

ISSN 0100-2104

EM

***ELETRICIDADE
MODERNA***

ARANDA EDITORA ANO 41 Nº 467 FEVEREIRO 2013

OS AVANÇOS E AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ELETROELETRÔNICA

Uso da tecnologia de estado sólido para iluminação de interiores

José Gil Oliveira, Rinaldo C. Pinto, Marcio R. Ribeiro, Marcelo de O. Jesus e Alfredo H. Lucato (IEE/USP); Ricardo L. Gedra (AES Eletropaulo); Juliana I. Kawasaki (Itaim Iluminação); Celso P. Saraiva e Vicente O. Pavan (Fundação CPqD); e Balazs Vince Nagy (Instituto de Psicologia da USP e Universidade de Tecnologia de Budapeste)

A necessidade de aumento da eficiência energética dos dispositivos de iluminação e a procura por soluções com baixo consumo e alta eficiência luminosa tem levado à adoção de soluções utilizando LEDs. Este artigo aborda a pesquisa e o desenvolvimento de uma luminária para iluminação de interiores com tecnologia de estado sólido, mostrando os resultados das pesquisas realizadas com os usuários submetidos a esse tipo de iluminação e das avaliações psicobiológicas.

Em 2009, a AES Eletropaulo lançou um desafio ao mercado: contratar 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 adaptados, com resultados finais abaixo das necessidades para a aplicação e preços exorbitantes. Concluiu-se, desta forma, que o mercado não estava capacitado para apresentar uma solução de iluminação para esse tipo de ambiente. Por esse motivo, foi proposta a realização de um projeto, no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, de uma solução para iluminação de interiores com tecnologia de estado sólido que pudesse ser utilizada em projetos de eficiência energética da AES Eletropaulo realizados em escolas públicas, hospitais, prédios comerciais, escritórios e outros locais de atendimento ao público. A pesquisa foi iniciada em 2010.

Motivação

Durante o desenvolvimento das luminárias com tecnologia de estado sólido, um dos principais desafios era a escolha dos LEDs. Isso demandou pesquisas em laboratório, pois trata-se 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 entrave era a elaboração dos questionários com validade científica para os usuários que de fato utilizam as lumi-

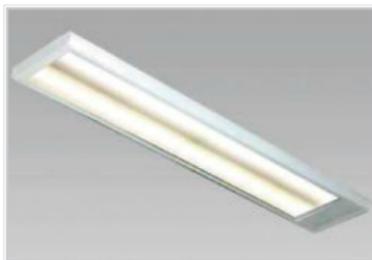


Fig. 1 – Luminária de tecnologia LED desenvolvida

nárias com tecnologia de estado sólido nesses locais.

Durante a elaboração do projeto de pesquisa, foi idealizado o termo “psicobiológico”, cuja definição associa efeitos cerebrais do estímulo considerados psicofísicos, como percepção, associação e comportamento, e outros efeitos biológicos causados pela estimulação, como o efeito dos raios ultravioleta e

infravermelho na pele e na estrutura do olho humano, entre outros.

Metodologia

O projeto foi iniciado com o desenvolvimento de um protótipo de luminária que atendesse as premissas de funcionalidade, fácil substituição e eficiência. Devido a essas características, optou-se por dimensões externas similares às de uma luminária de duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W ou 40 W, que predominam nesses ambientes.

Apesar da grande flexibilidade possibilitada pela tecnologia LED em relação a aspectos dimensionais e de geometria da luminária, o projeto primou pela simplicidade para permitir a substituição de todo o parque instalado de luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares por uma solução mais eficiente, agregando aumento de vida útil e redução dos custos de manutenção.

A solução adotada tem 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. Além disso, como a nova luminária possui di-

mensões similares às convencionais, as marcas no teto das antigas luminárias são sobrepostas, evitando a necessidade de pintura de todo o teto. A figura 1 mostra a luminária com tecnologia de estado sólido (LED) desenvolvida.

A inovação tecnológica da luminária ocorre na seleção dos materiais e componentes, que promovem alto desempenho luminoso e elétrico (distribuição de intensidades luminosas, potência total, fator de potência, distorção harmônica).

No projeto, foi realizada extensa pesquisa e medições nos modelos de LEDs disponíveis no mercado.

A simplicidade construtiva da luminária resulta também na redução dos custos de produção, contribuindo para a viabilidade econômica da substituição. Contudo, o LED ainda apresenta preço elevado. O *roadmap* da tecnologia aponta forte tendência de queda dos preços. A figura 2 mostra uma projeção do Departamento de Energia dos EUA, que indica redução de 50% nos custos de produção de luminárias com LED em 2012 em relação aos valores de 2010.

A estimativa de redução dos preços dos LEDs associada ao baixo custo de fabricação do produto, devido a sua concepção simples, e as perspectivas de aumento da eficiência da tecnologia promoverão em pouco tempo a viabilidade econômica do produto. Sua aplicação poderá ser paga com a economia de energia obtida, com *payback* aceitável pelo mercado, contribuindo para uma ação massiva de eficiência energética.



Fig. 3 – Sala com luminárias de TCC 6500 K

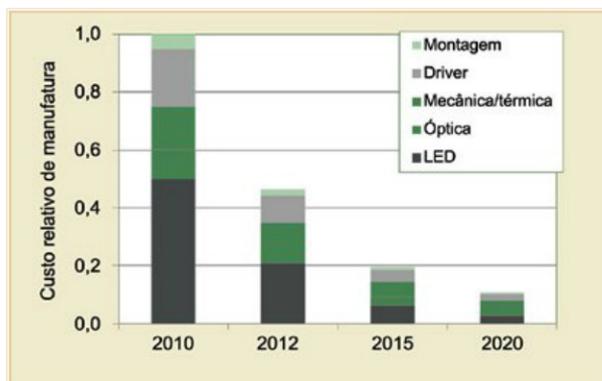


Fig. 2 – Projeção de evolução dos custos de produção de luminárias com LED (Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos - 2012)

Testes psicobiofísicos

São necessários testes científicos que avaliem aspectos psicobiofísicos dos usuários da iluminação para analisar a aceitação da nova tecnologia. Foram realizadas pesquisas de componentes e materiais que poderiam ser utilizados na luminária com tecnologia de estado sólido e desenvolvidos quatro protótipos com diferentes temperaturas de cor correlata (3000, 4000, 5000 e 6500 K). A escolha da temperatura de cor correlata (TCC) foi baseada na aceitação prévia dos usuários, uma vez as lâmpadas fluorescentes (da iluminação convencional) possuem nominalmente as mesmas TCCs.

Foram realizados ensaios de segurança elétrica e desempenho fotométrico em laboratório, para que fosse possível instalar as luminárias em campo. Os protótipos foram instalados em quatro salas de uma escola pública da rede estadual de São Paulo para avaliação psicobiofísica dos usuários, com o objetivo de obter resultados acerca do conforto visual, produtividade e percepção da reprodução de cores.

As figuras 3 e 4 permitem uma visualização comparativa do efeito das diferentes TCCs nas salas de aulas iluminadas com luminárias com tecnologia de estado sólido (LED).

Resultados obtidos

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

Nas luminárias com tecnologia de

estado sólido desenvolvidas no projeto de pesquisa, a potência medida foi de 54 W. Já nas luminárias convencionais com duas lâmpadas tubulares de 32 W e reator eletrônico, a potência é de 64 W. Por sua vez, uma luminária convencional com duas lâmpadas tubulares de 40 W e reator eletromagnético apresenta potência de 100 W. Considerando que o fluxo luminoso emitido por todas as luminárias em todos os casos é equivalente, conclui-se que a luminária com

tecnologia de estado sólido apresenta maior eficiência energética do que os modelos convencionais.

A luminária desenvolvida no projeto apresentou resultados satisfatórios nos testes de laboratório. Contudo, como em todo processo de aprimoramento contínuo, foram identificadas oportunidades de melhorias que poderão ser incorporadas futuramente.

Em relação aos testes de comportamento psicofísico dos usuários, identificou-se que as luminárias com TCCs de 4000 K e 5000 K foram mais bem aceitas, com preferência para a TCC de 5000 K. Vale destacar que a temperatura de cor de 3000 K apresentou elevado nível de rejeição, superior aos índices esperados pela equipe de pesquisa. Essa temperatura de cor é apropriada para ambientes de repouso e descanso, como, por exemplo, residências. A elevada insatisfação dos usuários pode ser resultado de características do LED, como também à falta de hábito dos alunos de estarem submetidos a esse tipo de iluminação em uma escola.



Fig. 4 – Sala com luminárias de TCC 3000 K

Terminal Polimérico Completo - TPC A solução perfeita



**Garantia Integral
Facilidade para o instalador**

www.kitacessorios.com.br

KT
ACESSÓRIOS PARA CABOS ELÉTRICOS LTDA.
ALTA TECNOLOGIA

LED

Outro resultado importante do projeto é a construção de uma especificação técnica robusta e completa, que permita à AES Eletropaulo realizar compra de luminárias de LED de boa qualidade, eficientes e duráveis para seus projetos de eficiência energética.

Conclusões

A realização desse projeto permitiu iluminar ambientes internos de uso prolongado com LEDs, proporcionando conforto aos usuários. Entretanto, é necessário prestar atenção à TCC do LED utilizado e também ao controle de ofuscamento e distribuição da intensidade luminosa da luminária com tecnologia de estado sólido.

Foi obtido excelente nível de uniformidade da iluminância nas salas de aula onde foram instaladas as luminárias com tecnologia de estado sólido. Esse era um ponto de preocupação para a equipe de P&D, que visava evitar nas novas luminárias o sombreamento provocado pela descontinuidade do feixe de luz (pontos), já verificado em algumas situações específicas de retrofit com o uso de lâmpadas tubulares com LEDs. O objetivo foi alcançado devido à exaustiva quantidade de simulações e ensaios realizados em diversas configurações e materiais dos refletores e difusores e à 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 grande esforço tecnológico e científico da equipe de P&D. As dificuldades foram superadas através de várias simulações, ensaios e avaliações durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

Houve forte interação com os fornecedores dos LEDs, pois algumas vezes os catálogos não continham informações suficientes para as comparações entre os valores medidos e os nominais.

Tendo em vista as dificuldades encontradas no fornecimento dos LEDs identificadas nos ensaios de laboratório, é de suma importância realizar ensaios de recebimento nas luminárias, para assegurar a qualidade, a uniformidade da luz e a temperatura de cor correlata produzida.

Os testes psicobiológicos revelaram que a TCC de 5000 K foi a preferida subjetivamente pelos usuários. Outros resultados também indicaram que essa TCC pode ser adotada nas salas de aula. Esse resultado é compatível com as projeções da equipe de pesquisa.

Apesar de dificuldades inesperadas, os resultados superaram a expectativa da equipe de pesquisa.

Referências

- [1] Balázs Vince Nagy; László Balázs Katalin Tóth; György Ábrahám: *The effect of fluorescent emission spectrum on lighting quality*. Universidade de Budapeste, Lighting quality and energy efficiency CIE Conference, Vienna, Austria 2010.
- [2] Françoise Viénot; Marie-Lucie Durand; Elodie Mahler: *The effect of LED lighting on performance, appearance and sensations*. Muséum National d'histoire Naturelle, Centre de Recherche et de Conservation des Collections, Paris. Apresentado no Light and Lighting CIE Conference, Budapest 2009.
- [3] Norma ISO 9241-304:2008 Ergonomics of human-system interaction - Part 304: User performance test methods for electronic visual displays.
- [4] Betina Tschiedel Martau: *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*.
- [5] Visão das cores em escolares: Avaliação de um novo teste (Color Vision in School Children; Evaluation of a new test).
- [6] Andrea Urland: *Conservation of architectural heritage, Historic structures and materials*. Volume 5 - Colour Specification and Measurement - 1999.
- [7] Jia-Bin Huang; Sih-Ying Wu; Chu-Song Chen: *Enhancing color representation for the color vision impaired*. 2008.
- [8] Axel Jacobs: *Low energy architecture research unit*. Learn London Metropolitan University. Synthlight Handbook - Chapter 1: Fundamentals.
- [9] IES LM-79-08: Approved method: photometric measurements of solid-state lighting.
- [10] IES LM-80-08: IES Approved method for measuring lumen maintenance of LED light source.
- [11] Ansi Nema ANSLG C78.377-2008: Specifications for the chromaticity of solid state lighting products.
- [12] ABNT NBR IEC 60598-1: Luminárias - Parte 1: Requisitos gerais e ensaios.
- [13] ABNT NBR IEC 60598-2-1: Luminárias fixas para uso geral.
- [14] ABNT NBR IEC 60598-2-2: Luminárias de embutir.
- [15] ABNT NBR 5413: Iluminância de interiores.
- [16] ISO 8995-1: Lighting of work places - Part 1: Indoor. 2002.
- [17] CIE 117: Discomfort glare in interior lighting. 1995.
- [18] ISO 9241-304:2008: Ergonomics of human-system interaction - Part 304: User performance test methods for electronic visual displays
- [19] 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.
- [20] Institute of Transportation Engineers (disponível em <http://www.ite.org>).
- [21] Nathaniel S. Behura: *LED traffic signals: economic and environment-friendly*. 2005.
- [22] CIE Technical Report 127: Measurement of LEDs.
- [23] Ramos, G. C. M.; Ramos, S. E. M.: *Semáforos a LED: uma tecnologia viável?* Grupo de conservação de energia elétrica - CGE 2005.
- [24] Detection and identification of lighting emitting diode traffic light signals by protan observers. Power_Indicator_ Colors_and_Accessibility. Partial Flux - Measurement Reliability of Lensed LEDs.

Trabalho apresentado no Enie 2012 - XIV Encontro Nacional de Instalações Elétricas (14 a 16 de agosto de 2012, em São Paulo, SP).