

Casa do Parlamento – Helsink/Finlândia  
Lighting design: Mikki Kunttu

56 projetores Robe City Source 96, destacaram e coloriram os 14 pilares da edificação de 1931.

# Diodos Emissores de Luz

Por Vicente Scopacasa

Os LEDs: de pequenos notáveis a titãs do futuro

**DEFINITIVAMENTE, OS LEDs DEIXARAM DE SER UMA REVOLUÇÃO** para a iluminação e já podem ser considerados como uma tecnologia em franca evolução, conquistando, dia a dia, mais aplicações na substituição de lâmpadas convencionais. O termo evolução é bem propício, pois os LEDs ainda têm muito a melhorar a fim de se tornarem mais adequados e inigualáveis em sua missão de iluminar o mundo com eficiência, durabilidade e preservação do meio ambiente, fatores estes cada vez mais importantes na sociedade atual e do futuro.

Todos os benefícios da tecnologia de iluminação de estado sólido, tais como menor consumo de energia, maior vida útil, resistência a impactos e vibrações e ausência de raios ultravioleta e infravermelho, entre outros, são, hoje, amplamente conhecidos e comprovados pelo mercado. Porém a melhora em outros parâmetros é essencial para que os LEDs possam apresentar ainda mais vantagens aos usuários e assim aumentar sua participação em novos projetos e aplicações.

Quando falamos de luz branca, destacamos as propriedades dos LEDs quanto à eficácia luminosa (relação lúmen/watt) e sua maior vida útil como fatores importantes, porém não únicos. Por se tratarem de produtos ainda em evolução, os LEDs têm muito a melhorar quanto à qualidade da luz emitida, principalmente em relação a um maior controle da temperatura de cor e do índice de reprodução de cores.

## Eficiência cada vez maior

Traçando-se um paralelo com as lâmpadas convencionais, estas apresentam qualidade de luz superior, principalmente por se

tratarem de tecnologias maduras e que foram aprimoradas com o tempo. No caso dos LEDs, fazendo uma comparação com o que havia disponível há quatro ou cinco anos, constatamos um avanço considerável da tecnologia em todos os sentidos.

Por exemplo: enquanto falávamos em eficácias da ordem de 30 a 40 lúmens por watt, hoje falamos de 100 a 110 lúmens por watt, considerando-se potências elétricas de 1 watt, o que mostra uma melhoria considerável na redução do consumo de energia.

É importante salientar que, quando falamos de eficácia, sempre temos que determinar o nível de potência com o qual estamos tratando, uma vez que a eficácia dos LEDs depende deste fator. Ou seja, em potências mais baixas a eficácia aumenta e vice-versa.

## Temperatura de cor em todas as escalas

No início do desenvolvimento da tecnologia, somente eram obtidos valores de temperatura de cor na faixa do branco frio (acima de 5.500°K). Atualmente, temos disponibilidade de valores compreendidos na faixa desde 2.700°K até 10.000°K, o que torna os LEDs a única fonte de luz capaz de reproduzir quase toda a escala de temperaturas de cores.

Além disto, a variação de tons de branco dentro da mesma faixa de temperatura de cor, os famosos bins, também sofreram uma melhora considerável quando comparados com produtos fabricados há alguns anos.

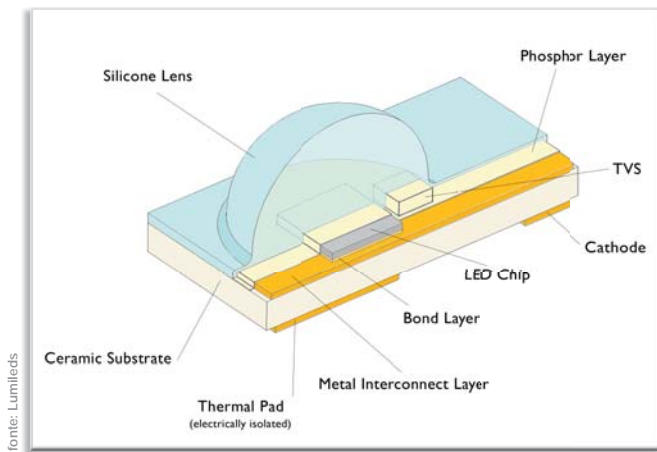


Figura 1

Ilustração do LED Luxeon Rebel sem a ligação do fio de ouro.

Inicialmente, cada fabricante especificava a sua própria distribuição e nomenclatura de bins, fato este que geralmente causa certa confusão nos usuários. Hoje, temos faixas de bins mais “apertadas” e especificadas por entidades normativas, o que leva os fabricantes a utilizar critérios comuns de distribuição de bins, facilitando a especificação por parte dos usuários desta tecnologia.

### Índice de reprodução de cores

No que diz respeito ao IRC (Índice de Reprodução de Cores), é possível obter-se, hoje, utilizando-se somente LEDs brancos, valores acima de 90, o que faz com que os LEDs apresentem melhor desempenho em aplicações de iluminação de interiores, atividade para a qual este parâmetro é de vital importância. Como comentário adicional, a tecnologia é tão versátil que nos possibilita recorrer ao artifício de adicionar LEDs de outras cores, resultando em uma luminária com IRC total ainda maior.

Em termos construtivos, os LEDs atuais estão também muito diferentes dos produzidos há alguns anos. Alguns fabricantes já utilizam a tecnologia chamada TFFC (Thin Film Flip Chip) que consiste em montar o chip semiconductor ao encapsulamento, sem a utilização de fios de ouro, o que faz com que tenhamos um aumento da confiabilidade do LED.

Além disso, pelo fato de utilizar-se a tecnologia TFFC, torna-se possível a utilização de novas técnicas de deposição de fósforo, a fim de obter-se luz branca

com melhor controle na dispersão das tonalidades com o intuito de obterem-se temperaturas de cores bem próximas à curva do corpo negro. Um exemplo de um LED que utiliza a tecnologia TFFC pode ser visto na figura 1.

Como podemos observar na figura acima, o chip semiconductor é montado diretamente no substrato cerâmico (DOC - Die On Ceramic) sem a utilização das ligações feitas com fios de ouro. Isto torna o LED mais confiável em condições de estresse térmico ou quando submetido a variações bruscas de temperaturas.

Outra grande evolução na fabricação dos LEDs brancos é justamente relativa à deposição de fósforo sobre o chip semiconductor azul. No passado, os LEDs eram fabricados com a mesma composição de fósforo para cada família de produto, o que resultava em uma dispersão muito grande em função da variação do comprimento de onda do chip azul. Portanto os LEDs eram fabricados, testados e classificados dentro de uma distribuição de bins de temperaturas de cores bem particular e estabelecida pelos fabricantes.

Com o surgimento da tecnologia TFFC, os LEDs passaram a utilizar discos sólidos de fósforo previamente ajustados para cada valor de comprimento de onda do chip semiconductor azul, ou seja, no processo de montagem a testadora mede exatamente o comprimento de onda do chip azul e busca o disco sólido de fósforo previamente selecionado para aquele valor de comprimento de onda, resultando em menor dispersão de cores.

Outro fator importante no aumento do fluxo luminoso



Hotel Cassino Lisboa – Macau/China  
Lighting design: Teddy Lo

Iluminação exterior com LEDs e mudança de cor revitalizaram fachada do hotel construído nos anos 70.



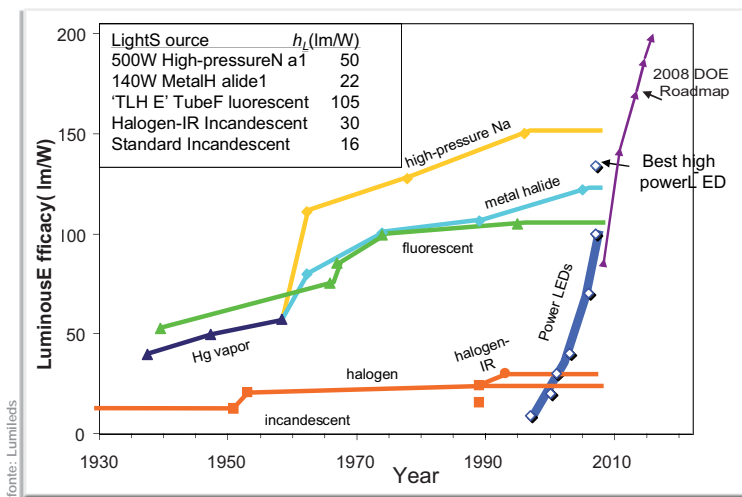


Figura 2

Gráfico da evolução da eficácia dos LEDs.

dos LEDs brancos se concentra exatamente no sentido de produzir chips semicondutores azuis com maior potência possível. Isto está acontecendo principalmente em duas áreas: a primeira é o aumento da eficiência interna do chip, proporcionando maior quantidade de fótons gerados e a segunda, é em função do encapsulamento do LED, fazendo com que maior quantidade de fótons gerados deixe o encapsulamento, conseguindo-se um aumento considerável no fluxo luminoso do LED.

Por fim, outro ponto interessante na evolução da tecnologia é a obtenção de LEDs com o menor valor possível da voltagem direta (VF). Isto implica na obtenção de eficácias maiores, pois diminui a potência elétrica consumida pelos LEDs.

### Os LEDs em substituição às lâmpadas convencionais

Os LEDs continuam sua evolução em termos de eficácia e se espera que dentro de aproximadamente dois anos tenhamos valores da ordem de 120 a 130 lúmens/watt para LEDs do tipo single chip (somente um chip semicondutor por encapsulamento) medidos na corrente de 350 mA e com temperatura de cor na faixa do branco frio. Tais valores de eficácia comparam-se aos das lâmpadas de sódio, porém com qualidade de luz muito superior. Na figura 2 apresentamos o gráfico de evolução da eficácia dos LEDs comparados com

algumas lâmpadas convencionais.

No gráfico acima, podemos notar que o comportamento do aumento na eficácia dos LEDs é bem acentuado quando comparado com o das lâmpadas convencionais. Neste mesmo gráfico, apresentamos a projeção de eficácia do LED feito pelo DOE (Department of Energy), dos Estados Unidos da América, com uma forte indicação do que se pode esperar desta tecnologia dentro dos próximos anos.

### Adequação dos LEDs em aplicações de iluminação

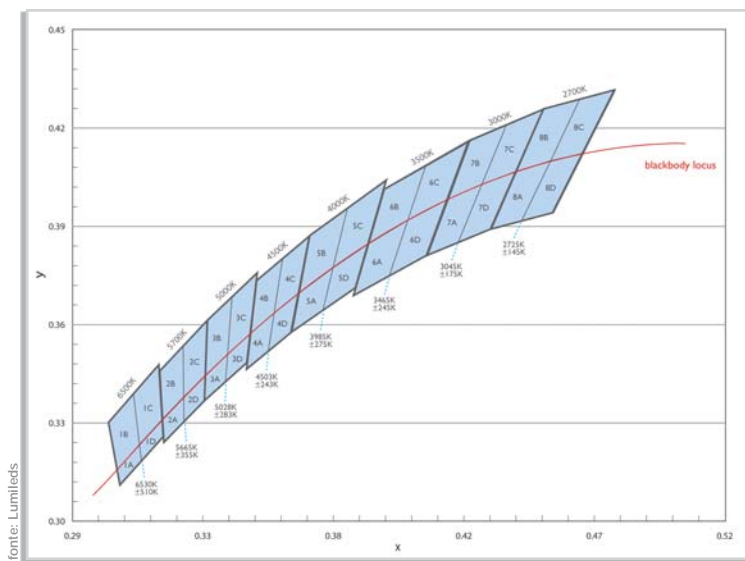
Um dos desafios dos LEDs é o da adequação aos critérios hoje utilizados em aplicações com lâmpadas convencionais. Não nos esqueçamos de que as lâmpadas convencionais são dispositivos que estão no mercado há muitos anos e que foram se adequando às necessidades das mais diversas aplicações de iluminação ao longo deste tempo.

Os LEDs, por se tratar de uma tecnologia em plena evolução, têm muito ainda a evoluir, e destacaremos dois pontos importantes desta adequação, que já vem acontecendo e que fará com que os LEDs possam substituir lâmpadas mais rapidamente do que aconteceu até o presente momento. Para tal, vamos considerar três recomendações recentes, introduzidas por organizações internacionais que visam o estabelecimento de



YAS Hotel – Abu-Dhabi / Emirados Árabes  
Lighting design: Arup Lighting – New York

Um dos maiores projetos de LEDs do mundo, utilizou cerca de 5000 luminárias e controles DMX-RDM (Remote Device Management), da e:cue.



**Figura 3**

Distribuição de TCC para LEDs brancos ANSI C78.377-2008.

especificações e procedimentos para luminárias baseadas em LEDs:

O primeiro fator é a temperatura de cor (TCC). Como abordado anteriormente, cada fabricante de LEDs tem a sua estrutura de bins de temperatura de cor, ou seja, cada um tem seus LEDs brancos classificados de acordo com sua conveniência e resultado do seu processo produtivo.

Isto, eventualmente, cria um problema para o usuário, pois fica muito difícil fazer uma comparação desta distribuição de temperaturas de cores entre os fabricantes. Além disto, muitas vezes por desconhecimento ou falta de informação, o usuário pode receber lotes de produtos com diferentes temperaturas de cores, criando um problema ainda maior na fabricação das luminárias em função da não-uniformidade de um lote para outro.

Outro fator importante, e que nem sempre é levado em consideração, é a tolerância utilizada na medida das coordenadas de cromaticidade x,y; tolerâncias estas que podem fazer com que o usuário nem sempre possa receber os materiais dentro do esperado. É importante acrescentar, ainda, que cada fabricante também utiliza sua nomenclatura para definir as diversas faixas de temperatura de cor, como branco quente, frio ou neutro, gerando ainda mais contratempos para o usuário.

### Temperatura de cor

No caso das lâmpadas fluorescentes, existe uma norma desenvolvida pela ANSI (American National Standard Institute), referência ANSI C78.376-2001, que estabelece, dentre outras coisas, especificações de cromaticidade, que estabelecem várias faixas de TCC, fazendo com que os fabricantes das lâmpadas enquadrem seus produtos nas faixas estabelecidas, visando facilitar a escolha por parte do usuário final. Da mesma forma, este instituto desenvolveu a norma ANSI C78.377-2008, que estabelece critérios

de TCC semelhantes aos das lâmpadas fluorescentes, porém para luminárias de estado sólido, baseados nos LEDs.

Este documento é de vital importância, pois faz com que os fabricantes de LEDs tenham seus produtos especificados conforme esta norma, criando uma linguagem comum a todos os usuários. Além disto, esta norma estabelece que a distribuição dos valores de temperatura de cor esteja muito próxima à curva do corpo negro (CIE 1931), resultando em LEDs com cores mais puras, sem aquelas indesejáveis alterações nas tonalidades de branco, ora esverdeados, ora rosados etc. As tolerâncias das medições também foram estabelecidas, possibilitando maior acuidade na sua distribuição.

Apresentamos acima, na figura 3, a representação gráfica das especificações de cromaticidade dos produtos de iluminação de estado sólido sobre o diagrama de cromaticidade da curva CIE 1931.

### Vida útil

A vida útil dos LEDs também gera muita controvérsia. Alguns fabricantes normalmente especificam 50.000 horas, outros 100.000 horas, porém notamos que faltam critérios para a real comprovação destas previsões. E, mesmo que se comprove que a vida útil do LED seja de 50.000 horas, não necessariamente podemos garantir que a luminária tenha o mesmo desempenho.

Na verdade, o LED não é o fator limitante da vida útil da luminária. Temos outros fatores, como, por exemplo, o driver, ótica, conexões etc., que podem diminuir, em muito, a vida útil da luminária, mesmo que os LEDs comprovadamente durem muito mais.

Como o nosso principal objetivo aqui é a abordagem somente dos LEDs, salientamos que existe uma grande preocupação na determinação da vida útil real dos LEDs, e isto, obviamente, tem que ser analisado caso a caso, e

nunca devemos atrelar a vida útil somente à tecnologia.

Para tal, foi criado pela IESNA o documento LM-80, em setembro de 2008, que descreve a metodologia de testes e qual deverá ser o formato dos relatórios com os resultados dos mesmos, que deverão ser seguidos pelos fabricantes dos LEDs. Esta recomendação não faz nenhuma avaliação dos resultados obtidos e também não faz nenhuma previsão sobre a manutenção dos lúmens após 6.000 horas de teste.

Por outro lado, outras entidades governamentais ou associações da indústria de iluminação poderão utilizar este procedimento para definir os critérios de vida útil quanto ao atendimento para algum tipo de aplicação específica. Por exemplo, o DOE (Department Of Energy), dos Estados Unidos, determina que o LED, após 6.000 horas de teste, deva manter 91,8% do seu fluxo luminoso original (para aplicações de iluminação residencial de interiores) e 94,1% (para iluminação não-residencial de interiores e todas as aplicações de iluminação de exteriores) a fim de obter o certificado "Energy Star".

Considerando-se o valor de 70% de manutenção do fluxo, estes dois pontos representam 25.000 e 35.000 horas de vida útil respectivamente. Isto significa que, no processo de certificação para obtenção do selo "Energy Star", o fabricante da luminária deverá especificar qual o tipo e o fabricante do LED que está utilizando no produto, se o mesmo foi testado de acordo com a LM-80 e se atende aos limites de manutenção de fluxo luminoso impostos pelo DOE para tal certificação.

Todas estas normas, procedimentos e recomendações visam estabelecer critérios comuns, tanto para os fabricantes quanto para os usuários. Isto é de extrema importância, pois é uma garantia de que todos os benefícios e vantagens desta nova tecnologia serão plenamente explorados, obtendo-se produtos com desempenho e eficiência esperados.

## O que esperar dos LEDs no futuro próximo



**Eficácia:** Falando-se basicamente de LEDs brancos, com temperatura de cor acima de 4.000°K, o que os fabricantes buscam é o aumento da eficácia (relação lúmen/watt), o que resulta no aumento do fluxo luminoso por encapsulamento. Maior eficácia significa menor custo do lúmen, o que possibilita maior número

de aplicações. A eficácia mínima esperada para LEDs comerciais, considerando-se potências de 1 watt, está ao redor de 130 lúmens/watt no período de 2 a 3 anos.

Considerando-se LEDs com temperatura de cor abaixo de 4.000°K, temos um decréscimo natural da eficácia, principalmente em função da formulação do fósforo ser diferenciada. Neste caso, espera-se uma eficácia mínima da ordem de 100 lúmens/watt neste mesmo período.



**Cores mais puras:** Como abordado anteriormente, uma das limitações dos LEDs brancos hoje é a dispersão das cores com relação à curva do corpo negro (diagrama de cromaticidade CIE 1931), que resulta em pigmentos verdes, rosas e azuis na cor quando estas dispersões estão deslocadas em direção ao verde, magenta e azul, respectivamente.

Novas tecnologias de deposição de fósforo estão sendo introduzidas no sentido de diminuir estas dispersões e manter a distribuição da temperatura de cor bem próxima à curva do corpo negro. Isto irá garantir com que o LED disponibilize melhor qualidade de luz branca tornando-os compatíveis com a qualidade de luz das lâmpadas convencionais além de todos os outros benefícios já conhecidos



**Encapsulamentos com maior fluxo luminoso – Multichip:** Esta também é uma tendência onde os fabricantes colocam vários chips semicondutores em um único encapsulamento, com o objetivo de aumentar o fluxo luminoso por unidade. Apesar deste tipo de configuração não ser tão eficiente quanto à eficácia luminosa, comparado com o encapsulamento do tipo singlechip, pode ser utilizado em aplicações onde tenhamos necessidade de alta densidade de fluxo luminoso.

Em suma, os LEDs realmente não são mais encarados como uma revolução na iluminação, e sim como uma tecnologia do presente em constante evolução, incorporando ainda mais benefícios aos já obtidos até o presente, continuando na sua missão de substituir as lâmpadas convencionais de maneira eficiente, segura e ecológica. ◀

Vicente Scopacasa

é engenheiro eletrônico com pós-graduação em Administração de Marketing. Possui larga experiência em semicondutores, tendo trabalhado em várias empresas do setor por 35 anos. Participou de vários projetos de iluminação de estado sólido no Brasil e no exterior. É representante da Philips Lumileds para a América do Sul, atua também como professor em cursos de pós-graduação em iluminação e como consultor no mercado de componentes para aplicações em sinalização e iluminação.

