



## Capítulo II

# A luz artificial e os Leds

Por Vicente Scopacasa\*

Como adiantado no artigo anterior, iremos abordar cada componente do sistema que compõe a iluminação do estado sólido e, para começar, vamos abordar a tecnologia dos Leds detalhando o seu princípio de funcionamento, benefícios, particularidades etc., além de comparativo com os componentes de iluminação convencionais.

Para começarmos, vamos entender qual é o princípio físico da geração de luz além das características de funcionamento de algumas lâmpadas convencionais e então traçarmos um paralelo com a tecnologia de estado sólido.

A melhor definição de luz seria uma forma de energia produzida pela matéria, mas, para entendermos como a luz é gerada, vamos analisar a estrutura atômica que faz parte desta matéria. Como sabemos, o átomo é composto de um núcleo (contendo cargas positivas conhecidas como prótons) com um certo número de elétrons (cargas negativas) vibrando ao redor dele.

Em função de termos cargas de diferentes sinais, positivas e negativas, podemos afirmar que o núcleo que é formado por cargas positivas e os elétrons que têm cargas negativas, são mutuamente atraídos uns pelos

outros nesta estrutura atômica. Isto faz com que os elétrons não sejam livres suficientes para orbitarem de qualquer forma, mas sim de forma ordenada e em órbitas específicas ao redor do núcleo. Dependendo do elemento que estamos analisando, podemos ter vários níveis de órbitas, com diferentes níveis de energia.

Isto quer dizer que um determinado elétron pode ocupar outras posições no mesmo átomo e, para tal, deverá ter nível de energia diferente, portanto, se fornecermos energia a um átomo, a tendência é que os elétrons, ao receberem esta energia, passem para órbitas de maior energia e toda esta movimentação faz com que os elétrons venham a perder energia adquirida na forma de “pacotes de energia” conhecidos como “fótons” ou partículas de luz. Esses fótons têm diferentes comprimentos de onda e podem ser visíveis ou não, dependendo do material, do nível de energia aplicado e das distâncias percorridas entre as diversas órbitas dos átomos.

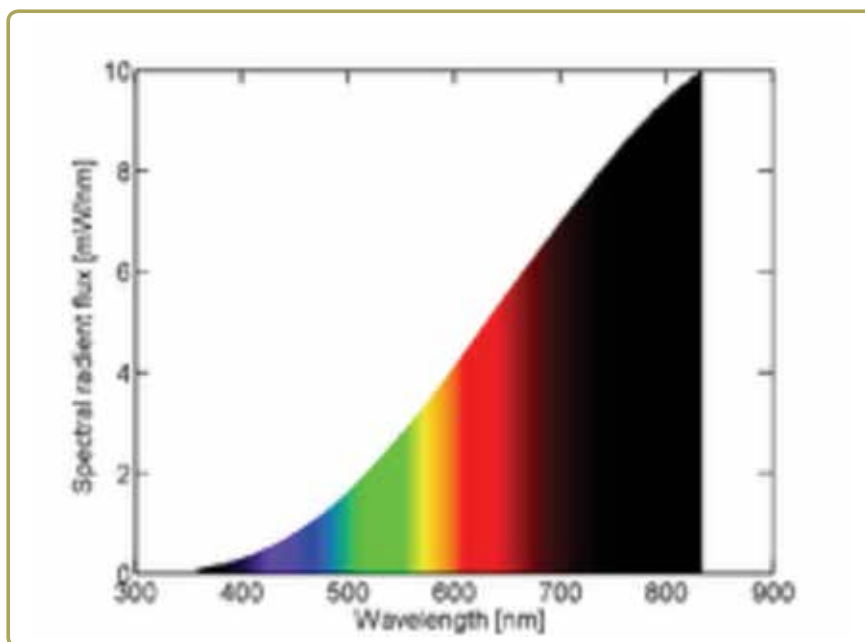
Portanto, temos a geração de diferentes tipos de fótons, com diferentes valores de comprimento de onda associados a determinadas cores e tudo isto é percebido como luz. Os fótons são partículas sem massa, porém, com componentes elétricos

e magnéticos que os caracterizam como ondas eletromagnéticas.

### LÂMPADA INCANDESCENTE

O princípio de funcionamento de uma lâmpada incandescente segue o princípio físico acima apresentado, em que, ao aplicarmos uma corrente elétrica em um metal, no caso, o tungstênio, este fica incandescente e emite luz. O princípio de geração de luz neste caso deve-se à movimentação dos elétrons entre as diversas órbitas dos átomos do tungstênio gerando os fótons de luz. É importante ressaltar que os fótons de luz gerados apresentam vários comprimentos de ondas e, no caso particular da lâmpada incandescente, tem sua distribuição espectral conforme mostra a Figura 1.

Conforme podemos notar na Figura 1, temos uma distribuição espectral com comprimentos de onda que vão desde o ultravioleta (uva) da ordem de 380 nm até a faixa do infravermelho (acima de 800 nm), passando por todos os outros valores intermediários. Observamos também uma alta concentração de fótons na faixa do amarelo e do vermelho e que a grande maioria dos fótons gerados está concentrada na faixa do infravermelho,



**Figura 1 – Espectro de distribuição de potência de uma lâmpada incandescente.**

radiação esta não percebida pelo olho humano e, conseqüentemente, não visível. Este é o principal motivo pelo qual as lâmpadas incandescentes são ineficientes sob o ponto de vista de

luz, pois transformam grande parte da energia elétrica em luz não visível ao olho humano.

Como informação adicional, somente cerca de 5% da energia elétrica

aplicada a uma lâmpada incandescente é transformada em luz visível, o que resulta em baixa eficácia, normalmente, em torno de 15 a 20 lúmens por watt.

### LÂMPADA FLUORESCENTE

Apesar de utilizar o mesmo processo físico de geração de luz da lâmpada incandescente, a lâmpada fluorescente incorpora uma novidade que é, primeiro, a geração de fótons ultravioletas para, depois, transformá-los em luz visível. O processo básico consiste na utilização de gases inertes, geralmente, o argônio e o vapor de mercúrio que, quando excitados pelos elétrons gerados pelos eletrodos da lâmpada resultam em luz ultravioleta, que, por sua vez, excita os átomos do fósforo depositados nas paredes internas do vidro da lâmpada, resultando, finalmente, em fótons de vários comprimentos de onda percebidos como luz branca.

Mesmo com esse processo, aparen-

temente mais complexo do que o da lâmpada incandescente, temos maior aproveitamento da energia elétrica fornecida ao sistema, sendo que a eficácia das fluorescentes é bem maior do que a das incandescentes, principalmente, pelo fato de termos menor geração de luz infravermelha. A eficácia das lâmpadas fluorescentes é variada e depende da tecnologia e dos invólucros utilizados. Este valor normalmente está compreendido entre 60 e 100 lúmens por watt.

Quanto ao espectro de distribuição de potência, as lâmpadas fluorescentes geralmente apresentam espectro não contínuo, como observado nas lâmpadas incandescentes, consistindo de picos de potência em determinados comprimentos de onda. Um exemplo de uma distribuição espectral de uma lâmpada fluorescente é apresentado na Figura 2.

Como pudemos observar através dos dois exemplos apresentados até agora, tanto a lâmpada incandescente como a fluorescente geram luz branca através da geração de fótons de vários comprimentos de onda que, quando integrados, resultam na percepção de luz branca. Por outro lado, os invólucros nos quais a luz é gerada são geralmente compostos de eletrodos, filamentos, gases inertes, bulbos de vidro, etc., e aí é que temos a primeira grande diferença quando comparamos com Leds, pois nestes, a geração de luz é feita no sólido, por isso, o emprego do termo “iluminação de estado sólido” ou “solid state lighting”.

## LEDS

O Led, diodo emissor de luz, ou Light Emitting Diode, é um componente eletrônico semiconductor, mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que têm a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Esta transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, entre

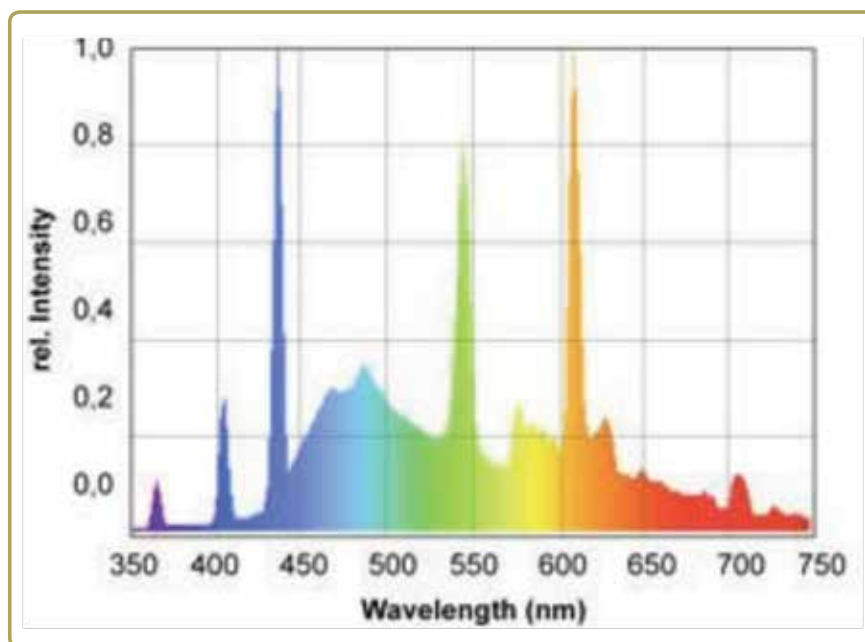


Figura 2 – Exemplo de um espectro de distribuição de potência de uma lâmpada fluorescente.

outras. No Led, a transformação da energia elétrica em luz é feita no sólido, sendo, por isso, chamada de estado sólido. Como comparação, podemos citar que os Leds estão para as lâmpadas convencionais, assim como os transistores estão para as válvulas eletrônicas.

É plenamente conhecida a contribuição que os transistores trouxeram e ainda trazem para a revolução da eletrônica ocorrida nos últimos 50 anos e hoje estamos vivendo uma nova revolução, agora da iluminação, com o contínuo avanço da tecnologia dos Leds, substituindo cada vez mais as lâmpadas convencionais.

Mais especificamente, o Led é uma estrutura cristalina composta de dois tipos de materiais, o primeiro chamado de tipo “N”, que é um material rico em elétrons, e o segundo chamado de tipo “P”, material pobre em elétrons. Como visto anteriormente, a fim de gerarmos luz, precisamos criar um ambiente em que haja a combinação de elétrons com “lacunas”, pois sempre que isto acontece, há a liberação de energia em forma de fótons. Tal estrutura cristalina é formada sobre um substrato transparente, no caso dos Leds azuis, em que se utiliza safira ou

silicon carbide e sobre este substrato são adicionadas as impurezas, normalmente InGaN (Índio, Gallium, Nitride). Um outro tipo de substrato (GaN) também começa a ser utilizado com a vantagem de ser mais compatível com as impurezas, resultando em maior estabilidade do cristal.

Uma vez obtido o chip semiconductor que emite luz azul, temos a adição de mais um processo que consiste na aplicação de uma camada de fósforo para que tenhamos a conversão da luz azul em branca. Este processo é bem similar ao da lâmpada fluorescente, só que, neste caso, a luz que excita o fósforo é ultravioleta. A luz azul excita os átomos do fósforo e estes geram luz com vários comprimentos de onda, formando luz branca.

Na Figura 3, apresentamos as influências do chip azul (luminescência) e o fósforo YAG (fosforescência) na formação do espectro de distribuição de potência de um Led branco.

A tecnologia de iluminação de estado sólido oferece vários benefícios sobre a iluminação convencional, dos quais destacamos:

- **Maior vida útil** – Reconhecidamente,

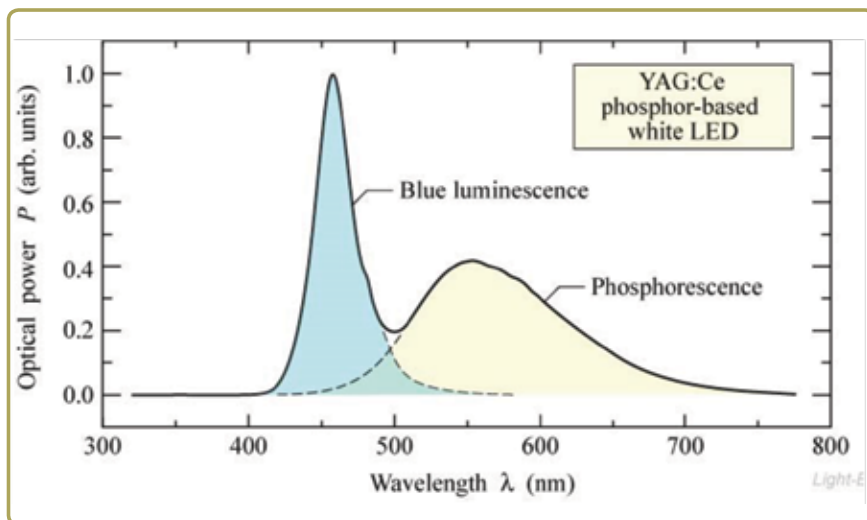


Figura 3 – Composição do espectro de potência de um Led branco.

o Led oferece vida útil superior quando comparado com as lâmpadas. Vida útil é definida como a capacidade de manter 70% do fluxo original por um período de 50.000 horas;

- **Menor consumo de energia** – Para se obter a mesma quantidade de luz, o Led necessita de menor quantidade de energia;

- **Custo de manutenção reduzido** – Em função da maior vida útil, menor é a necessidade de trocas, com isso, são gerados menores custos de manutenção;

- **Maior eficácia** – Mais lúmens gerados com menor quantidade de energia, atingindo valores da ordem de 200 lúmens por watt em algumas situações. Com isso, podemos afirmar que hoje, o Led é a fonte de luz com maior eficácia. Projeções mostram que a eficácia do Led ainda tem muito a progredir;

- **Alta resistência a impactos e vibrações** – por não ter peças móveis, bulbos de vidro e gases, os Leds são altamente resistentes a impactos e vibrações. Em algumas aplicações, este benefício tem fundamental importância para o bom funcionamento da luminária;

- **Acionamento instantâneo** – O Led é a fonte de luz com o menor tempo de acionamento, o que o torna ideal para vários tipos de produtos;

- **Facilidade de dimerização** – Como os Leds são alimentados por corrente

elétrica, várias são as possibilidades de dimerização;

- **Não emissão de radiação ultravioleta ou infravermelho** – O Led branco não contém radiação ultravioleta ou infravermelho no feixe de luz, fato este que é muito importante em determinados tipos de aplicação;

- **Ecologicamente viável** – Sem nenhum tipo de metal pesado ou gases nocivos à natureza, os Leds são ecologicamente corretos e estão de acordo com todas

as normas de controle de emissão de elementos nocivos ao meio ambiente.

### OS LEDS COM RELAÇÃO À SUA POTÊNCIA ELÉTRICA

Os primeiros Leds brancos surgiram em dois tipos de encapsulamento: de 5 mm, tecnicamente conhecido como T1¼ e o de 3 mm, conhecido como T1. Estes Leds ofereciam fluxos luminosos da ordem de 0,5 lúmens. Na verdade, eram especificados em unidades de candelas pois apresentavam ângulo máximo de emissão de 30°, com potência da ordem de 70 mW, resultando em uma eficácia de 7 lúmens/watt, isso para temperatura de cor de 6500 K, pois não existiam Leds com temperaturas de cor quentes. IRC? Nem pensar!

No entanto, o cenário começou a mudar quando foi lançado o primeiro Led branco de potência no ano 2000. Este Led, conhecido como Luxeon®, apresentava um fluxo luminoso da ordem de 20 lúmens, consumindo 1,23 W, resultando em uma eficácia expressiva, para a época, é claro, de 16 lúmens/watt ainda em branco frio de aproximadamente 6500 K. O mais interessante de tudo é que este



Figura 4 – Alguns exemplos de encapsulamentos utilizados atualmente pelos fabricantes.

Led chegava a custar US\$ 6 no mercado internacional.

Pode-se dizer que a grande revolução da iluminação de estado sólido realmente aconteceu depois do surgimento do primeiro Led de potência, pois começou a viabilizar projetos de fontes de luz mais compactas e com alto fluxo luminoso. Aos poucos, foram desenvolvidos arranjos de Leds, que possibilitavam a fabricação de luminárias para uso externo, de alto fluxo, porém, sempre com temperatura de cor fria.

Com o decorrer dos anos, vários tipos diferentes de encapsulamento foram desenvolvidos sempre observando a capacidade de dissipação térmica, pois, cada vez mais, temos chips semicondutores maiores, o que resulta em maior quantidade de fluxo luminoso, porém, em mais dissipação de calor. Na Figura 4, apresentamos alguns encapsulamentos hoje utilizados pelos fabricantes de Leds e notamos a diversificação de encapsulamentos, pois

a tecnologia ainda está em evolução, tornando difícil a padronização.

Em termos de potências elétricas, podemos classificar os Leds brancos em três grandes grupos:

- **Leds de baixa potência (low power)** – Componentes com potência elétrica de até 250 mW com fluxo luminoso de 20 a 35 lúmens;
- **Leds de média potência (mid power)** – Componentes com potência elétrica compreendido entre 250 mW e 1 W, com fluxo luminoso de 35 a 150 lúmens;
- **Leds de alta potência (high power)** – Componentes com potência elétrica acima de 1 W com fluxo luminoso de 150 lúmens até 15000 lúmens.

Quando projetamos uma fonte de luz de qualquer luminária, a observação da faixa de potência é fundamental, pois, dependendo das circunstâncias, temos que fazer a melhor escolha, levando em consideração parâmetros, como eficácia (lúmens/watt),

custo (lúmens/R\$) e parâmetros técnicos, como dissipação de calor, diretamente ligada ao valor da resistência térmica do encapsulamento do Led; fluxo luminoso individual; tensão direta, etc.

No próximo artigo, iremos tratar deste assunto com mais detalhes por meio de uma abordagem mais técnica, em que serão interpretados os principais parâmetros elétricos, óticos e térmicos dos Leds.

*\*Vicente Scopacasa é engenheiro eletrônico com pós-graduação em administração de marketing. Tem sólida experiência em semicondutores, tendo trabalhado em empresas do setor por mais de 40 anos. Especificamente em Leds, atuou por mais de 30 anos em empresas líderes na fabricação de componentes, tanto no Brasil como no exterior. Atua hoje como consultor na área de iluminação de estado sólido e como professor em cursos de especialização e de pós-graduação.*

#### CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)