



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Ricardo Luis Gedra	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	ricardo.gedra@aes.com
Balazs Vince Nagy	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	nagybal@gmail.com
Alfredo H. Lucato	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	alfredo@iee.com.br
Marcelo de Oliveira Jesus	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	marcelo@iee.com.br
Rinaldo Caldeira Pinto	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	rinaldo@iee.usp.br
Jose Gil Oliveira	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	gil@iee.usp.br
Fernando Luiz Britto Bacellar	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	fernando.bacellar@aes.com
Marcio Rodrigo Ribeiro	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	marcio@iee.com.br
Celso Pinto Saraiva	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	celso@cpqd.com.br
Vicente Olimpio Pavan	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	pavan@cpqd.com.br
Juliana I. Kawasaki	Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia	juliana@itaimiluminacao.com.br

Desenvolvimento de Solução para Iluminação de Interiores Utilizando Tecnologia de Estado Sólido (LED)

Palavras-chave

Conforto visual
Eficiência Energética
Fenômenos Psicobiofísicos
Iluminação de Interiores
Luminária a LED

Resumo

A iluminação artificial tem sido objeto de evolução tecnológica ao longo dos anos. Nos dias de hoje, devido a necessidade do aumento da eficiência energética dos dispositivos de iluminação, a procura por soluções com baixo consumo e grande eficiência luminosa tem sido buscada incessantemente. Nesse sentido a

iluminação de estado sólido utilizando diodos emissores de luz, (LED), preenche os requisitos necessários para que se atinja uma maior eficiência energética, quando comparada com a utilização de fontes luminosas convencionais. Os aspectos psicobiofísicos dos usuários tais como: conforto visual, reprodução de cores e produtividade na realização de tarefas cotidianas, se não forem considerados, podem inviabilizar a instalação dessas soluções. O presente estudo aborda a Pesquisa e o Desenvolvimento de uma solução para iluminação de interiores com tecnologia de estado sólido, que foi aplicada em uma escola pública do Estado de São Paulo. Os usuários submetidos a esse tipo de iluminação se manifestaram formalmente durante o período de aula, sendo que esse artigo apresenta os resultados das avaliações psicobiofísicas realizadas. Apesar de algumas dificuldades inesperadas, que foram superadas durante a elaboração desse projeto, os resultados superaram a expectativa da equipe de pesquisa.

1. Introdução

No ano de 2009 a AES Eletropaulo lançou um desafio de contratar do mercado o serviço de *retrofit* do sistema de iluminação de uma escola pública, com o emprego da tecnologia LED. As propostas apresentadas, geralmente, consistiam de produtos utilizando adaptações, com resultados finais abaixo das necessidades para tal aplicação, além dos preços serem exorbitantes.

A conclusão desse processo foi que o mercado não estava capacitado para apresentar uma solução de iluminação para esse tipo de ambiente, portanto, seria necessário desenvolver uma pesquisa para essa aplicação. Por esse motivo foi proposta a realização de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, no âmbito dos Programas de P&D da ANEEL, que teve o seu início no ano de 2010.

A Pesquisa de uma solução para iluminação de interiores com tecnologia de estado sólido foi desenvolvida com o objetivo de ser utilizada pela empresa AES Eletropaulo, em projetos de eficiência energética. A aplicação dessa solução seria feita substituindo-se produtos de tecnologia convencional, que são menos eficientes.

Esses projetos são implementados em escolas públicas, hospitais, prédios comerciais, escritórios e locais de atendimento ao público de uma forma geral.

2. Desenvolvimento

Motivação

Durante o desenvolvimento das luminárias com tecnologia de estado sólido um dos principais desafios a ser transposto foi a escolha dos LEDs.

Essa escolha demandou pesquisas em laboratório, pois se trata de uma nova tecnologia com poucas publicações relevantes sobre o seu desempenho fotométrico, colorimétrico e térmico. Também não existiam pesquisas conclusivas sobre a utilização de LEDs em escolas e edifícios públicos, abordando aspectos subjetivos.

Outro desafio foi a elaboração dos questionários, com validade científica, para os usuários que, de fato, utilizam as luminárias com tecnologia de estado sólido nesses locais.

Durante a elaboração desse Projeto de Pesquisa foi idealizado o termo 'psicobiofísico', cuja definição associa os efeitos cerebrais do estímulo aos quais são psicofísicos como a percepção, associação e o comportamento entre outros, assim como outros efeitos biológicos que a estimulação pode causar tais como o efeito dos raios Ultra-Violeta e Infra-Vermelho na pele, na estrutura do olho humano entre outros.

Metodologia

A partir dessa necessidade o projeto foi iniciado com o desenvolvimento de um protótipo de luminária com a premissa de ser funcional, de fácil substituição e eficiente. Devido a essas características optou-se por projetar as dimensões externas similares às medidas de uma luminária de duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W ou 40 W, que predominam nesses ambientes.

Mesmo a tecnologia LED permitindo grande flexibilidade nos aspectos de geometria e dimensional da luminária, o projeto primou pela simplicidade, sendo essa uma das suas principais características, pois permite a substituição de todo o parque instalado de luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares por outra solução mais eficiente, agregando aumento de vida útil e redução dos custos de manutenção.



Fig. 1: Imagem da luminária desenvolvida

A solução adotada tornou o produto com um aspecto similar a uma luminária convencional de sobrepor. Esse fato faz com que as luminárias a serem instaladas em escolas e prédios públicos, não despertem a curiosidade dos usuários, evitando vandalismos e furtos em regiões tipicamente vulneráveis a esse tipo de ação.

Quando a luminária é instalada de forma sobreposta é comum ficar uma marca no teto ao retirar a luminária antiga, mas como a nova luminária possui dimensões similares, essa marca é sobreposta, assim evita-se a necessidade de pintura de todo o teto.

A inovação tecnológica da luminária ocorre na seleção dos materiais e componentes de forma a se obter alto desempenho luminoso e elétrico (distribuição de intensidades luminosas, potência total, fator de potência, distorção harmônica), tendo sido feita extensa pesquisa e medições nos modelos de LEDs disponíveis no mercado.

A simplicidade construtiva resulta, também, na redução dos custos de produção da luminária, contribuindo para a viabilidade econômica dessa substituição, contudo, no momento, o LED ainda apresenta um preço elevado. O “roadmap” da tecnologia aponta uma forte tendência de queda dos preços, conforme é possível observar na Figura 2, no estudo do Departamento de Energia dos EUA, que projeta para 2012, uma redução de 50% nos custos de produção de luminárias com LED, em relação aos valores de 2010.

A projeção de redução dos preços dos LEDs associado ao baixo custo de fabricação, devido a concepção

simples do produto, e as perspectivas de aumento da eficiência dessa tecnologia fará com que em pouco tempo o produto esteja viável economicamente. Sendo que a sua aplicação poderá ser paga com a economia de energia proporcionada, com um “payback” aceitável pelo mercado, contribuindo para uma ação massiva de eficiência energética.

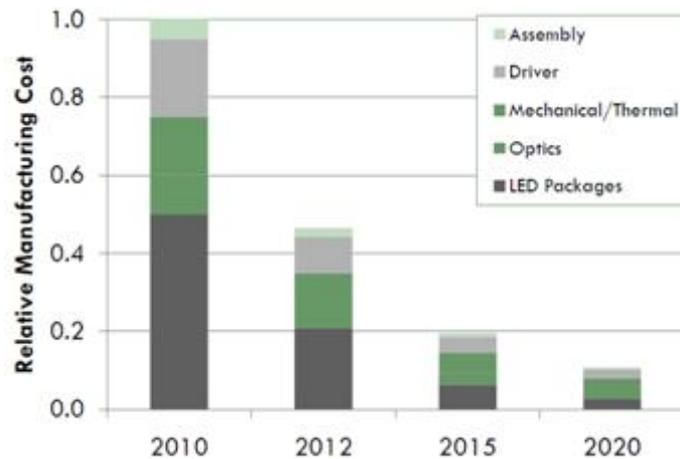


Fig.2: Projeção de evolução relativa dos custos de produção de luminárias com LED

Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos - 2012

Testes Psicobiofísicos

Quanto à aceitação pelos usuários dessa nova tecnologia, que pretende ser eficiente do ponto de vista energético, são necessários testes científicos que avaliem aspectos psicobiofísicos dos usuários da iluminação.

Foram realizadas pesquisas de componentes e materiais que poderiam ser utilizados na luminária com tecnologia de estado sólido e desenvolvidos quatro tipos luminárias como protótipos com diferentes Temperaturas de Cor Correlata (3000K, 4000K, 5000K e 6500K). A escolha da Temperatura de Cor Correlata (T.C.C.) foi feita considerando que já existe uma aceitação prévia dos usuários.

Isso se deve ao fato da iluminação convencional obtida a partir de lâmpadas fluorescentes possuírem nominalmente as mesmas “T.C.C.’s.”

Foram realizados ensaios de segurança elétrica e desempenho fotométrico em Laboratório, para que fosse possível instalar essas luminárias em campo.

Esses protótipos foram instalados em 04 (quatro) salas em escola pública da rede estadual de São Paulo para avaliação psicobiofísica dos usuários, com o objetivo de se obter resultados de aspectos tais como: conforto visual, produtividade e percepção da reprodução de cores.

As Figuras 3 e 4 permitem uma visualização comparativa do efeito das diferentes “T.C.C’s” nas salas de aulas iluminadas com luminárias com tecnologia de Estado Sólido (LED).



Fig. 3 – Sala com luminárias de TCC 6500 K 3000 K



Fig. 4 – Sala com luminárias de TCC

Resultados Obtidos

Foi avaliada a segurança elétrica, o desempenho fotométrico e energético das luminárias em laboratório neutro e acreditado pelo Inmetro.

A potência medida foi de 54W nas luminárias com tecnologia de estado sólido desenvolvidas nesse Projeto de Pesquisa, enquanto que foi medida a potência de 64W em uma luminária convencional com duas lâmpadas tubulares de 32W com reator eletrônico. Uma luminária convencional com duas lâmpadas tubulares de 40W com reator eletromagnético foi medida a potência de 100 W. Considerando que em todos os casos o fluxo luminoso emitido por todas as luminárias é equivalente, conclui-se que a luminária com tecnologia de estado sólido apresenta uma maior eficiência energética do que os outros modelos convencionais.

A luminária desenvolvida no projeto apresentou resultados satisfatórios nos testes de laboratório, indicando que a sua concepção estava atendendo os objetivos, contudo, como em todo processo de melhoria contínua, foram identificadas oportunidades de promover pequenas melhorias que poderão ser incorporadas futuramente.

Em relação aos testes de comportamento psicofísico dos usuários foi possível concluir que as luminárias com “T.C.C.´s” de 4000K e 5000K apresentaram uma melhor aceitação por parte dos usuários, com preferência para a T.C.C. de 5000K. Vale destacar que a temperatura de cor de 3000K apresentou um elevado nível de rejeição por parte dos usuários, superior aos índices esperados pela equipe de pesquisa. Essa temperatura de cor é apropriada para ambientes de repouso e descanso como, por exemplo, em residências, contudo nas pesquisas ficou evidente a elevada insatisfação dos usuários quando submetidos a essa iluminação.

Essa avaliação pode ser resultado de características do LED, como também a falta de hábito de alunos de estarem submetidos a esse tipo de iluminação em uma escola.

Outro resultado importante do projeto é a construção de uma especificação técnica robusta e completa, para que a AES Eletropaulo possa, após o projeto de pesquisa, fazer uma compra de luminárias de LED, de boa qualidade, eficiente e durável, para seus projetos de eficiência energética.

3. Conclusões

Foi possível concluir com a realização desse projeto a possibilidade de iluminar com LEDs ambientes internos de uso prolongado, proporcionando conforto aos usuários, contudo, deve haver uma grande preocupação com a T.C.C. do LED utilizado e também com o controle de ofuscamento e distribuição da intensidade luminosa da luminária com tecnologia de estado sólido.

Foi obtido um excelente nível de uniformidade da iluminância nas salas de aula onde foram instaladas as luminárias com tecnologia de estado sólido.

Esse fato foi um dos motivos de preocupação para a equipe de P&D, pois em produtos similares, tais como as lâmpadas tubulares com LEDs utilizadas como retrofit em algumas situações específicas, a questão do sombreamento provocado pela descontinuidade do feixe de luz (pontos) poderia ser reproduzida na nova Luminária. Esse fato não ocorreu devido a exaustiva quantidade de simulações e ensaios realizados em diversas configurações e materiais dos refletores e difusores, assim como a análise crítica do posicionamento dos LEDs na nova luminária.

A depreciação lumínica acelerada dos LEDs, a vida útil real, a variação de cor entre luminárias e entre LEDs na mesma luminária foram parâmetros que exigiram um grande esforço tecnológico e científico da equipe de P&D. As dificuldades foram superadas através de várias simulações, ensaios e avaliações durante o desenvolvimento desse projeto de pesquisa.

Houve uma forte interação com os fornecedores dos LEDs, pois algumas vezes os catálogos não continham informações que possibilitassem comparações entre os valores medidos e os valores nominais dos LEDs.

Tendo em vista as dificuldades encontradas no fornecimento dos LEDs, que foram identificadas nos ensaios de laboratório, conclui-se que é de suma importância a realização de ensaios de recebimento nas luminárias, para assegurar a qualidade, uniformidade da luz e a Temperatura de Cor Correlata produzida pelas luminárias adquiridas.

Os testes psicobiofísicos revelaram que a T.C.C. de 5000K foi a preferida subjetivamente pelos usuários, os demais resultados também indicaram que essa T.C.C. pode ser adotada nas salas de aula. Esse resultado é compatível com a expectativa da equipe de pesquisa.

Apesar das dificuldades inesperadas, que foram superadas durante a elaboração desse projeto, os resultados superaram a expectativa da equipe de pesquisa.

4. Referências bibliográficas

Referências Bibliográficas

The Effect of Fluorescent Emission Spectrum on Lighting Quality: Balázs Vince Nagy, László Balázs Katalin Tóth and György Ábrahám da Universidade de Tecnologia de Budapest, Lighting quality and energy efficiency CIE Conference, Vienna, Austria 2010.

The Effect of Led Lighting On Performance, Appearance And Sensations: Françoise Viénot, Marie-Lucie Durand and Elodie Mahler do *Muséum National d'histoire Naturelle, Centre de Recherche et de Conservation des Collections, Paris* Apresentado no Light and Lighting CIE Conference, *Budapest 2009.*

Norma ISO 9241-304:2008 *Ergonomics of human-system interaction* – Part 304: *User performance test methods for electronic visual displays.*

A luz além da visão : iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre, Betina Tschiedel Martau.

Visão das Cores em Escolares: Avaliação de um novo teste (Color Vision in School Children; Evaluation of a new test).

Andrea Urland - CONSERVATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE, HISTORIC STRUCTURES AND MATERIALS - Volume 5 - Colour Specification and Measurement - 1999.

Jia-Bin Huang (Institute of Information Science, Academia Sinica, Taipei, Taiwan), Sih-Ying Wu (Department of Electronics Engineering, National Chiao Tung University, Hsin Chu, Taiwan), and Chu-Song Chen (Institute of Information Science, Academia Sinica, Taipei, Taiwan) - ENHANCING COLOR REPRESENTATION FOR THE COLOR VISION IMPAIRED - 2008

Axel Jacobs - Low Energy Architecture Research Unit, LEARN London Metropolitan University - SYNTHLIGHT HANDBOOK - CHAPTER 1: FUNDAMENTALS.

IES LM-79-08 - Approved Method: Photometric Measurements of Solid-State Lighting.

IES LM-80-08 - IES Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Source.

ANSI NEMA ANSLG C78.377-2008 - Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products

ABNT NBR IEC 60598-1 - Luminárias - Parte 1: Requisitos gerais e ensaios

ABNT NBR IEC 60598-2-1 - Luminárias fixas para uso geral.

ABNT NBR IEC 60598-2-2 - Luminárias de embutir

ABNT NBR 5413: Iluminancia de interiores

ISO 8995-1 Lighting of work places - Part 1: Indoor. 2002

CIE 117 - Discomfort glare in interior lighting: 1995

ISO 9241-304:2008 Ergonomics of human-system interaction - Part 304: User performance test methods for electronic visual displays

BRODRICK, R.J.; Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications. Relatório produzido para Building Technologies Program Office of Energy Efficiency and Renewable Energy US department of Energy. 2003.

Institute of Transportation Engineers; disponível <http://www.ite.org>

Nathaniel S. Behura LED Traffic Signals: Economic and Environment-Friendly 2005

CIE Technical Report 127: Measurement of LEDS

Ramos, G.C.M.; Ramos, S.E.M.; Semáforos a LED: Uma tecnologia viável? Grupo de conservação de energia elétrica - CGE. 2005.

Detection and Identification of Lighting Emitting Diode Traffic Light Signals by Protan Observers

Power_Indicator_Colors_and_Accessibility

Partial Flux - Measurement Reliability of Lensed Led's
