no LED diminui danos com acidentes elétricos);
- Longa vida útil;
- Redução dos custos de manutenção (devido à elevada vida útil);
- Luz branca com diversidade de Temperatura Correlata de Cor;
- Luz colorida de alta eficiência e saturação (LEDs RGB);
- Fonte de luz com menor nível de componentes tóxicos (ausência de mercúrio);
- Partida e religamento instantâneos, sem afetar a vida útil dos LEDs;
- Possibilidade de dimerização e telegerenciamento;

- Possuem *drivers* com elevado fator de potência e reduzida distorção harmônica;
- Maior eficiência luminosa (relação entre o fluxo luminoso gerado e o fluxo luminoso que sai da luminária);
- Estreita faixa de emissão de luz (não produz radiação infravermelha e ultravioleta);
- Ser uma tecnologia não saturada, com grande potencial de desenvolvimento.

Como desvantagens da aplicação dos LEDs podem-se mencionar o custo, a necessidade de um sistema de dissipação bem projetado e a necessidade de um circuito eletrônico de acionamento para manter a corrente nos LEDs constante, circuito este mais complexo e de menor vida útil do que os reatores eletromagnéticos comumente utilizados em iluminação pública.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é detalhada a seguir:

3.1 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE PROJETO

Entre as diversas áreas disponíveis dentro do Campus Academia do CES, foram escolhidas áreas que fizessem uma representação significativa do sistema de iluminação interno e do sistema de iluminação externo.

Para representar a área interna, foi escolhida uma sala de aula típica do prédio da Academia (233), que possui uma dimensão de 7,8m x 8,16m. Tal sala é utilizada tipicamente para aulas de graduação no período noturno. Nessa área, a iluminação é realizada tipicamente por lâmpadas fluorescentes tubulares.

A área externa foi definida a partir de um trecho representativo da via de trânsito carroçável (6,6m), que também possui uma calçada (1,8m) e uma espaço destinada a estacionamento de veículos (4,5m). Nessa área, foi observado um posteamento unilateral com distância média de 22m entre os postes. A iluminação é realizada predominantemente por lâmpadas de vapor

de sódio em alta pressão, com pontos isolados de lâmpadas de vapor de mercúrio.

3.2 CONFORMIDADE COM AS NORMATIVAS NBR 8995-1 E NBR 5101

Normas técnicas são documentos que têm por finalidade fixar padrões e um nível mínimo de qualidade de produtos e serviços. Nesta seção são apresentadas as normas utilizadas na elaboração do projeto luminotécnico proposto.

A normativa utilizada como referência para projetos luminotécnicos em ambientes internos é a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013 Iluminação em ambientes de trabalho. Esta é a principal norma brasileira referente aos requisitos mínimos de iluminação de interiores. Trata-se de uma atualização da NBR 5413 de 1992 e fixa os requisitos mínimos necessários para a iluminação artificial de interiores de determinados ambientes baseados no tipo de atividade exercida. Tal norma pode ser aplicada em projetos de iluminação de interiores, independente do tipo de fonte luminosa.

A norma NBR 5101 é a principal norma brasileira referente aos requisitos do sistema de iluminação pública no Brasil, sendo aplicada em ambientes externos. Esta norma teve sua última revisão publicada em 2012 e baseia-se em documentos da IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) como a RP-8 – *Roadway Lighting*.

A norma NBR 5101 fixa os requisitos mínimos necessários para a iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar segurança aos tráfegos de pedestres e veículos, visando também a eficiência energética.

Assim como a norma NBR 8995-1, a norma NBR 5101 pode ser aplicada a qualquer sistema de iluminação externo, inclusive aqueles que empregam equipamentos com LEDs, uma vez que a norma fixa níveis mínimos de iluminância, luminância e uniformidade nas vias de trânsito de veículos e pedestres independentemente do tipo da fonte de luz.

3.3 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

A equipe responsável pela elaboração deste estudo tomou a precaução inicial de avaliar cuidadosamente a atual situação da iluminação das salas de aula e do trecho externo, representado por uma via de trânsito de veículos, estacionamento e calçada de pedestres.

Os ambientes definidos para avaliação foram analisados do ponto de vista da iluminância média e uniformidade. A iluminância média, E_{med} , é dada pela média aritmética da iluminância medida em cada um dos pontos estabelecidos, conforme (1):

$$E_{med} = \frac{\sum_{n=1}^k E_n}{k}, \quad (1)$$

sendo que E_n é a iluminância medida em um dado ponto, n , da malha de medição e k é o número total de pontos. A uniformidade é definida como a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média.

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}}, \quad (2)$$

sendo que E_{min} é a iluminância mínima das medições realizadas na malha.

O ambiente interno (sala de aula), tem os requisitos mínimos de iluminância e uniformidade encontrados diretamente na norma de iluminação de interiores NBR 8995-1. Tal norma preconiza que salas de aulas, no qual aulas são lecionadas em períodos noturnos, a iluminância média seja de pelo menos 500 lux, enquanto a uniformidade seja de pelo menos 0,6.

A norma ABNT NBR 5101 para iluminação pública preconiza que as vias públicas sejam iluminadas de acordo com a classificação do tipo de via e fluxo de veículos.

A Tabela 1 define a classificação do volume de tráfego de veículos motorizados em vias públicas. Em relação ao volume de tráfego de veículos, a via externa em estudo é classificada como Leve (L).

Tabela 1: Tráfego motorizado (ABNT, 2012).

Classificação	Volume de tráfego noturno ^a de veículos por hora, em ambos os sentidos ^b , em pista única
Leve (L)	0 a 500
Médio (M)	501 a 1 200
Intenso (I)	Acima de 1 200

Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h.
Valores para velocidades regulamentadas por lei.

A Tabela 2 define a classe de iluminação para cada tipo de via para tráfego de veículos. Em relação às classes de iluminação, a via de trânsito interno do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora - Campus Academia é classificado como V5.

Tabela 2: Classes de iluminação para cada tipo de via (ABNT, 2012).

Descrição da via	Classe de iluminação
<i>Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; Auto-estradas:</i>	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
<i>Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo:</i>	
Volume de tráfego intenso	V1
Volume de tráfego médio	V2
<i>Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de</i>	

interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado:

Volume de tráfego intenso	V2
Volume de tráfego médio	V3
Volume de tráfego leve	V4

Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial:

Volume de tráfego médio	V4
Volume de tráfego leve	V5

A Tabela 3 define a iluminância média mínima e o fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação para as vias de tráfego de veículos.

Tabela 3: Requisitos mínimos de iluminância média e uniformidade para cada classe de iluminação.

Classe de iluminação	Iluminância média mínima $E_{med,mín}$ lux	Fator de uniformidade mínimo $U_o = E_{mín}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Logo, é possível definir que a via de tráfego de veículos do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – Campus Academia deve possuir uma iluminância média mínima de 5 lux e um fator de uniformidade mínimo de 0,2.

3.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO NOVO PROJETO DE ILUMINAÇÃO COM LEDS POR MEIO DO UTILITÁRIO DIALUX

O estudo apresentado neste item optou por adotar o utilitário DIALUX (<http://www.dial.de/DIAL/en/>), da empresa DIAL GmbH, como software padrão de simulação computacional de iluminação.

O DIALUX é um software gratuito e reconhecido internacionalmente como padrão profissional para projetos de iluminação, sendo adotado pelos maiores fabricantes de luminárias do mundo. Empresas como GE, Philips, Schröder, Simón, entre outras, recomendam e reconhecem os resultados gerados pelo DIALUX.

O arquivo eletrônico de fotometria (IES) utilizado para se efetuar as simulações foram os cedidos pelos fabricantes das luminárias LED a serem utilizadas no projeto.

Nas simulações realizadas, o fator de manutenção foi ajustado para 0,80, pois buscou-se levar em consideração a depreciação do fluxo luminoso dos LEDs no final da vida útil das luminárias. Maiores detalhes de como ajustar o fator de manutenção, levando-se em consideração o fator de depreciação de fluxo luminoso dos LEDs, podem ser encontrados em (MAGGI, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DO ATUAL SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTERNO

A avaliação do atual sistema de iluminação de interiores em estudo foi realizada experimentalmente, medindo-se a iluminância média e uniformidade da sala de aula em questão. Tal sala possui 9 luminárias, com um total de 18 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W. A dimensão dessa sala é de 7,6m x 8,16m, sendo as luminárias penduradas em um cabo a uma altura de aproximadamente 4 metros. Como visto anteriormente, em salas que são lecionadas aulas durante o período noturno, a iluminância média mínima e uniformidade mínima devem ser, respectivamente, 500 lux e 0,6 (ABNT, 2013).

A grade de medição foi construída a partir das recomendações presentes na norma NBR 8995-1, e a quantidade de pontos de medição é obtido a partir da expressão (3):

$$p=0,2x5^{\log_{10}d} \quad (3)$$

Sendo que:

- p é o tamanho da grade expresso em metros (m);
- d é a maior dimensão da superfície de referência expressa em metros (m);
- n é o número de pontos de medição na sala.

O número de pontos (n) é então estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação (4):

$$n = \frac{d}{p} \quad (4)$$

Para a sala de aula em questão, com $d=8,16\text{m}$, a expressão (3) resulta em uma grade p igual a $0,87\text{ m}$. Portanto, a partir da relação (4), é possível concluir que a grade de medição deve possuir 9 pontos.

A Figura 5 mostra a distribuição desses pontos na sala de aula em estudo. Já os resultados das medições, realizadas com um luxímetro Minipa MLM1011, são mostrados na Tabela 4.

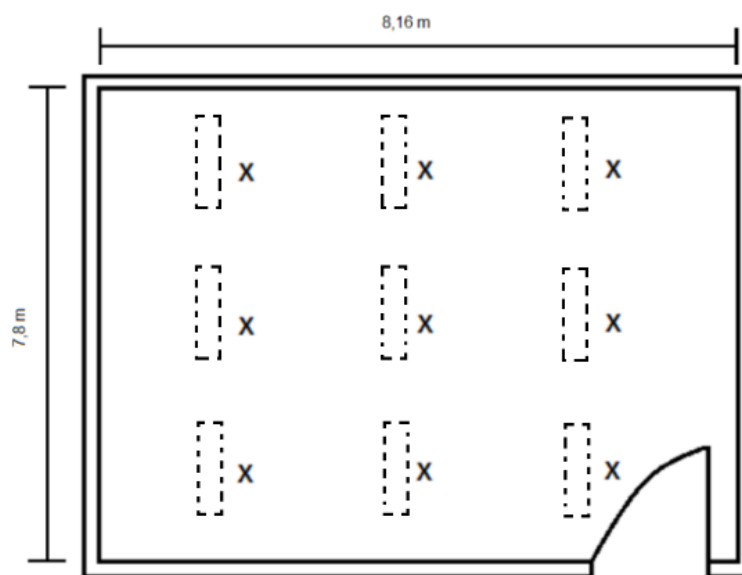


Figura 5: Método de produção de luz branca por PC-LEDs (Fonte: Autor).

Tabela 4. Valores de medição da área interna (Lux).

226	247	273
227	241	230
215	227	223

As medições foram realizadas na altura de trabalho (mesa da carteira escolar). O valor da iluminância média (E_{med}) obtido a partir de (1) foi de 232,4 lux, enquanto a uniformidade calculada a partir de (2) foi de 0,9. Portanto, é possível notar que o atual sistema não está em conformidade com os requisitos mínimos de iluminância média.

4.2 AVALIAÇÃO DO ATUAL SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXTERNO

Assim como na avaliação anterior, o atual sistema de iluminação externo foi avaliado experimentalmente a partir das medições de iluminância média e uniformidade. O trecho em questão é representado por uma via de trânsito de veículos de 6,6m, um estacionamento de 4,5m e uma calçada de 1,8m. O posteamento é unilateral, com um vão médio de 24m. A altura das luminárias é de aproximadamente 7 metros, com uma inclinação estimada em 10 graus e um avanço de 2,1m em relação ao poste.

A Figura 6 mostra a malha de inspeção desses parâmetros para a via em questão, construída a partir da norma de iluminação pública NBR 5101.

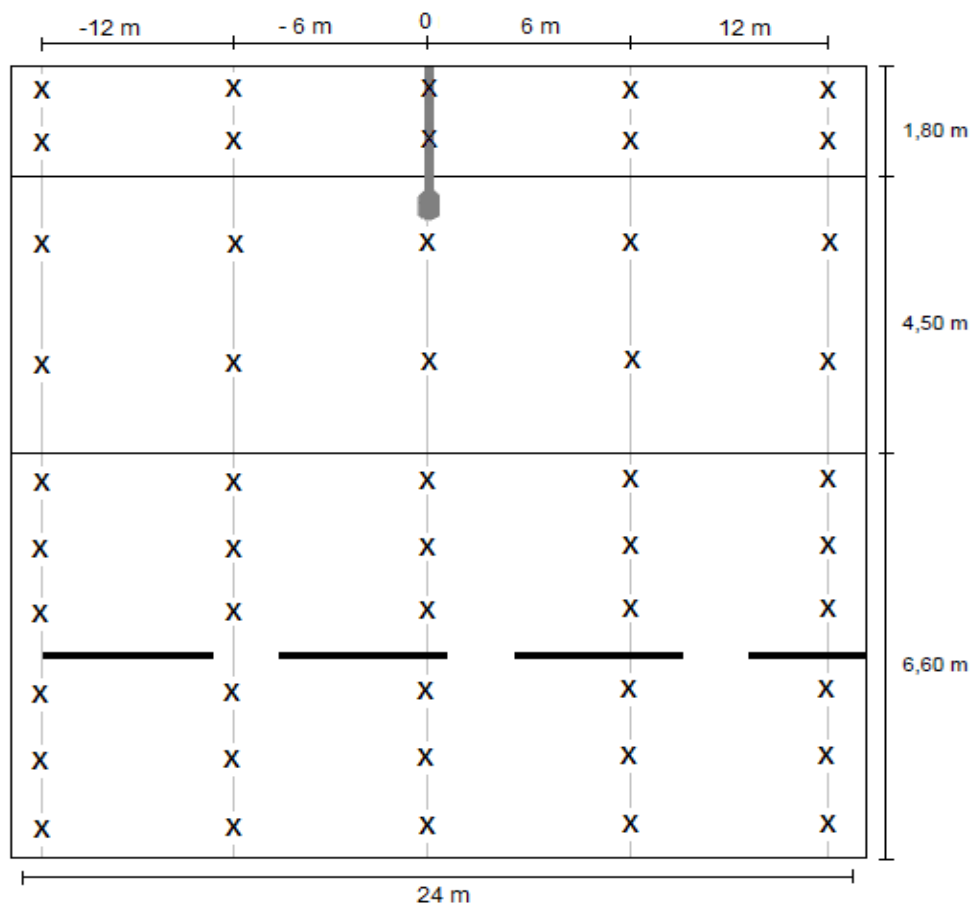


Figura 6: Malha de inspeção da área externa em estudo (Fonte: Autor).

Nota-se que o posicionamento da malha foi adaptado de forma a se obter os resultados em um trecho com três luminárias, sendo uma luminária posicionada no centro da malha de inspeção e duas luminárias adjacentes. A luminária do centro e a da direita possuíam lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão, enquanto a da esquerda era uma lâmpada de vapor de mercúrio. Os resultados das medições, realizadas com um luxímetro Minipa MLM1011, são mostrados na tabela 5.

Tabela 5: Valores obtidos experimentalmente na medição da área externa (Lux).

Calçada	6	33	105	29	4
	6	36	120	33	5
Estacionamento	10	40	120	37	16

	13	38	100	36	15
Via de trânsito de veículos	12	37	70	30	16
	11	33	57	30	16
	10	28	40	25	13
	10	25	36	25	13
	9	33	25	20	11
	8	16	20	15	10

A iluminância média e uniformidade encontradas na via de trânsito de veículos foram de 23,46 lux e 0,34. Já na calçada e no estacionamento, as iluminâncias médias medidas foram, respectivamente, 37,7 lux e 42,5 lux, enquanto as uniformidades foram de 0,1 e 0,23. Nota-se que, nesse caso, o sistema de iluminação externo está em conformidade com a norma NBR 5101 no quesito de iluminância média, por ter obtido valores maiores do que 5 lux, porém não está em conformidade com o quesito de uniformidade na calçada, por ter obtido um valor menor do que 0,2.

4.3 RESULTADOS DE SIMULAÇÃO EMPREGANDO LEDS NO AMBIENTE INTERNO

Para a simulação do ambiente interno, foram utilizadas 9 lâmpadas Tubo LEDs da empresa brasileira Intral, cujo modelo é o HO Branco Frio. A curva de emissão luminosa dessa lâmpada é mostrada na Figura 7.

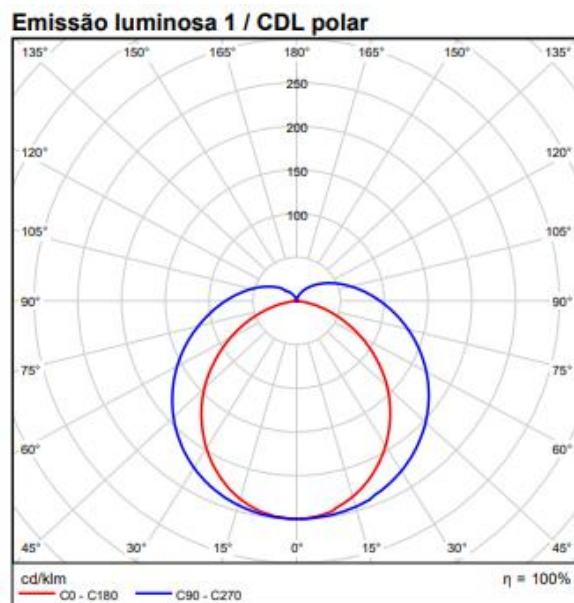


Figura 7: Curva de emissão luminosa da luminária Intral (Fonte: Software Dialux).

Essa lâmpada possui uma potência de 40W e um fluxo luminoso de 4077 lumens, o que garante uma eficácia luminosa de 101,9 lm/W. Para essa simulação, foi considerado que as lâmpadas Tubo LEDs fossem instaladas na mesma posição e altura das luminárias fluorescentes tubulares.

Na Figura 8 é possível verificar a visão da sala de aula, enquanto na Figura 9 é mostrada a grade de cálculo de iluminância ponto a ponto.

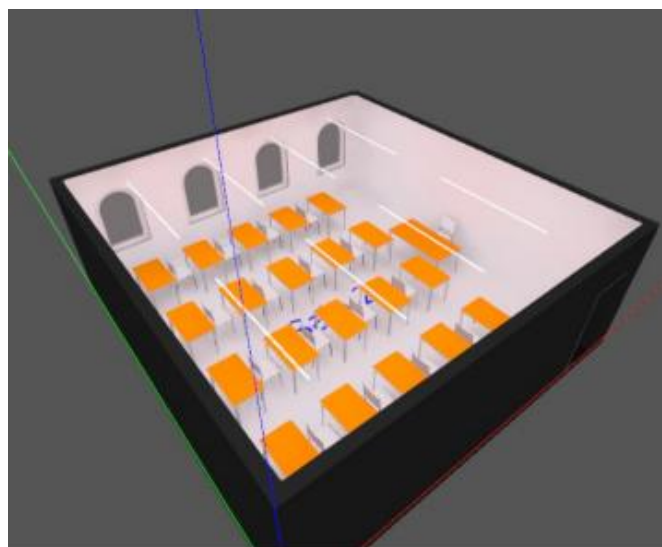


Figura 8: Visão da sala de aula utilizada na simulação (Fonte: Software Dialux).

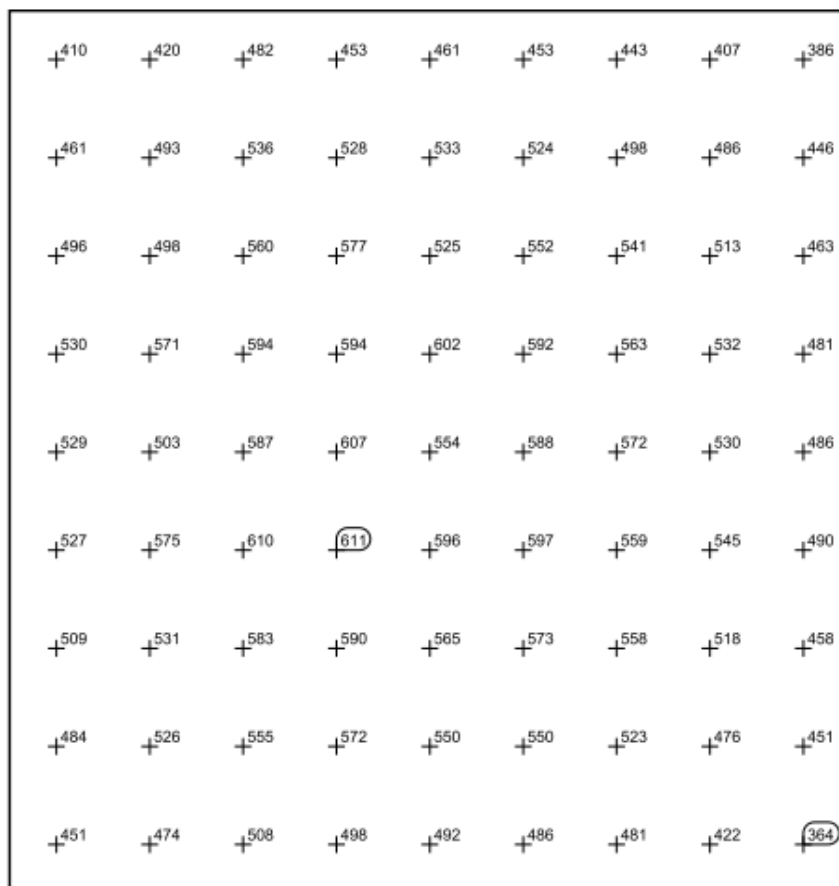


Figura 9: Grade de iluminância ponto a ponto da sala de aula (Fonte: Software Dialux).

Nessa simulação, foi obtida uma iluminância média de 518 lux no plano de trabalho e uma uniformidade de 0,61, estando assim em conformidade com a norma NBR 8995-1. Além disso, nota-se que nesse caso, são substituídas 18 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W (potência total de 576W) por 9 lâmpadas Tubo LEDs de 40W (potência total de 360W), obtendo assim uma maior eficiência energética no sistema de iluminação, além do atendimento a norma.

4.4 RESULTADOS DE SIMULAÇÃO EMPREGANDO LEDS NO AMBIENTE EXTERNO

Para a simulação do ambiente externo, foi utilizada uma luminária Philips BGP322. Essa luminária possui uma potência de 127W e um fluxo luminoso de 13595 lumens, o que resulta em uma eficácia luminosa de 107 lm/W. Nesse caso, a simulação buscou realizar o retrofit das luminárias, ou seja, a troca direta de uma luminária por outra, sem alterar características de altura da luminária, tamanho do braço do poste ou inclinação das luminárias. A curva de emissão luminosa dessa luminária é mostrada na Figura 10.

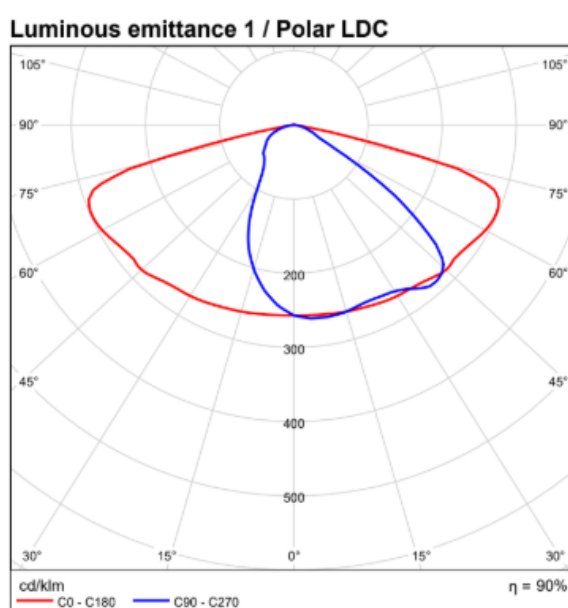


Figura 10: Curva de emissão luminosa da luminária Philips (Fonte: Simulação Dialux).

A Tabela 6 possui os principais resultados de simulação obtidos.

Tabela 6: Resultados de simulação da área externa com a luminária LED (Fonte: Simulação Dialux).

Área sob Avaliação	Iluminância média E_{med} (lux)	Fator de uniformidade $U_o = E_{min}/E_{med}$
Calçada	16,81	0,27
Estacionamento	35,06	0,44
Via de trânsito de Veículos	21,20	0,54

Nota-se o sistema empregando LEDs está em conformidade com a norma por obter uma iluminância média maior do que 5 lux e uniformidade maior que 0,2 em todas as áreas. Nota-se também que buscou-se obter resultados próximos ao do antigo sistema de iluminação empregando lâmpada de vapor de sódio em alta pressão (apesar dos valores com LEDs estarem acima do mínimo), de forma que os usuários não estranhem a mudança no nível de iluminação de uma tecnologia para outra. Por fim, pode-se citar que a luminária LED de 127W substitui uma lâmpada de vapor de sódio em alta pressão de 250W, sendo possível obter com os LEDs um menor consumo de energia, além de uma iluminação com um índice de reprodução de cores bem mais elevado. Os resultados podem ser ainda mais significativos, se for levado em conta a fotometria mesópica, que leva em consideração a resposta dinâmica visual do olho humano para ambientes com reduzido nível de luminância, como os comumente encontrados na iluminação externa. Em Casagrande (2016) é mostrado que luminárias LEDs podem ter uma percepção de fluxo luminoso efetivo 10% maior nesse caso, o que resultaria em resultados de iluminância 10% maiores, enquanto as lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão, dão uma percepção 5% menor. Além disso, as luminárias LED aceitam sistemas de dimerização (controle de fluxo luminoso), sendo possível reduzir o nível de luminosidade das luminárias em horários de menor movimento no campus.

5 CONCLUSÃO

Este artigo se dedicou, de uma maneira geral, em propor um projeto luminotécnico empregando LEDs em ambientes internos e externos do CES-JF Campus Academia.

Foram realizadas medições práticas em áreas internas e externas para verificar o atual nível de iluminação. Foi constatado, que na sala estudada, o nível de iluminância média não atende o previsto em norma, enquanto na área

externa, foi verificado que a calçada em estudo não atende os requisitos mínimos de uniformidade.

Por meio do software Dialux, foi proposto um projeto luminotécnico empregando LEDs. Com a utilização dos LEDs, foi possível atender os requisitos mínimos previstos nas normas, além de obter uma maior eficiência energética nos sistemas de iluminação, por utilizar luminárias que possuem um menor consumo de energia elétrica.

ABSTRACT

This paper has as main objective the elaboration of a lighting project employing light emitting diodes (LEDs) in areas of the Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES / JF) - Academia Campus. The basic concepts regarding LED theory are discussed, showing their main advantages and disadvantages. A methodology of lighting design for installation of LED luminaires is presented in an indoor environment (classroom) and in external areas (vehicle transit route, sidewalk and parking) based on the standard of indoor lighting NBR 8995-1: Lighting of work environments and in the standard of external environments NBR 5101: Street Lighting. Such a study is done in simulations using computational software and practical tests done in the areas under evaluation. Finally, a comparative study is carried out between the old lighting system (using fluorescent lamps and high pressure sodium lamps) with the proposed, using LED luminaires.

Keywords: Energy efficiency. Light emitting diodes. Luminotechnical Project.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5101. **Iluminação Pública**. 2012b.

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. **Iluminação de ambientes de trabalho**. 2013.

ALBERTINI, A.; MASI, M. G.; MAZZANTI, G.; PERETTO, L.; A Test Set for LEDs Life Model Estimation. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2010.

ALMEIDA, P. S.; RODRIGUES, C. R. B. S.; BRAGA, H. A. C.; PINTO, D. P.; ASTORGA, O. A. M.; SOARES, G. M. **“Iluminação Pública Eficiente Empregando LEDs”**. 2011. In: CBEE, 2011, (Tutorial) Juiz de Fora. CBEE2011, 2011.

ALMEIDA, P. S. **Conversor Integrado Sepic Buck-Boost Aplicado ao Acionamento de Leds de Potência Em Iluminação Pública**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

BULLOUGH, J. D. Light Emitting Diode Lighting Systems. **NLPIP - Lighting Answers**. v. 7. Issue 3. May, 2003.

CASAGRANDE, C. G. **Desafios da Iluminação Pública e Nova Técnica de Projetos Luminotécnicos Fundamentada na Fotometria Mesópica**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

DUPUIS, R.D.; KRAMES, M.R.; "History, Development, and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes." **Lightwave Technology, Journal of** , vol.26, no.9, pp.1154-1171, May1, 2008

LAUBSH, A.; SABATHIL, M.; BAUR, J.; PETER, M.; HAHN, B. "High-Power and High-Efficiency InGaN-Based Light Emitters." **IEEE Transactions on Electronic Devices**. Vol. 57, no. 1, pp. 79-87, January, 2010.

MAGGI, T **“Estudo e Implementação de uma Luminárias de Iluminação Pública à Base de LEDs”** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

NOGUEIRA, F. J. **Avaliação Experimental de Luminárias Empregando LEDs Orientadas à Iluminação Pública**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

POLONSKII, M. e SEIDEL, A. R. **“Reatores Eletrônicos para Iluminação Fluorescente”**. Editora Unijuí 1. ed. Ijuí, 2008.

RODRIGUES, C. R. B. S. **“Contribuições ao Uso de Diodos Emissores de Luz em Iluminação Pública”**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012a.

SALES, R.P. **“LED, o Novo Paradigma da Iluminação Pública”**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2011.



IV SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E PESQUISA

05 A 07 DE NOVEMBRO DE 2018



SCHUBERT, E. F. **Light-Emitting Diodes**, Cambridge University Press, 2nd Edition, Cambridge, UK, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Solid-State Lighting Research and Development: Multi Year Program Plan**, Abril de 2012.