



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Leonardo Barbosa Lopes

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2014

UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Leonardo Barbosa Lopes

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinada por:

D. Eng. Jorge Luiz do Nascimento
(Orientador)

D. Sc. Sebastião Ércules Melo de Oliveira
(Examinador)

Prof. Gustavo da Silva Viana, Eng. Eletricista
(Examinador)

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2014

Lopes, Leonardo Barbosa

Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública /
Leonardo Barbosa Lopes – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola
Politécnica, 2014

X,57 p.: il.; 29,7cm

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de
Engenharia Elétrica, 2014

Referências Bibliográficas: p. 69-70.

1. A Tecnologia LED. 2.Evolução da Iluminação Pública no Brasil 3.
Estudo de Mercado Brasileiro. I. do Nascimento, Jorge Luiz. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,
Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título

Dedico este trabalho ao meu pai, Eduardo,
à minha mãe, Fátima,
à minha namorada Deborah,
e a todos os meus amigos e familiares

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por me dar forças nos momentos mais difíceis da minha vida, quando achei que não seria possível.

Agradeço aos meus pais, Eduardo e Fátima, que durante toda a minha trajetória fizeram todos os sacrifícios imagináveis para me oferecer a melhor educação possível.

À minha namorada Deborah, que tem sido muito importante na minha vida, me incentivando todos os dias.

Ao professor Jorge Luiz, pela orientação e contribuição à minha formação.

Finalmente, agradeço a todos os meus amigos e familiares, que, de alguma forma me ajudaram nessa caminhada.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Leonardo Barbosa Lopes

Fevereiro/2014

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

Atualmente a busca por soluções energéticas eficientes e mais limpas se torna cada vez mais crescente. Nesse cenário, a tecnologia LED é abordada como alternativa e solução para a iluminação pública brasileira, já que proporciona uma redução no consumo de energia quando comparada aos antigos equipamentos utilizados.

Por ser uma tecnologia relativamente nova, seu custo ainda é considerado caro considerando as outras formas de iluminação isoladamente. No entanto, com a intensificação dos estudos nessa área, a tendência é que esse custo diminua e seja cada vez mais interessante propor tal solução. No Brasil, esse não é o único desafio dessa aplicação na iluminação pública. Ainda faltam normas estabelecendo padrões para sua utilização.

Este trabalho oferece um material técnico consolidado com os principais modelos de luminárias LED disponíveis no mercado brasileiro para iluminação pública. São apresentados também alguns casos de cidades brasileiras que já contam com essa fantástica tecnologia. O principal objetivo é incentivar a utilização da lâmpada LED em grande escala no cenário brasileiro de iluminação pública.

Palavras-chave: Soluções Energéticas, Tecnologia LED, Iluminação Pública Brasileira.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Electric Engineer.

AN EVALUATION OF LED TECHNOLOGY IN STREET LIGHTING

Leonardo Barbosa Lopes

February/2014

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

Currently the search for energy efficient and cleaner solutions becomes increasingly growing. In this scenario, LED technology is considered as alternative solution to the Brazilian public lighting as it provides a reduction in power consumption when compared to older equipment used.

As a relatively new technology, its cost is still considered expensive considering other forms of lighting alone. However, with the intensification of studies in this area, the trend is that this cost decreases and is increasingly interesting to propose such a solution. This is not the only challenge for this application in public lighting in Brazil. There are still not enough rules establishing standards for their use.

This work provides a consolidated technical material with the main models of LED lamps available in the Brazilian market for public lighting. Some cases of Brazilian cities that already have this fantastic technology are also featured. The main objective is to encourage the use of LED lamp on a large scale in the Brazilian scene of street lighting.

Keywords: Energy Solutions , LED Technology , Brazilian Public Lighting .

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Iluminação LED na Lagoa Rodrigo de Freitas	3
Figura 2.1 – Junção p-n e polarização direta com bateria	8
Figura 2.2 – Tabela cromática	8
Figura 2.3 – Exemplo de circuito LED.....	14
Figura 2.4 – Comparativo LED x Fluorescente.....	16
Figura 2.4 – Fonte de tensão	18
Figura 2.5 – Esquema de ligação para fonte de tensão	18
Figura 2.6 – Fonte de corrente	19
Figura 2.7 – Esquema de ligação para fonte de corrente	19
Figura 2.8 - Exemplo de dissipador estrela	20
Figura 2.9 – Exemplo de minirefletores que fazem a ótica secundária.....	22
Figura 2.10 – Quadro de intervalo de cores da seleção de BIN	24
Figura 2.11 – Iluminação de uma parede sem controle de BINs.....	24
Figura 2.12 – Interior do LED	25
Figura 4.1 – Luminária LED Green Cobra GC1	37
Figura 4.2 – Luminária Led Green King Cobra GC2.....	38
Figura 4.3 – Luminária SUPERLED SL-A2	39
Figura 4.4 – Luminária SUPERLED SL-A3	40
Figura 4.5 – Luminária Roadstar Philips.....	41
Figura 4.6 – Luminária Essential Philips	41
Figura 4.7 – Projetor Tunnel LED Philips	42
Figura 4.8 – Luminária Golden Extreme LED Iluminação Pública.....	43
Figura 4.9 – Luminária Golden LED Iluminação Pública CH	44
Figura 4.10 – Luminária GE Iberia LED	45
Figura 4.11 – Luminária GE T250	46
Figura 4.12 – Luminária LED GE Cobrahead R150 Pro	46
Figura 4.12 – Luminária Street Light LS LEDSTAR	47
Figura 4.13 – Luminária LED E-Light LE	48
Figura 4.15 – Luminária Osram DL 500 LED	49

Figura 4.16 - Luminária Osram Streetlight 10 midi LED	50
Figura 4.17 – Luminária LED com o anteparo pendente em segurança	52
Figura 4.18 – Ajustes vertical e horizontal da luminária LED	53
Figura 5.1 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão 250W.....	55
Figura 5.2 – Foto do trecho antes da instalação do sistema LED.....	57
Figura 5.3 – Foto do trecho após a instalação do sistema LED	58
Figura 5.4 – Trecho de túnel do Rodoanel com iluminação a vapor metálico.....	59
Figura 5.5 – Trecho de túnel do Rodoanel após a instalação do sistema LED	60
Figura 5.6 – Aplicação da tecnologia LED em trecho do RodoAnel.....	60
Figura 5.7 – Trecho da Ciclovia Beira-Mar Norte antes do sistema LED	61
Figura 5.8 – Trecho da Ciclovia Beira-Mar Norte após o sistema LED.....	62
Figura 5.9 – Pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos com iluminação a vapor de sódio	63
Figura 5.10 – Pontes de Florianópolis com o sistema LED.....	63
Figura 5.11 – Lagoa Rodrigo de Freitas com a antiga iluminação a vapor de sódio	64
Figura 5.12 – Trecho da Lagoa Rodrigo de Freitas com a nova iluminação LED	65

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Tabela para grau de proteção de equipamentos elétricos (Primeiro dígito)	11
Tabela 2.2 – Tabela para grau de proteção de equipamentos elétricos (Segundo dígito)	12
Tabela 4.1 – Dados referentes à luminária LED Green Cobra GC1 de 80W.....	38
Tabela 4.2 – Dados referentes à luminária LED Green King Cobra GC2	38
Tabela 4.3 – Dados referentes à luminária LED SUPERLED SL-A2 para iluminação pública	39
Tabela 4.4 – Dados referentes à luminária LED SUPERLED SL-A3 para iluminação pública	40
Tabela 4.5 – Dados referentes à luminária Roadstar Philips	41
Tabela 4.6 – Dados referentes à luminária Essential Philips.....	42
Tabela 4.7 – Dados referentes ao projetor Tunnel LED Philips.....	43
Tabela 4.8 – Dados referentes à luminária Golden Extreme LED	44
Tabela 4.9 – Dados referentes à luminária Golden LED Iluminação Pública CH.....	45
Tabela 4.10 – Dados referentes à luminária GE LED Iberia.....	46
Tabela 4.11 – Dados referentes à luminária LED GE R150 PRO	47
Tabela 4.12 – Dados referentes à luminária Street Light LS LEDSTAR	48
Tabela 4.13 – Dados referentes à luminária LED E-Light LE.....	48
Tabela 4.14 – Dados referentes à luminária Osram SQ 50 LED	49
Tabela 4.15 – Dados referentes à luminária Osram DL 500 LED.....	50
Tabela 4.16 – Dados referentes à luminária Osram Streetlight 10 midi LED.....	51
Tabela 4.17 – Comparativo das características elétrica e luminotécnicas das principais luminárias LED	51
Tabela 5.1 – Comparativo elétrico entre o sistema antigo e o sistema novo com luminárias LED	56

Sumário

1 - Introdução	1
2 - A tecnologia LED	5
2.1 - Informações gerais	5
2.2 - Características elétricas do LED.....	12
2.3 - Principais vantagens e desvantagens da tecnologia LED	15
2.3.1 - Vantagens da lâmpada LED	15
2.3.2 - Desvantagens da lâmpada LED	17
2.4 – Detalhes construtivos do LED.....	23
3 - Evolução da iluminação pública no Brasil	26
3.1 - Cenário do passado	26
3.2 – O Programa RELUZ.....	28
3.3 – Desenvolvimento da Iluminação Pública	30
3.4 – Regulamentação, Legislação e Aspectos Gerais da Iluminação Pública	31
3.5 – Aspectos de Padronização da tecnologia LED e Iluminação Pública	34
4 – Estudo do Mercado Brasileiro.....	37
5 - Exemplos de instalações	54
5.1 - Projeto piloto – Campus da UFJF	54
5.2 – Iluminação LED nos túneis do RodoAnel	58
5.3 - Ciclovia da Beira-Mar Norte.....	60
5.4 – Pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos	62
5.5 - Lagoa Rodrigo de Freitas.....	63
6 – Conclusão.....	66
6.1 - Propostas para trabalhos futuros.....	68
Bibliografia.....	69

1 - Introdução

Não só no Brasil, como em todo mundo, sabe-se que vias públicas providas de iluminação são fundamentais para a vida moderna. Destacam-se duas funções principais: a melhoria da segurança pública nas cidades e o desenvolvimento social da população. A sensação de segurança por parte dos usuários das vias públicas é muito maior quando a iluminação pública é de qualidade, isto é, a mesma é apresentada como fator de redução da criminalidade.

Desde a pré-história, a evolução está ligada à utilização de iluminação natural e artificial, uma vez que o desenvolvimento do cérebro está relacionado às funções da visão. Nos povos antigos, já havia sinais de uso da iluminação artificial por meio da utilização de óleo. A provável origem da iluminação pública ocorreu em 1415 quando comerciantes ingleses solicitaram providências para combater o crime. As lâmpadas a gás, então, passaram a ser utilizadas em larga escala durante o século XIX e início do século XX, quando foram substituídas pelas lâmpadas elétricas.

Inicialmente, o sistema de iluminação pública no Brasil foi feito com a utilização de lâmpadas incandescentes. Alguns anos depois novas tecnologias de lâmpadas foram surgindo e transformando o mundo da iluminação: lâmpada de luz mista, lâmpada a vapor de mercúrio e mais recentemente lâmpada a vapor de sódio de alta pressão. Essa constante mudança de lâmpadas pode ser explicada pelo aparacimento de tecnologias mais eficientes, mais duradouras, com menor consumo de energia e menor frequência na realização de manutenção.

Gradualmente, a rede de distribuição elétrica foi sendo construída e sua instalação no Brasil desenvolveu-se na condição predominantemente aérea. Isso possibilitou o uso desses postes também para o sistema de iluminação pública. O elevado número de pontos de luz¹ no Brasil aponta a necessidade do uso de tecnologias com baixo consumo de energia e que obedeçam as necessidades mínimas de iluminação, definidas pela norma brasileira NBR 5101:2012 – iluminação pública (ABNT, 2012).

A concessionária de energia é responsável pela distribuição da energia nos locais públicos de cada Município da sua área de concessão. O serviço de operação e manutenção das instalações de iluminação pública – tais como lâmpadas e postes e demais componentes da iluminação das ruas e locais públicos – como também a sua expansão, é de responsabilidade das Prefeituras e de seus órgãos competentes.

¹ Termo usado na linguagem coloquial para definir uma unidade de geração de luz aplicada à iluminação urbana.

Nesse cenário, surge a tecnologia LED (*Light Emitting Diode*), o diodo emissor de luz, que vem conquistando seu espaço, devido principalmente à sua enorme durabilidade e eficiência energética. Essa tecnologia está em pleno desenvolvimento e apresenta um crescimento contínuo de eficiência ao longo dos anos, permitindo propor que no atual estágio tecnológico já seja possível sua implementação em larga escala.

O LED é um tipo de diodo semicondutor em estado sólido. A luz é gerada dentro de um chip cujo tamanho não é maior do que $0,25 \text{ mm}^2$. Esse chip é um cristal em estado sólido e, por isso, é muito utilizado um termo inglês para definir essa nova forma de se fazer luz, o SSL (*Solid State Light*), que quer dizer luz em estado sólido.

Deve-se destacar também a possibilidade de um aproveitamento melhor da luz já que devido às pequenas dimensões da fonte de luz, arranjos de diversas fontes são permitidos. Dessa forma, temos uma melhor distribuição da luz e evita-se que locais onde não seja necessária a aplicação de luz sejam iluminados.

Para determinar a vida útil do LED, é necessário distinguir entre falha paramétrica (degradação do rendimento luminoso) e falha catastrófica (ausência de emissão de luz por parte do LED). Quando os fabricantes se referem a uma vida útil de L70 estão falando do tempo em que uma porcentagem específica dos LED diminui para 70% do fluxo luminoso original. Essa porcentagem de LED é expressa em B. Por exemplo, B50 indica 50%. Porém, na determinação dessa vida útil, não se tem em conta qualquer possível avaria dos LEDs, fator que é excluído dos testes.

Um LED defeituoso é, no entanto, importante para os utilizadores. Quando a determinação da vida útil leva em conta os LEDs avariados, faz-se referência à vida útil F, que é tipicamente inferior à vida útil B. Por exemplo, L70F-10 expressa o intervalo de tempo em que 10% dos LED caem para menos de 70% do fluxo luminoso original ou falham por qualquer outro motivo. As normas e recomendações internacionais vão promover e até impor cada vez mais a definição F para a vida útil dos LEDs.

Embora o estudo e as pesquisas sobre a tecnologia LED continuem avançando bastante atualmente, poucas pessoas sabem realmente o que é e como funciona de fato. Isso ocorre principalmente porque é uma tecnologia que ainda não é utilizada em proporções consideráveis devido ao seu alto custo. Uma luminária LED de 150W, que substitui uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 250W pode chegar a custar R\$ 2.000,00.

Na verdade é preciso considerar o custo total de um sistema de iluminação, desde sua especificação, instalação até a troca quando deixarem de funcionar adequadamente. Custos como energia e reposição devem ser considerados quando se comparam LEDs com sistemas tradicionais.

Portanto, qualquer contribuição na área será de fundamental importância e por isso a proposta deste trabalho é oferecer um material técnico consolidado com os principais modelos de luminárias LED disponíveis no mercado brasileiro para iluminação pública e uma avaliação econômica, qualitativa, quantitativa e ambiental.

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi o interesse adquirido quando cursava a disciplina Técnicas de Iluminação. Nessa altura, tive a oportunidade de desenvolver um trabalho específico sobre conceitos de luminotécnica e lâmpadas fluorescentes. Além disso, existe um desejo de contribuir com informações relevantes a fim de se facilitar a aplicação da tecnologia LED em maiores proporções na iluminação pública brasileira.

No Brasil, já existem alguns casos de utilização de lâmpadas LED na iluminação pública. A ciclovia Beira-Mar Norte, em Florianópolis, por exemplo, recebeu 366 luminárias com a tecnologia LED e esse projeto foi viabilizado por meio do consórcio SQE Luz em parceria com a GE Iluminação. Essa troca representou uma economia no consumo de energia de 50% quando comparada à tecnologia de lâmpadas a vapor metálico, anteriormente utilizada. As luminárias utilizadas foram instaladas a oito metros do chão e permitem boa visualização de cores e formas, oferecendo maior segurança em toda a extensão da ciclovia.

Porém, a utilização de lâmpadas LED na iluminação pública de cidades brasileiras ainda é muito reduzida considerando os aspectos positivos que tal tecnologia pode oferecer. Com o constante avanço tecnológico, a tendência é de mudança nesse panorama. Na Figura 1.1 observa-se outro exemplo de cidade brasileira com luminárias LED instaladas.



**Figura 1.1 – Iluminação LED na Lagoa Rodrigo de Freitas
(Fonte: Geblogs, 2012)**

Com intuito de atender aos objetivos apresentados foi definida a metodologia de trabalho que consiste em pesquisa bibliográfica, procurando realizar revisão bibliográfica em dissertações, teses, artigos científicos, artigos jornalísticos, relatórios técnicos, livros e outras publicações relacionadas ao tema.

Para se estudar e mostrar os resultados propostos, este trabalho foi dividido em seis capítulos, sendo esta Introdução o primeiro deles. No capítulo 2 são apresentadas as principais características e conceitos para se compreender a tecnologia LED. No capítulo 3 é apresentada a evolução da iluminação pública no Brasil, mostrando o cenário do passado e a evolução da iluminação pública bem como aspectos de regulamentação, legislação e padronização da tecnologia LED. No capítulo 4 é feito um estudo do mercado brasileiro, com a oferta das principais lâmpadas LED e suas características técnicas e econômicas. O capítulo 5 introduz alguns exemplos de instalações com LED e suas características econômicas, técnicas, energéticas, sociais e ambientais. E por fim, o capítulo 6 é destinado à conclusão do trabalho.

2 - A tecnologia LED

2.1 - Informações gerais

Dispositivos semicondutores eletroluminescentes estão assumindo uma grande importância no mundo de hoje. São vários os dispositivos relacionados a essa família: painéis eletroluminescentes, diodos a laser, diodos infravermelhos, LED (Light Emitting Diode) e painéis LED.

O uso racional dos recursos é uma preocupação que aumenta a cada dia em virtude do desequilíbrio ambiental que hoje vivemos. Por isso, novas alternativas de energia podem contribuir e muito para uma melhor utilização dos recursos energéticos. A lâmpada LED não possui materiais danosos ao meio ambiente, ao contrário da lâmpada fluorescente. Sendo assim, o LED quando descartado contamina menos o meio ambiente no seu processo de descarte, pois é constituído de poucas matérias, sendo que sua maioria é alumínio, que pode ser reprocessado com mais facilidade que outros materiais.

Além disso, os LEDs possibilitam uma emissão de luz uniforme e constante, que permite o aumento do conforto visual tanto em áreas internas, como nas externas. Enquanto a maior parte das soluções convencionais se destina a aplicações específicas ou em um número reduzido de situações, equipamentos com LED podem ser instalados numa vasta gama de ambientes. O LED já está presente em nossas vidas em áreas residenciais, comerciais, industriais, de iluminação pública e para decoração.

A grande desvantagem do LED ainda é o alto custo de aquisição. Enquanto uma única lâmpada incandescente custa em torno de R\$ 1,50, e uma fluorescente em torno de R\$ 12,00, uma única lâmpada LED custa em torno de R\$ 30,00. Fazendo uma análise mais geral, o investimento pode valer a pena no longo prazo, tendo o seu valor resgatado em torno de cinco anos, somente em economia de energia.

Se a história do LED for abordada, nos deparamos com algo que data do início do século XX, mais precisamente do ano de 1907. Henry Joseph Round descobriu acidentalmente os efeitos físicos da eletroluminescência em 1907. A eletroluminescência é um fenômeno que ocorre quando o material semicondutor emite luz sob a ação de campo elétrico. Na época, o pesquisador notou um fenômeno curioso: o cristal de SiC (carborundum) emitiu uma luz amarelada ao ser aplicada uma pequena tensão elétrica. Sua pesquisa era sobre radiotransmissão e por isso o efeito ficou esquecido até 1921.

Em 1955, Rubin Branstein, da Radio Corporation of America, realizou experiências com emissão infravermelha utilizando semicondutores como gálio e

arsênio. E o primeiro diodo vermelho foi introduzido no mercado em 1962, com a tecnologia de Fosfeto de Arseneto de Gálio. Nick Holonyak Jr., da General Electric, conseguiu obter luz visível (vermelha) a partir de um LED. Robert Biard e Gary Pittman patentearam o LED, já que o haviam descoberto na cor vermelha em 1961, mas Holonyak é considerado o criador do LED, pois foi ele quem conseguiu tornar a luz visível.

Nos anos 60 e 70 as empresas de calculadoras e computadores começaram a utilizar de forma pioneira os LEDs como indicadores de liga e desliga de seus aparelhos. Sua utilização cresceu bastante e em 1971 o LED tornou-se disponível nas cores amarela, verde e laranja. A Siemens trouxe para o mercado o primeiro LED radial em 1975, dando prosseguimento ao crescimento do desempenho do LED.

Pesquisadores japoneses descobriram o OLED (LED orgânico) em 1990. Sua evolução passa a ser uma realidade e competir saudavelmente com os LEDs tradicionais, tendo vantagens em algumas aplicações. Também foi durante a década de 1990 que a indústria automobilística começou a se interessar pelos LEDs e a aplicá-los em alguns pontos dos veículos, como lanterna, sinaleira, painel e etc. Com o interesse desses gigantes industriais, juntamente com a sua utilização, houve mais pesquisas, e o LEDs passaram a ter cores mais variadas e brilho mais intenso.

Em 1993 é lançado o primeiro diodo de Nitreto de Gálio e Índio, que emite luz nos espectros azul e verde de maneira extremamente eficiente. O LED azul é a base para o LED branco. A descoberta do LED azul é atribuída ao Dr. Shuji Nakamura e considerada um marco fundamental na indústria de iluminação mundial. A Osram lançou o primeiro LED branco em 1995 e o chamou de PowerTopLED.

Nos anos de 1997 e 1998 surgem as primeiras luminárias para uso arquitetural, produzidas em larga escala. Os modelos foram apresentados em feiras especializadas nos EUA e na Europa e eram dos tipos balizadores de piso e luzes de emergência. Em 2000 a Lumileds-Philips lança o LED Luxeon I, elevando o patamar da tecnologia a níveis de 25 lumens em um único emissor, o que, para a época, era uma revolução. Muitas indústrias adotam essa plataforma, e o desenvolvimento de soluções como ótica secundária, dissipação térmica, drivers, controles e softwares apareceram, possibilitando uma mais efetiva utilização dos LEDs na iluminação geral.

O cenário de desenvolvimento permanece, sendo criado o Luxeon III (da Lumileds), com emissão de até 80 lumens. O ano de 2003 é da geração de cor branca com temperatura de cor² de 3.200K e IRC³ de 90. Até então, o branco era conseguido

² Esse parâmetro está relacionado com a sensação de conforto que uma lâmpada proporciona em um determinado ambiente. Quanto mais alto for o valor da temperatura de cor, mais branca será a luz emitida, denominada comumente de 'luz fria' e quanto mais baixa for a temperatura de cor, a luz será mais amarelada, denominada de 'luz quente'.

em altas temperaturas de cor, acima de 5.000K. Em 2008 surge o LED de desempenho ainda maior, que chega a eficiência de até 120 lm/w com IRC de 80-89%.

A partir disso tudo, muitas empresas começaram a desenvolver seus LEDs de Potência. Atualmente uma grande quantidade de fábricas de luminárias desenvolve produtos com LEDs, mas as tradicionais empresas de iluminação do mundo estão investindo cada vez mais em soluções de LEDs com luz branca de excelência e alto índice de reprodução de cores (IRC).

Empresas como Osram, Philips e GE investem muito para conseguir oferecer produtos com LEDs de qualidade, capazes de competir com as lâmpadas tradicionais, considerando sempre o total do investimento, ou seja, LEDs em condições de serem ligados e produzirem luz semelhante à oferecida pelas lâmpadas tradicionais, como fluorescentes e halógenas, com os seus equipamentos correspondentes ou de instalação direta com soquetes normais, o que vem a facilitar o retrofit, especialmente de uso doméstico.

O LED (diodo emissor de luz) é basicamente um componente eletrônico formado através de uma junção p-n de um semicondutor. Quando os semicondutores recebem a deposição de elementos providos de carga (positiva ou negativa) acabam se tornando levemente carregados positivamente (com ausência de elétrons), ou negativamente (com elétrons livres).

Dessa maneira, existem dois tipos de materiais na junção p-n: um com lacunas (positivo) e outro com elétrons (negativo). À medida que passa uma corrente elétrica, forçando o fluxo de elétrons em direção às lacunas, a recombinação elétron-lacuna provoca a liberação de energia sob a forma de radiação eletromagnética (Figura 2.1). Em determinados tipos de semicondutores essa energia radiada está na faixa do espectro da luz.

³ O índice de reprodução de cor de uma fonte luminosa é a medida de cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC 100% é a que apresenta as cores de um objeto com máxima fidelidade.

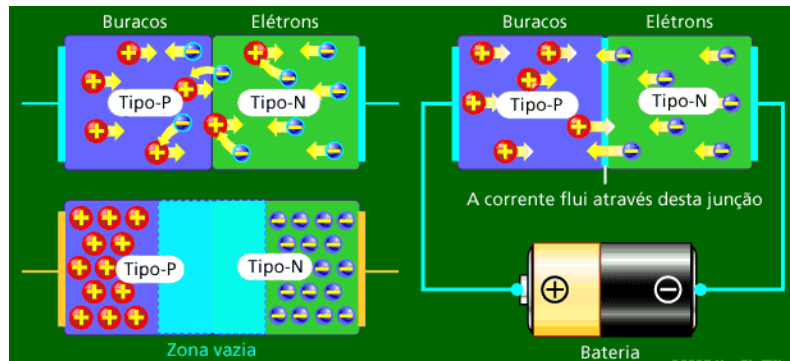


Figura 2.1 – Junção p-n e polarização direta com bateria

(Fonte: HowStuffWorks)

Portanto, a junção p-n, ou o diodo, por si só, não produz luz. É necessária a presença de uma fonte de energia polarizada externa, promovendo a combinação dos elétrons com as lacunas, liberando fótons e produzindo luz. Essa luz é monocromática e depende dos níveis de energia necessários para os elétrons se combinarem com as lacunas. Por isso, materiais diferentes têm níveis de energia diferentes.

As variações de cores monocromáticas emitidas pelos LEDs são função dos materiais que compõem os elementos semicondutores e cada um corresponde a uma cor (comprimento de onda). Na Figura 2.2 é apresentada a tabela cromática, em que cada elemento produz uma cor de luz. No centro está representado o branco, que é o somatório em proporção adequada de todas as cores e que pode ser conseguido através de três técnicas distintas como mostrado a seguir.

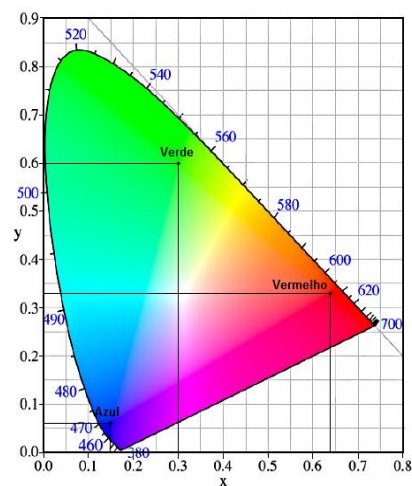


Figura 2.2 – Tabela cromática

Principais técnicas para obtenção do branco:

- **Primeira técnica: Luz azul + fósforo amarelo** – essa é a forma mais utilizada, que consiste em colocar uma camada de fósforo amarelo em cima do LED azul. Na passagem da luz azul pelo fósforo, ela se transforma na luz branca, num processo semelhante ao que ocorre na formação da luz fluorescente, em que o UV⁴ (ultravioleta) atravessa uma camada de fósforo se transformando em luz visível. Apesar do processo nos LEDs ser diferente, não deixa de lembrar o fenômeno luminoso das fluorescentes. Nesse fósforo amarelo, na verdade, existem fósforos emissores de luz visível (RGB), que são excitados abrangendo várias frequências e fornecendo a luz branca.
- **Segunda técnica: Mistura de cores** – consiste em misturar diretamente luzes de três fontes monocromáticas, vermelhas, verdes e azuis (processo RGB – red, green, blue), a fim de se produzir uma fonte de luz branca através da combinação das três cores no olho humano.
- **Terceira técnica** – Utiliza um LED azul para excitar um ou mais fósforos emissores de luz visível. O LED é projetado para deixar escapar um pouco da luz azul entre o fósforo para gerar a porção azul do espectro, enquanto o fósforo converte a porção remanescente da luz azul em porções vermelhas e verdes no espectro.

Outro tipo de LED que deve ser lembrado é o LED de sinalização, também conhecido como radial. Foi o primeiro a aparecer no mercado, e atualmente continua sendo usado de forma abundante, pois tem na sua característica principal o pequeno consumo de energia. É o que se precisa nesses casos, já que permanecem sempre ligados, fazendo o trabalho de realmente sinalizar algum ponto de equipamento, bem como o estado em que ele se encontra.

É muito comum que os LEDs de sinalização tenham duas intensidades luminosas, uma para indicação de 'ligado' e outra para 'desligado'. Também há os que ficam piscando de forma intermitente mostrando o bom funcionamento de um aparelho eletrônico como modems, transponders e decodificadores de sinais.

A partir dos LEDs de sinalização é que foram criados os LEDs de potência. Numa linguagem bem acessível, potência é o índice que define o consumo de energia

⁴ É a radiação ultravioleta com um comprimento de onda menor que o da luz visível. O nome quer dizer além do violeta, pois o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência.

elétrica. Sua unidade é o Watt (W). O que define de forma muito simples uma das razões por que chamamos de LED de potência é que realmente os LEDs começaram a produzir luz como se tivessem grande potência, mesmo que uma de suas características principais seja justamente o baixo consumo, ou seja, a baixa potência. Um LED de 7 W pode produzir luz equivalente a uma lâmpada com 50W de potência, por exemplo.

No caso dos LEDs, o termo potência está associado à produção de boa quantidade de energia luminosa, também conhecida como luz e suas grandezas, como fluxo luminoso⁵ e intensidade luminosa⁶. Dessa forma, os LEDs de potência são os que servem para iluminação geral, seja industrial, comercial, cênica ou automobilística e tiveram seu crescimento potencializado a partir do descobrimento do LED branco. Isso porque é impossível pensar a iluminação de ambientes com uma luz monocromática vermelha ou verde, que é o que tínhamos antes da descoberta do LED branco.

Cada material emite um comprimento de onda e sabemos que cada comprimento de onda gera um tipo e uma cor de luz, de onde se deduz que os LEDs coloridos são de cores saturadas. Normalmente, nos catálogos e até nos produtos de LEDs, sempre que estiver gravada uma letra, esta identificará a cor de luz daquele LED. O W, por exemplo, é o branco e o R é o vermelho, mostrando que foram usadas as primeiras letras das cores no inglês. Os caracteres a seguir darão nome a outras especificações, como IRC (Índice de Reprodução de Cor) e temperatura de cor, como se nota nas lâmpadas fluorescentes, que utilizam sistema parecido. O código W750, por exemplo, identificará um LED de cor branca, com IRC no intervalo entre 70 e 80 e com temperatura de cor de 5000K.

Na tecnologia LED, as partes metálicas podem corroer e por isso necessitam de proteção contra umidade. Existe uma norma na ABNT, que se chama IP (Índice de Proteção), que leva em conta a proteção contra resíduos sólidos, como poeira, e também efluentes líquidos, como: jatos de água, respingos, chuva intensa, submersão, etc.

É uma tabela em que na primeira coluna é registrada a proteção contra sólidos e na segunda coluna contra líquidos, sendo definida a situação com um número que vai de zero a seis para poeira e até oito para líquidos. Ao lado do número, vem um quadro com a descrição da situação e mais outro quadro que informa o tipo de proteção que esses números indicam. Analisando as Tabelas 2.1 e 2.2, podemos

⁵ Representa uma potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen [lm].

⁶ É a grandeza de base do sistema internacional para iluminação. Seu estudo conduz à noção de um vetor luminoso emitido por uma fonte. Seu módulo é o seu valor em candelas [cd]; sua direção é medida dentro de uma esfera, segundo uma direção α na qual a fonte luminosa está no centro; e o sentido é do centro para a periferia da esfera.

observar que o melhor índice de proteção é IP68, que indica que o equipamento tem proteção total contra resíduos sólidos e líquidos, podendo ser instalado submerso.

TABELA PARA GRAU DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS		
PRIMEIRO DÍGITO		
Dígito	Descrição	Proteção
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50 mm	Grande superfície do corpo humano como a mão. Nenhuma proteção contra penetração liberal no equipamento
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12 mm	Dedos ou objetos de comprimento maior do que 80 mm, cuja menor dimensão é maior do que 12 mm
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	Ferramentas, fios de diâmetro e espessura maiores que 2,5 mm cuja menor dimensão é maior que 2,5 mm
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1,0 mm	Fios, fitas de largura maior do que 1,0 mm, objetos cuja menor dimensão seja maior que 1,0 mm
5	Proteção relativa contra poeira e contato a partes internas ao invólucro	Não totalmente vedado contra poeira, mas se penetrar não prejudicará o funcionamento do equipamento
6	Totalmente protegido contra penetração de poeira e contato a partes internas ao invólucro	Não é esperada nenhuma penetração de poeira no interior do invólucro

Tabela 2.1 – Tabela para grau de proteção de equipamentos elétricos (Primeiro dígito)

TABELA PARA GRAU DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS		
SEGUNDO DÍGITO		
Dígito	Descrição	Proteção
0	Não protegido	Sem proteção especial. Invólucro aberto
1	Protegido contra queda vertical de gotas de água	Gotas de água caindo na vertical não prejudicam o equipamento (condensação)
2	Protegido contra queda com inclinação de 15° com a vertical	Gotas de água não tem efeito prejudicial para inclinações de até 15° com a vertical
3	Protegido contra água aspergida	Água aspergida de 60° com a vertical não tem efeitos prejudiciais ao equipamento
4	Protegido contra projeções de água	Água projetada de qualquer direção não tem efeito prejudicial
5	Protegido contra jatos de água	Água projetada por bico em qualquer direção não tem efeitos prejudiciais conta o equipamento
6	Protegido contra ondas do mar	Água em forma de onda, ou jatos potentes não tem efeitos prejudiciais ao equipamento
7	Protegido contra efeitos de imersão	Sob certas condições de tempo e pressão não há penetração de água. Ex.: Inundações
8	Protegido contra submersão	Adequado à submersão contínua e sob condições específicas. Ex.: Equipamento submerso

Tabela 2.2 – Tabela para grau de proteção de equipamentos elétricos (Segundo dígito)

2.2 - Características elétricas do LED

Eletricamente, o LED é parecido com o diodo convencional, em que há um pequeno limiar para o avanço de tensão. Uma vez excedido, a junção tem uma pequena resistência e conduz corrente rapidamente. Essa corrente precisa ser limitada por um resistor externo. A queda de tensão no LED vermelho é normalmente 1,6 V, enquanto no LED verde é 2,4 V. A diferença pode ser explicada pela utilização de um resistor limitante menor no LED verde.

Outro parâmetro importante do LED é a máxima taxa de tensão reversa. Para equipamentos típicos vermelhos é da ordem de 3 V e para LEDs verdes é maior, de 5 a

10 V. O LED produz luz apenas quando uma corrente CC passa e a quantidade de luz emitida é proporcional a corrente. Isso significa que a intensidade da luz aumenta aproximadamente de maneira linear com o aumento da corrente.

O LED não deve ser conectado diretamente a fonte de tensão sem um resistor em série, pois sua queda de tensão em avanço é muito pequena. Sem um resistor em série, uma corrente alta poderia passar, causando dano ao LED. O diodo deve ser conectado a uma fonte de tensão com excesso de tensão em avanço, que seria algo em torno de 1,6 e 2,0 V. Uma resistência em série é utilizada para limitar a corrente a um nível desejado. O diodo deve ser conectado ao circuito no sentido correto, caso contrário, ele não acenderá e devido a sua baixa taxa de tensão máxima reversa poderá sofrer danos. O valor do resistor série pode ser calculado assumindo uma queda de tensão de 1,6 V sob o LED vermelho. A seguinte expressão pode ser utilizada para calcular o valor da resistência série no circuito CC:

$$R = \frac{V_S - V_f}{I_f}$$

R = valor do resistor série em Ohms

V_S = tensão da fonte CC em Volts

V_f = queda de tensão em avanço no LED

I_f = corrente de operação em avanço desejada em Ampères

Considerando o circuito da Figura 2.3, teremos:

$$R = \frac{6 - 1.6}{0.02} = 220 \Omega$$

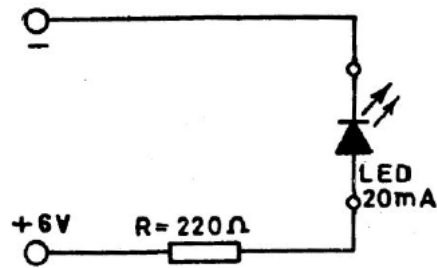


Figura 2.3 – Exemplo de circuito LED

O brilho da iluminação é máximo sob corrente de operação máxima. Mas o LED fornece luz adequada com correntes bem menores. Para equipamentos ligados a bateria, seria melhor operar com 50% da corrente máxima a fim de garantir durabilidade da bateria e do equipamento. Quando se opera um LED de 50 mA com 15 mA ou um pouco mais, ele fornecerá brilho suficiente para fins normais. O LED pode ser utilizado com essa corrente para indicar se algum item do equipamento está ligado. Para uma lâmpada noturna, um LED de 50 mA deveria ser operado com 25 mA ou um pouco mais. Com esse nível de claridade a área da superfície que produz luz parece ser maior que a área da cúpula na parte de cima do dispositivo. Isso se deve a uma ilusão ótica produzida pelo LED.

O LED também pode ser operado com fonte de tensão CA. Nesse caso, o resistor série necessário para conduzir o LED ao brilho ideal seria metade do utilizado no circuito CC. Isso ocorre porque quando opera em corrente alternada ele se comporta como um retificador de meia onda e usa metade da energia. Se o mesmo tamanho de resistência for utilizado como no circuito CC, a saída de luz do LED seria a metade, então, para calcular o valor de R no circuito CA com nível de corrente desejada, o valor da corrente de operação deveria ser dobrado na equação usada para circuito CC.

Além de um resistor série para limitar a corrente, o LED requer proteção do excesso de tensão reversa já que a sua tensão reversa é muito baixa, portanto, é muito importante utilizar diodos com proteção de silicone nos circuitos de condução em corrente alternada.

2.3 - Principais vantagens e desvantagens da tecnologia LED

2.3.1 - Vantagens da lâmpada LED

Os LEDs possuem dimensões reduzidas e por isso podem ser utilizados em luminárias mais compactas. O efeito da vibração nas lâmpadas em geral reduz sua vida e complica seu funcionamento e, no caso dos LEDs, o desempenho é melhorado e a vida útil aumentada consideravelmente, já que esse efeito não se faz presente. Isso se deve ao fato de não possuir filamento e funcionar com um chip muito reduzido, não deixando os impactos vibratórios aparecerem.

O LED tem uma excelente saturação de cor, emite um comprimento de onda, gerando a luz numa frequência determinada e específica. Consequentemente, em uma única cor de luz, por isso mesmo saturada. Ou seja, mais pura. O vermelho é bem vermelho, o azul é bem azul, e assim ocorre com todas as cores.

A luz do LED é direcionada, logo, há um melhor aproveitamento dessa luz dirigida, que na sequência pode ser melhor para o ambiente com a utilização de óticas específicas. A característica mais marcante do LED é sua vida útil muito longa, pois reduz a necessidade de trabalho de manutenção, promovendo economia e preservação do meio ambiente (Silva, 2011).

Ao contrário das lâmpadas de descargas, que também são econômicas e de vida relativamente longas, os LEDs não sofrem interferência em sua vida pelo ligar e desligar. Enquanto que uma lâmpada fluorescente, por exemplo, tem um número determinado de acendimentos em sua vida, os LEDs podem ser ligados e desligados um número indeterminado de vezes que isso não mudará sua vida útil. Nas fluorescentes, quanto maior o número de reacendimentos menor será sua durabilidade e, em sentido contrário, quanto menos for ligada e desligada, maior será sua vida útil.

O limite operacional do ligar e desligar estará subordinado apenas aos equipamentos auxiliares que, por serem componentes elétricos, se deterioram com o tempo e com as operações repetidas. O LED em si não tem limite de operações (Silva, 2011).

Como os LEDs produzem luz fria, existe a possibilidade de utilizá-los em várias situações que até o seu surgimento eram impossíveis ou requeriam, para que se fizesse uma iluminação eficiente, técnicas e truques a fim de que a luz não prejudicasse o que estava iluminando. Maior exemplo são os museus, uma vez que

tanto o UV como o IV⁷ são radiações que prejudicam os objetos iluminados. Os LEDs não produzem essa radiação na faixa de luz, e, por isso, é possível iluminar obras de arte a curta distância, considerando ainda os efeitos de calor, que antes eram impeditivos.

A produção de energia elétrica emite CO₂ para a atmosfera, seja por origem térmica ou hidrelétrica. De acordo com o relatório *‘Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros’* (COPPE, 2006), a emissão de CO₂ para a atmosfera é de 24,57 Kg por MWh gerado. A substituição de cinco milhões de pontos de iluminação pública por lâmpadas LED reduziria 26.907,43 toneladas por ano de CO₂ emitido para a atmosfera.

Outra vantagem da tecnologia LED quando comparada a fontes tradicionais de luz é sua eficiência luminosa. Toda pesquisa e desenvolvimento dos LEDs tiveram como alvo a criação de luz mais eficiente que as fontes tradicionais. Ao comprar uma lâmpada, por exemplo, não se deve comparar a potência, mas sim a eficiência luminosa.

Para isso basta dividir a quantidade de lúmens por Watts. Na Figura 2.4, é mostrado um comparativo de eficiência luminosa entre uma lâmpada LED e uma lâmpada fluorescente padrão. A primeira lâmpada apresentada é um produto LED e a segunda é uma lâmpada fluorescente. A diferença de eficiência luminosa não é tão grande. Nesse caso, é preciso analisar outros aspectos como miniaturização e durabilidade.

	Fluxo luminoso: 500 lm Watts: 6 W	lm\W: 83
	Fluxo luminoso: 1200 lm Watts: 20 W	lm\W: 60

Figura 2.4 – Comparativo LED x Fluorescente

(Fonte: Blog LuxSide)

⁷ É uma radiação não ionizante na porção invisível do espectro eletromagnético que está adjacente aos comprimentos de onda longos. Pode ser percebida como calor, por terminações nervosas específicas da pele, conhecidas como termorreceptores.

A eficiência do LED é também função de suas características de luz miniaturizada e pontual. A luz dos LEDs é praticamente toda lançada no ambiente, enquanto que num sistema com fluorescentes, por exemplo, há vários tipos de perdas de luz. Existem perdas por refletividade, perdas devido à sombra da própria lâmpada, perdas por absorção do refletor e raios que não atingem o refletor. No caso do sistema de LED, não há perda pelo refletor porque a luz é emitida diretamente. A luz dos LEDs é mais eficiente quando se considera o sistema total, incluindo perdas de luz.

Há também um componente muito importante na eficiência dos LEDs, que é justamente o equipamento auxiliar que os faz funcionar, a fonte, também chamada de driver. Para o funcionamento de um LED com eficiência, é necessário instalar fontes que sejam para eles indicadas pelo fabricante. Fonte de qualidade e devidamente especificada produzirá no LED a luz que foi dimensionada em sua fabricação e o conduzirá à eficiência definida no catálogo.

2.3.2 - Desvantagens da lâmpada LED

Embora os pontos positivos da tecnologia LED sejam inúmeros, também existem alguns pontos negativos que precisam ser abordados. Sabe-se, por exemplo, que a rede elétrica é vulnerável a alterações no sistema como picos de alta tensão. Visando a proteção do LED é necessário investir em equipamentos de segurança a fim de impedir prejuízos na iluminação, porém tais dispositivos agregam custos elevados.

Por se tratar de uma tecnologia nova no mercado, o custo comparado com outras fontes de iluminação é bem mais alto. A implantação de lâmpadas LED requer cuidados especiais para que seus benefícios sejam alcançados. Portanto, para se obter um resultado de qualidade comprovada, é imprescindível mão de obra especializada, porém a oferta desse trabalho específico não é tão grande quanto à procura e por isso esse custo fica elevado.

Além disso, ainda existe uma diferença muito grande na qualidade dos dispositivos. Até entre a mesma marca e o mesmo modelo pode haver diferenças na luz emitida ou no tempo de vida. Sem contar as diversas lâmpadas LED produzidas por fabricantes distintos. A princípio, o ideal é escolher marcas reconhecidas para evitar surpresas desagradáveis.

Quando falamos de produtos tradicionais para iluminação, em muitos dos casos temos equipamentos auxiliares. Por exemplo, para ligar uma dicróica ou outro tipo de halógena de baixa tensão (12 V), é necessário um transformador para baixar a tensão da rede para 12 V. Assim, a lâmpada pode ser ligada e funcionar normalmente. Para

ligar uma fluorescente, utilizamos um reator para dar partida na lâmpada e controlar a corrente, permitindo o bom funcionamento do produto.

No caso do LED não é diferente, isto é, também precisam ser utilizados alguns elementos auxiliares como driver, dissipador, ótica, controle e software. Os dois primeiros são componentes indispensáveis, sem os quais o LED não funcionará. A esses se juntam os outros, que são equipamentos para aperfeiçoar o desempenho (Silva, 2011).

Para garantir uma operação segura, o LED necessita uma corrente contínua estável e constante impedindo alterações no comprimento de onda. A corrente alternada, que vem da rede normal, é convertida para corrente contínua pelo driver. Chamamos de drivers as fontes que permitirão a ligação e o acendimento dos LEDs. Existem vários tipos, mas em termos de conceito são duas formas:

- **Fontes de tensão:** Utilizadas para determinados tipos de LEDs, nesse caso, a ligação deverá ser sempre em paralelo. É a ligação normalmente usada na ligação de lâmpadas normais. Os dois fios, o positivo e o negativo passam pelas lâmpadas, conectando-os dos dois lados do soquete e seguem para ligar outras lâmpadas da mesma forma. Isso acontece, de forma geral, na maioria das ligações elétricas.

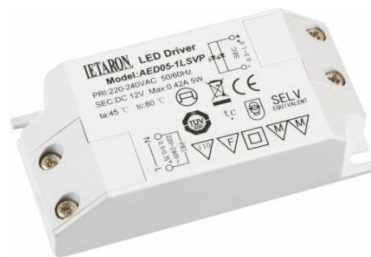


Figura 2.4 – Fonte de tensão

(Fonte: Catálogo letaron)

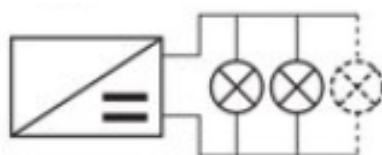


Figura 2.5 – Esquema de ligação para fonte de tensão

(Fonte: Catálogo letaron)

- **Fontes de corrente:** Utilizadas para determinados tipos de LEDs, nesse caso, a ligação deverá ser feita em série. Nesse tipo de ligação, um fio passa em todas as lâmpadas instaladas, dentro da capacidade de uma fonte, enquanto que outro fio conecta a primeira lâmpada e segue por fora para ligar a última lâmpada fechando o circuito.



Figura 2.6 – Fonte de corrente
(Fonte: Catálogo letaron)

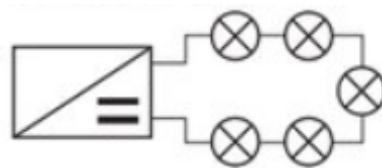


Figura 2.7 – Esquema de ligação para fonte de corrente
(Fonte: Catálogo letaron)

Nos dois casos, o somatório das potências instaladas deve ser igual ou menor que a potência da fonte. Isso acontece também nas lâmpadas halógenas de baixa tensão, em que um transformador de 12 V e potência de 100 W pode ligar duas dicróicas de 50 W. É necessário cuidado nesse sentido porque os equipamentos elétricos têm limites e parâmetros envolvidos em sua construção.

Em se tratando de LEDs, são utilizadas potências muito baixas e frequentemente serão colocados vários LEDs para usar uma fonte com potência maior. Considerando o uso de um transformador de dicróica de 20 W a 60 W para ligar LEDs e sabendo que trabalham em fonte de tensão, isso só será possível caso o somatório dos LEDs seja no mínimo 20 W. Podemos ligar sete LEDs de 3 W e eles acenderão e funcionarão normalmente, mas não podemos ligar menos que sete, pois não chegarão à potência mínima indicada.

Embora o LED não emita nenhum calor na faixa de luz, ele gera uma grande quantidade de calor na parte de trás. Esse calor que vai para a parte traseira dos LEDs

é de tal ordem que necessita um equipamento específico para eliminar ou reduzir esse efeito, ou seja, é preciso dissipar esse calor gerado (Silva, 2011).

Sabe-se que outras fontes de luz emitem calor, especialmente as fontes incandescentes. Alguns produtos, como as lâmpadas dicróicas, foram criados na tentativa de conduzir o calor gerado pelo filamento para trás, o que foi um bom avanço. Mas é preciso entender que o calor que a dicróica joga para trás, reduzindo a energia térmica na parte de luz emitida, nem de perto se compara com a situação dos LEDs, em que o calor é realmente desproporcional.

Na dicróica, temos uma luz emitida com $1/3$ de calor para frente e $2/3$ para trás, enquanto que nos LEDs, na faixa de luz, é zero de calor e tudo que é gerado termina sendo conduzido para a parte traseira. Por isso, também, é tão intenso, e precisa ser dissipado.

Para fazer esse trabalho de dissipar a energia térmica gerada pelo LED, utilizam-se dissipadores de calor, que podem ser desde peças simples de alumínio, para modelos que emitem menos calor, até equipamentos complexos, com aletas calculadas tecnicamente para conseguir fazer essa dissipação.

Existem modelos de LEDs que têm na sua construção dissipadores de calor próprios, no caso a própria placa do circuito impresso. Alguns fabricantes chamam essa placa de PCI Star, por ter um formato de estrela. Esse sistema simplificado serve para LEDs de potência menores, pois para maiores potências essa placa é insuficiente, havendo a necessidade de se acoplar um dissipador adicional.



Figura 2.8- Exemplo de dissipador estrela
(Fonte: Aliexpress)

Quanto maior a potência de um LED mais calor será gerado e maior deverá ser o sistema de dissipação de calor. Quando um módulo utiliza vários LEDs juntos, o problema se repete em somatório.

O material utilizado como dissipador de calor nos LEDs normalmente é alumínio, sendo o grafite também aplicado com alguma frequência, mas a rigor, em tese, qualquer material que seja condutor de calor pode ser usado. A dissipação de calor será mais eficiente de maneira proporcional ao tamanho do dissipador e a área de ventilação (área livre entre as aletas).

Existem fórmulas específicas para calcular o dissipador de calor de cada LED, e os fabricantes de chips têm fórmulas próprias para determinar o tamanho e a configuração desse componente, que é fundamental para garantir a qualidade e a durabilidade dos LEDs (Silva, 2011)

Em geral, são obedecidas algumas condições para dissipadores de calor. O material deve ter boa condutividade térmica, a distância entre as aletas deve ser no mínimo de 4 mm (recomendado: 8-10 mm) para evitar acúmulo de calor entre as aletas. A área deve ser suficiente para realização da convecção e não deve haver isolamento e nem ar entre módulo e dissipador.

Na hora de construir um LED, é preciso ter cuidado com o sistema ótico, pois a luz do LED é pontual e demanda lentes especiais acopladas para fazer o melhor direcionamento da luz, buscando reduzir os desconfortáveis ofuscamentos. Para controlar ofuscamentos proporcionados por lâmpadas tradicionais, a ação é bem mais simples do que nos LEDs.

A diferença é que uma lâmpada como a fluorescente direciona a luz para todos os lados, e o trabalho é o de dimensionar luminárias que, ao direcionarem a luz para o ambiente, o façam com controle de ofuscamento, que pode ser obtido com aletas parabólicas, acrílico fosco ou vidro jateado, entre outras formas.

Tratando-se de LED, a operação é distinta porque a luz do LED é naturalmente direcional. Para utilizar essa luz pontual na iluminação geral de ambientes, é preciso adequar a direção dessa luz às necessidades do projeto e dos ambientes. A luz dos LEDs, com esse direcionamento próprio na origem, deve ser gerenciada para que possa iluminar em diversos ângulos de abertura de fecho. Existem dois tipos de ótica:

- **Ótica primária:** Essa técnica é desenvolvida na construção do LED; quando se fixa o chip nas camadas de cristal estruturadas. É considerada um direcionamento da luz, que é feito no material onde é fixado e funciona como refletor. Na prática, os LEDs fabricados para iluminação em geral já vêm com uma ótica primária, no caso um microrefletor, direcionando a luz para o topo do encapsulamento.
- **Ótica secundária:** Considerando que o LED já tem na sua fabricação a ótica primária, os fabricantes desenvolveram refletores para direcionar melhor essa fantástica fonte de luz. Ao analisarmos os refletores dos

LEDs, notamos características semelhantes aos refletores para lâmpadas já conhecidas há mais tempo. A principal diferença é que são muito reduzidos em seus tamanhos, pois se trata de uma fonte de luz muito pequena.



Figura 2.9 – Exemplo de minirefletores que fazem a ótica secundária
(Fonte: E-cottage)

Os materiais usados na fabricação desses refletores devem ter características especiais, utilizando lentes que conduzem e distribuem a luz do LED, reduzindo perdas e o efeito de ofuscamento. Essas lentes são feitas com material termoplástico amorfo, resistente ao calor, na faixa de temperatura de -40°C até 80°C . São especialmente resistentes aos raios ultravioletas, mas, por outro lado, são muito delicados e sensíveis a arranhões.

Essas lentes, que têm excelente transmissão luminosa, acima de 90%, fazem a condução da luz, desviando a direção do foco, redirecionando a luz para diversos ângulos, normalmente de 30° a 175° . Faz também, em alguns casos, a mudança da cor de luz, entre outros efeitos.

Uma das vantagens dessa ótica secundária é a ausência dos chamados anéis de luz, muito comum em outras fontes refletoras, tendo uma maior concentração no fecho central. Isso de maneira alguma elimina totalmente o efeito do ofuscamento, já que a luz emitida diretamente pelo LED não tem controle. Por isso, é necessário cuidado na fabricação das luminárias que serão utilizadas nos ambientes, para que esse efeito seja atenuado.

Na área de formação dessa ótica secundária há um bom número de fabricantes que se dedicam a produzir refletores e lentes, que produzem os mais variados efeitos e aberturas de fechos, o que termina disponibilizando muitas alternativas para que luminárias mais eficazes, funcionais e criativas sejam produzidas e oferecidas ao mercado, aos especialistas em iluminação e usuários em geral.

2.4 – Detalhes construtivos do LED

Existe um controle de qualidade de fabricação dos LEDs que os separa em lotes com características idênticas, ou por determinados aspectos específicos. Esse controle é denominado Binning, cujo significado é categorização. Assim, os LEDs de uma categoria são aqueles que possuem algumas características luminotécnicas iguais de interesse específico. Cada agrupamento, lote ou categoria é conhecido como BIN.

Essa seleção permite a montagem de LEDs com características muito semelhantes, ou até mesmo iguais. Cada BIN é selecionado considerando-se três fatores principais: cor, fluxo luminoso e tensão. Qualquer alteração dessas três variáveis, incluindo a corrente, trará mudança no tipo de luz produzida. Por esse motivo, é necessária uma boa escolha de BINS para que os produtos de LED sejam montados com bom desempenho técnico.

A cada BIN ou lote corresponde um número de registro dado pelo fabricante que servirá de identificação para uma eventual reposição de produtos de um determinado projeto. Conhecendo o registro de identificação do BIN de um LED (ou fonte) avariado, é possível a substituição por outro de mesma cor e fluxo luminoso, mantendo exatamente as características luminosas do projeto. Portanto, um bom fabricante de luminárias deverá manter o registro de produção de cada BIN utilizado em seus produtos.

Essa escolha de BINS, que em inglês se chama BIN Selection, é feita respeitando-se intervalos de cor de luz, como é mostrado na Figura 2.10. Sempre que a diferença de cor de luz for superior a cinco nanômetros (nm), ficará visível à visão humana e então serão enquadrados em um novo BIN. Até cinco nanômetros, a diferença é imperceptível ao olho humano.

Por exemplo, 465, 466, 467, 468, 469 nm são considerados o mesmo azul, mas quando passa para 470 nm, continua sendo azul, mas um azul mais claro e que nossa visão detecta, ocasionando diferença na cor de luz. Essa rigorosa seleção é um dos fatores que encarecem o preço dos LEDs e, quando uma empresa não faz o controle, seus produtos serão mais baratos e também menos confiáveis, porque serão produzidos com menor controle de qualidade.

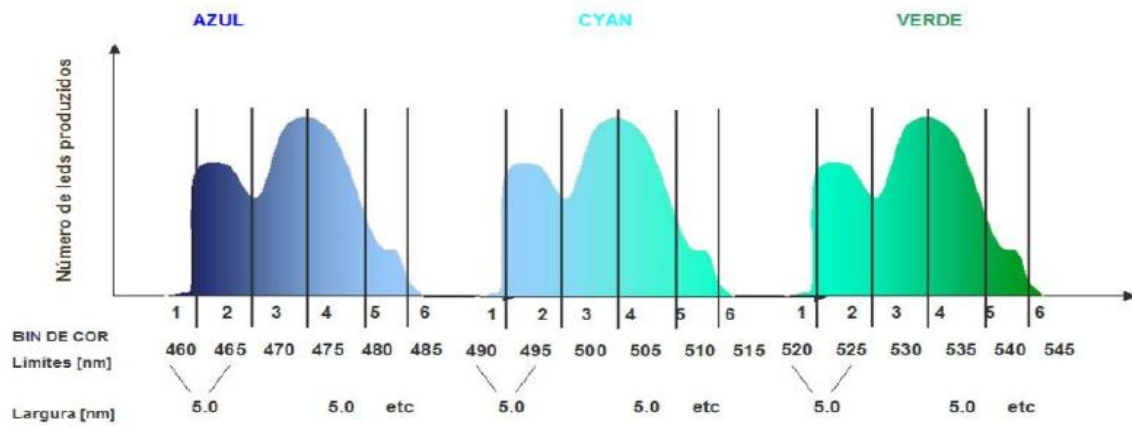


Figura 2.10 – Quadro de intervalo de cores da seleção de BIN

No exemplo da Figura 2.11 pode ser vista uma iluminação com LEDs, onde não foi respeitado o conceito de escolha apropriada de BINS, ocasionando um efeito ruim esteticamente falando.



Figura 2.11 – Iluminação de uma parede sem controle de BINS

Definida a seleção de BINS, a próxima etapa é a fixação nas hastes de contato e inserção de um invólucro plástico que servirá como proteção e ajudará na ótica primária. A luz é apontada para o topo do estojo de plástico transparente, fazendo com que a luz seja pontual e direcional. Para utilizar LEDs na iluminação geral é construída uma ótica secundária para melhor distribuir essa luz que originalmente é direcional.

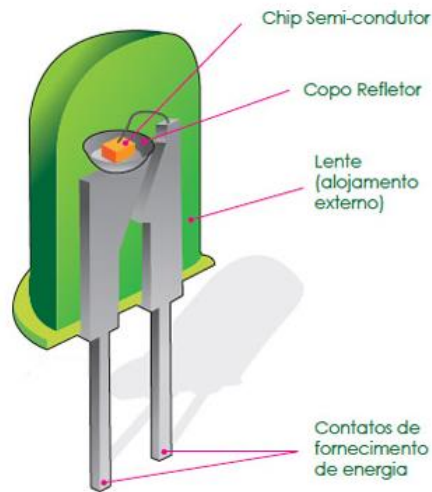


Figura 2.12 – Interior do LED
(Fonte: HowStuffWorks)

O próximo passo será colocar esse LED, que é uma unidade, no interior de um equipamento que será usado para iluminar e poderá ser composto de vários LEDs ou de apenas um. A parte luminosa do LED estará pronta. Agora, é preciso testar esse LED em todos os seus aspectos físicos, incluindo formas de conexões elétricas e a indispensável dissipação térmica.

O processo para construção de um LED será brevemente descrito em quatro etapas principais:

- Confeção da ficha: é a estruturação das camadas do cristal, quanto à estrutura e disposição do material.
- Desenvolvimento do chip: é a etapa em que o chip é trabalhado nos aspectos de desenho, metalização, gravação de fotolitos, separação, medição, etc.
- Desenvolvimento da embalagem: é a parte de desenvolvimento do invólucro, de material plástico. Faz-se também a montagem, conexão e a escolha dos BINs que formarão o LED para iluminar na montagem de um módulo.
- Desenvolvimento do módulo: é desenvolvido o esquema de dissipação térmica, adaptação ótica, montagem e teste final para que tenhamos um LED pronto para ser utilizado.

As quatro etapas lidam com materiais de tamanho micro e por isso é necessário rigoroso controle de qualidade a cada etapa.

3 - Evolução da iluminação pública no Brasil

3.1 - Cenário do passado

A iluminação pública no Brasil se estabeleceu primeiramente no século XVIII, ainda de maneira precária, com luminárias de iluminação externa, com aspecto decorativo, alimentadas por óleo de baleia. Tais luminárias eram colocadas ao lado das ombreiras das portas de edifícios públicos, de residências de pessoas com maior poder aquisitivo ou em pequenas armações metálicas de baixa altura.

Em 1794, o serviço de iluminação pública passava a ser subsidiado pelos cofres públicos, iniciativa do vice-rei Conde de Rezende, que mandaria instalar cerca de 100 luminárias a óleo pelos postes da cidade do Rio de Janeiro. O sistema utilizado, muito deficiente para uma cidade que já contava com cerca de quarenta mil habitantes, estabelecia quatro lampiões nas ruas de maior movimento e dois nas demais. A segurança era a maior preocupação e por esse motivo o sistema de iluminação pública estava subordinado à Intendência de Polícia.

A utilização de postes para iluminação pública alimentada a óleo não era uma solução prática, pois havia dificuldade na manutenção. Escravos faziam esse trabalho e estavam sempre sujos de óleo e fuligem por terem que constantemente limpar as luminárias, além de terem que dormir próximo as luminárias para agilizar a limpeza.

O óleo de baleia supriu por mais de dois séculos as necessidades mundiais de iluminação pública, porém, inventores e empresários ingleses, durante a revolução industrial buscaram soluções mais eficientes para seus processos produtivos. Com os estudos na utilização do carvão de pedra, descobriu-se que sua destilação gerava uma série de compostos de carbono, de alto poder calorífico e característica iluminantes. Em 1802, William Murdock concretizou essa tecnologia.

Tal implantação no Brasil implicaria altos custos, pois o carvão mineral brasileiro em geral era de baixa qualidade, e o mesmo teria que ser importado da Inglaterra. Além disso, os equipamentos usados não eram baratos. A iluminação a gás no Brasil só veio a ser inaugurada em 1854, quando uma companhia de Visconde Mauá realizou a obra. Mauá investiu em diversos setores, principalmente em serviços públicos.

Mauá assinou um contrato de concessão de exploração em 1851 que garantia 25 anos de monopólio. Pelo contrato, o empresário comprometia-se a substituir 21 milhas de lampiões a óleo de baleia por outros, novos, de sua fabricação, erguendo uma fábrica de gás nos limites da cidade. Em 1854, ele inaugurou a iluminação urbana

a gás pela destilação do carvão mineral. Com isso o Rio de Janeiro foi a primeira cidade brasileira a utilizar gás na iluminação pública.

Em 1876, D. Pedro II visitou a Exposição de Filadélfia e voltou ao Brasil estimulado com a energia elétrica. Convidou Thomas Edison para introduzir suas invenções no Brasil e, em 1879, foi inaugurada a iluminação elétrica da estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II (posteriormente conhecida como Central do Brasil), constituída por apenas seis lâmpadas Jablockhov acionadas a partir de energia elétrica gerada por dois dínamos (Fróes da Silva, 2006).

Em junho de 1883, D. Pedro II inaugurou o primeiro serviço de iluminação pública municipal da América do Sul que contava com energia elétrica, em Campos (RJ). A cidade de Rio Claro, em São Paulo, foi a segunda cidade a ter luz elétrica nas ruas, em razão da presença de uma termoelétrica.

Em 1887, Porto Alegre inaugurava o primeiro serviço municipal de iluminação elétrica do país aproveitando a energia elétrica gerada em usina térmica da Companhia Fiat Lux. A Companhia de Força e Luz, criada no Rio de Janeiro, foi responsável por mais de 100 lâmpadas de iluminação pública. Os serviços viabilizados pela energia elétrica se estendiam rapidamente, principalmente no setor têxtil.

As primeiras experiências com energia elétrica aconteceram no Rio de Janeiro, mas com o tempo outras cidades brasileiras também passaram a contar com tal benefício. Um marco na história da energia elétrica no Brasil e na América Latina foi a hidrelétrica de Marmelos, construída em 1889, às margens do rio Paraibuna, em Juiz de Fora (MG).

Até 1900, as pequenas usinas instaladas somavam 12 MW de capacidade. Com a chegada do grupo Light do Canadá o potencial hidrelétrico do país começaria a ser explorado de forma mais intensa. Em 1889 a Light começou a operação de suas primeiras linhas de bondes elétricos na capital paulista, produzindo energia elétrica em uma pequena central a vapor.

O regime de concessão de serviços públicos imperava no Brasil, já que o sistema de administração pública era precário para atender a crescente demanda da sociedade. A Constituição de 1891 não fazia distinção entre a propriedade dos recursos naturais e a posse da terra. As concessões eram geralmente outorgadas pelas prefeituras e o poder concedente, em caso de exploração de quedas d'água, era dos governos estaduais. Os primeiros contratos de concessão tinham prazos de até 90 anos, além de garantias financeiras do Estado às concessionárias.

Portanto, a exploração de energia elétrica no Brasil data do início do século XX, quando foram fundadas as primeiras companhias geradoras e distribuidoras, em sua maioria estrangeiras. Muitas dessas empresas celebravam contratos de concessão

diretamente com os municípios. Porém, como o serviço de fornecimento de energia elétrica ganhava progressivamente maior importância, para sua concessão foi atribuída exclusividade federal. Já a prestação do serviço de iluminação pública foi atribuída como responsabilidade dos municípios.

A proprietária da concessão de fornecimento de iluminação pública era a Société Anonyme Du Gaz (SAG), empresa belga que desde a sua funda o, em 1886, mantinha uma rela o contratual direta com o governo imperial, e que por isso se recusou a aceitar a influência municipal. O impasse perdurou até 1899, quando o contrato foi finalmente revisto e a SAG manteve o privilégio de explora o da ilumina o pública. A SAG previu a ameaça da eletricidade para o seu negócio e renovou o contrato de concessão com o direito exclusivo de explora o de qualquer forma de energia para fins de ilumina o pública.

A tecnologia e os equipamentos inicialmente utilizados na ilumina o pública eram importados. Com o aparecimento da ilumina o a gás e a elétrica, o uso do poste passou a ser fundamental nas instala es, pois ele possibilitava realçar a luminária, distribuir melhor os pontos de luz ao longo das praças e ruas, além de servir como instrumento de beleza para as cidades, já que por serem feitos de ferro podiam ser moldados e produzidos de maneira elaborada. A partir de então, iniciou-se a fabrica o de equipamentos elétricos para ilumina o pública no Brasil.

3.2 – O Programa RELUZ

A ilumina o pública   um serviço essencial para a qualidade de vida nos centros urbanos pelo fato de ser fundamental para a segurança e para o desenvolvimento sócio econ mico dos municípios. Nesse contexto, buscando uma significativa melhoria na eficiência energética nos sistemas de ilumina o pública, e de modo a ampliar os benefícios destes projetos a toda a popula o urbana, a ELETROBRAS Centrais Elétricas Brasileiras instituiu em 2000 o Programa Nacional de Ilumina o Pública Eficiente – PROCEL RELUZ, com o apoio do Ministério de Minas e Energia.

Seu objetivo foi de reduzir de maneira considerável o consumo de energia elétrica nos sistemas de ilumina o pública das cidades brasileiras, com meta de redu o anual de 2.400 GWh, cerca de 20% sobre o consumo de 2000, até 2010. No entanto, em fun o da abrangência do programa e das metas serem alteradas ao longo dos anos, este programa está ainda em desenvolvimento, com sua finaliza o prorrogada para 2035.

O Programa Reluz será implementado pelas concessionárias de energia elétrica através de contratos com os municípios e, em complemento, a ELETROBRAS poderá aplicar ações do PROCEL nos municípios que participarem do Programa, através de convênios de cooperações.

Caberá às prefeituras municipais a iniciativa de manifestar a intenção em executar o convênio, encaminhando, diretamente à ELETROBRAS, correspondência com esse propósito. Os recursos a serem aportados para a implementação dos convênios com os municípios serão provenientes da ELETROBRAS com uma contrapartida das concessionárias, dos municípios ou de outros agentes envolvidos.

Por estes convênios, a ELETROBRAS/PROCEL colaborará com os municípios na concretização de um conjunto de medidas de estímulo ao uso eficiente e racional da energia elétrica:

- apoio ao programa PROCEL NAS ESCOLAS;
- apoio ao programa de melhoria da eficiência energética dos prédios públicos;
- apoio na elaboração de Planos Municipais de Gestão da Energia Elétrica (PLAMGE) e
- apoio ao desenvolvimento de companhias públicas, visando ao uso eficiente e racional da energia elétrica.

Os projetos serão financiados às concessionárias de energia elétrica que, em articulação com as Prefeituras Municipais, executarão os serviços.

Levando em conta os tipos de projetos realizados, podemos citar: melhoria dos sistemas de iluminação pública existentes; expansão dos sistemas de iluminação pública; remodelagem dos sistemas de iluminação pública; melhoria dos sistemas de sinalização semafórica; iluminação especial (destaque de praças, monumentos, fachadas, etc); iluminação de espaços públicos esportivos e inovação tecnológica na iluminação pública.

O valor do financiamento corresponderá a até 75% do valor total do projeto. O restante constituirá a contrapartida das concessionárias e/ou das prefeituras municipais, que poderá ser feita por meio de serviços próprios como: transporte, mão de obra e outros necessários a execução do projeto.

Desde a criação de sua estrutura, o PROCEL RELUZ já modernizou mais de dois milhões de pontos de iluminação pública em mais de 1.300 municípios brasileiros, somando mais de 500 milhões de reais em investimentos.

3.3 – Desenvolvimento da Iluminação Pública

A iluminação pública brasileira evoluiu muito nos últimos anos, novas tecnologias foram desenvolvidas. Hoje, as luminárias produzidas no Brasil nada ficam a dever àquelas fabricadas em países tradicionalmente capacitados. As luminárias brasileiras oferecem alto grau de proteção em função dos sistemas de vedação utilizados e os componentes são de melhor qualidade, o que torna os produtos mais eficientes, com alto rendimento luminotécnico. Outro fator importante que deve ser destacado é a facilidade de se realizar a manutenção das luminárias. Mais leves e de tamanhos reduzidos, é possível manuseá-las sem o uso de ferramentas.

A iluminação pública com maior luminosidade, custo inferior, consumo menor, menos poluição e menor propagação de calor está chegando com muita força e tudo leva a crer que as iluminações públicas a mercúrio e sódio de alta pressão estão com os dias contados, devido às grandes vantagens oferecidas pela tecnologia LED.

O novo sistema avança nas cidades europeias na substituição da iluminação pública tradicional, a ponto de se prever que na próxima década praticamente todo o continente europeu esteja iluminado por LED. Uma tendência que deve se tornar mundial, inclusive no Brasil, devido às vantagens do novo sistema (Willy Schulz, 2011).

Por se tratar de uma tecnologia nova, a maioria das pessoas desinformadas sobre as novas técnicas de iluminação, não percebe a diferença. Porém, todos já tiveram experiência com a nova tecnologia. Nas Olimpíadas de Pequim, todos os parques esportivos e demais instalações foram iluminados pelo sistema LED, e no Rio de Janeiro e em Belo Horizonte parte dos semáforos já utilizam a nova tecnologia.

A CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) está fazendo vários testes com a nova iluminação na lagoa da Pampulha e no complexo esportivo do Mineirão e do Mineirinho, já com vistas à Copa do Mundo de 2014. A experiência com a nova iluminação acontece também no Paraná, através da COPEL (Companhia Paranaense de Energia) e os resultados em ambos os casos têm sido bastante positivos.

Por ser uma tecnologia que demandou altos investimentos em pesquisas e grandes inovações técnicas, a iluminação LED é cara. No entanto, a perspectiva é de redução gradativa do preço, na medida em que aumenta a produção e mais mercados se abrem para a adoção da nova tecnologia, devido às suas vantagens e à melhoria de qualidade que proporciona à iluminação pública, bem como para o uso industrial ou doméstico.

Existe a necessidade dos municípios brasileiros tomarem consciência da importância das questões relacionadas à iluminação pública urbana, criando políticas públicas específicas para essa questão. A questão da iluminação pública urbana não

deve tratar apenas sobre ambiente espacial da cidade, segurança ou como um elemento da estrutura urbana da cidade, mas principalmente da eficiência energética da rede de iluminação.

A iluminação pública representa uma parcela não desprezível do consumo de energia elétrica dos serviços públicos, e como tal, sua eficiência deve ser alvo de cuidados idênticos aos que são dados a qualquer outro serviço. Para isso, seria interessante a criação de planos de gestão energética da iluminação pública urbana.

3.4 – Regulamentação, Legislação e Aspectos Gerais da Iluminação Pública

Neste item serão apresentadas algumas informações mais específicas como modo de prestação do serviço de iluminação pública, atribuição de responsabilidades e considerações sobre as receitas municipais obtidas. A iluminação pública pode ser definida como o serviço público que tem por objetivo exclusivo prover de claridade os logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual.

Quando o fornecimento de energia elétrica for destinado à iluminação pública, a Concessionária não tem como obrigação a instalação de equipamentos de medição nas unidades consumidoras. Ocorre uma estimativa para o consumo de energia elétrica, a potência das lâmpadas instaladas e as respectivas perdas nos reatores são somadas (essas informações são acordadas antecipadamente no contrato de fornecimento entre as partes), o resultado obtido é multiplicado pela quantidade de horas que a iluminação fica ligada mensalmente e por fim divide-se por 1.000, chegando ao consumo de energia elétrica em KWh.

Caso o fornecimento de energia elétrica destinado à iluminação pública tenha sido feito a partir de um circuito exclusivo, a concessionária é responsável pela instalação de equipamentos de medição quando julgar necessário ou quando solicitado pelo consumidor.

Para fins de faturamento de energia elétrica destinada à iluminação pública ou iluminação de vias internas de condomínios fechados, a Resolução nº 414 (ANEEL, 2010) define como 11 horas e 52 minutos o número de horas a ser considerado para consumo diário, ressalvado o caso de logradouros públicos que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 horas por dia do período de fornecimento.

Existe ainda outra determinação dessa Resolução em que o tempo a ser considerado para consumo diário pode ser diferente do estabelecido, apenas após

estudo realizado pelo consumidor e pela distribuidora junto ao Observatório Nacional, com a aprovação da ANEEL.

A energia elétrica consumida pelos equipamentos auxiliares de iluminação pública deve ser calculada baseada nas normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em ensaios realizados em laboratórios credenciados por órgão oficial ou em dados do fabricante dos equipamentos. No caso de equipamentos automáticos de controle de carga que reduzem o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação pública, a distribuidora deve revisar a estimativa de consumo considerando a redução oferecida por tais equipamentos.

No que tange o prazo mínimo para vencimento da fatura tratando-se de unidades consumidoras que se enquadram nas classes Poder Público, Iluminação Pública e Serviço Público, o prazo deve ser de 10 dias úteis, a partir da data da apresentação. De acordo com a Resolução nº 414 (ANEEL, 2010), a Prefeitura deverá receber a fatura com antecedência mínima de 10 dias úteis.

Caso haja atraso no pagamento da Conta de Energia Elétrica ou Fatura emitida pela distribuidora, a mesma poderá cobrar multa, obedecendo ao percentual máximo de 2%, além da atualização monetária com base na variação do IGP-M e juros de mora de 1% ao mês. A multa e os juros de mora incidem sobre o valor total da Fatura, com exceção de multas e juros de períodos anteriores, e a Contribuição de Iluminação Pública – CIP, que se sujeita às multas, atualizações e juros de mora estabelecidos na legislação específica.

No Brasil, a Constituição estabelece que é responsabilidade dos Municípios organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local. O Município deve oferecer iluminação artificial aos logradouros públicos, inclusive para lugares que precisam de iluminação permanente no período diurno. A distribuidora pode prestar o serviço de iluminação pública mediante contrato específico.

Com a promulgação da Emenda Constitucional nº 39 de 19 de dezembro de 2012, a Constituição Federal passou a vigorar com o acréscimo do artigo 149-A, que determina que os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, conhecida como CIP ou COSIP. Além disso, também é facultada a cobrança da contribuição, na fatura de consumo de energia elétrica.

Antes da edição desta Emenda Constitucional, vários Municípios haviam criado uma taxa de iluminação pública para custear as despesas da disponibilização do serviço de iluminação pública. Isso gerou um grande descontentamento por parte dos contribuintes, que tiveram que arcar com mais um tributo, adicionado a uma carga tributária bastante elevada. Surgiram diversas ações judiciais questionando a

legalidade e constitucionalidade do tributo e o Supremo Tribunal Federal firmou entendimento no sentido da inconstitucionalidade material da exação, já que não teria natureza jurídica de taxa, não sendo possível individualizar o contribuinte, faltando, assim, o requisito da divisibilidade do serviço público.

Em consequência disso, os Municípios tiveram uma perda de arrecadação, resultando em um maior endividamento com as concessionárias de energia elétrica. Houve então uma pressão, por parte dos prefeitos, no Congresso Nacional para criação de uma exação que substituísse a taxa de iluminação pública, tendo em vista que somente o Poder Constituinte teria competência para ampliar a carga tributária.

Os Municípios passaram a criar as leis que estabelecem os critérios de cobrança e isenção aos contribuintes. O tributo pode ser cobrado através das faturas de energia das Concessionárias Distribuidoras de Energia, baseado em contrato a ser assinado entre Município e Concessionária, conforme previsto em lei. Anualmente ou de acordo com a necessidade são feitos decretos ou leis com reajustes dos tributos ou modificações.

Existem três formas de cobrança mais utilizadas no Brasil: Tabela com valores fixos baseados em uma porcentagem com base na tarifa básica de iluminação pública ou B4a, valor fixo, por tipo de medidor ou por Unidades Fiscais criadas pelos Municípios. Existem Leis que isentam clientes rurais, por exemplo, outras que isentam classes e faixas de consumo como clientes residenciais com consumo inferior a 30 KWh, e ainda aquelas Leis que isentam contribuintes sem iluminação nas proximidades de sua residência. Na maioria dos casos os clientes de baixa renda são isentos da cobrança.

De acordo com a Resolução nº 414 (ANEEL, 2010), a responsabilidade pelos serviços de elaboração de projeto, implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública é de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização. A distribuidora pode prestar esses serviços mediante celebração de contrato específico para tal fim, ficando a pessoa jurídica de direito público responsável pelas despesas decorrentes.

Essa Resolução determina que, nos casos onde o sistema de iluminação pública estiver registrado como Ativo Imobilizado em Serviço – AIS da distribuidora, esta deve transferir os respectivos ativos à pessoa jurídica de direito público competente. O artigo 218 dessa resolução estabelece os prazos para as distribuidoras comprovarem o envio das propostas de transferência dos ativos de iluminação pública para os poderes públicos de sua área de concessão. Dessa forma, os Municípios que ainda não são proprietários do seu parque de iluminação pública terão um prazo determinado para se ajustarem.

Um levantamento realizado pela ANEEL em junho de 2011 demonstra que 63,8% dos Municípios do país já respondem pelos ativos, enquanto nos 36,2% restantes a transferência ainda precisa ser efetivada. Com a transferência dos serviços de iluminação pública, a ANEEL procurou diminuir os custos para o consumidor, já que a tarifa é mais cara quando os ativos pertencem às distribuidoras.

A ANEEL promoveu audiências públicas e reuniões técnicas, com a efetiva participação das entidades municipalistas, para rediscutir a questão da transferência prevista no artigo 218, da Resolução nº 414, com vistas a estabelecer procedimentos para regularização dos ativos de iluminação pública registrados no Ativo Imobilizado em Serviço das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia.

Após audiência pública, o prazo determinado para realização da transferência ficou suspenso. Porém, apesar da suspensão do prazo, a transferência dos ativos de iluminação pública dependerá apenas da definição de procedimentos, com a consequente instauração de novos prazos, obrigando os administradores municipais a terem mais conhecimento e controle de seus equipamentos, uma vez que serão responsáveis pela manutenção de todo o sistema de iluminação pública.

Outro conceito importante a ser abordado é o de ponto de entrega de energia para iluminação pública. Ele é o ponto de conexão do sistema elétrico da distribuidora com as instalações elétricas da unidade consumidora, caracterizando-se como o limite de responsabilidade do fornecimento, e deverá situar-se no limite da via pública com a propriedade em que se localizar a unidade consumidora. Além dessa definição, existe outra mais específica, que trata de fornecimento destinado a sistema de iluminação pública.

De acordo com a Resolução nº 456 (ANEEL, 2010), o ponto de entrega pode ser definido como: a conexão da rede de distribuição da concessionária com as instalações elétricas de iluminação pública, quando estas pertencerem ao Poder Público; e o bulbo da lâmpada, quando as instalações destinadas à iluminação pública pertencerem à concessionária. No primeiro caso, a Prefeitura é responsável pelos serviços de operação e manutenção e seus respectivos custos e no segundo, essa responsabilidade é da concessionária.

3.5 – Aspectos de Padronização da tecnologia LED e Iluminação Pública

Ao analisarmos a utilização da tecnologia LED na iluminação pública atualmente, fica fácil perceber que não existe uma padronização dos produtos disponíveis no mercado. Isso ocorre devido às características específicas de cada luminária, que trazem em si todo o conjunto de LEDs responsáveis pela emissão do

fluxo luminoso, de forma que cada fabricante pode definir diferentes formas de se arranjar os LEDs, de como montar a estrutura ótica de controle da distribuição do fluxo luminoso e de como montar as estruturas de dissipação de calor. Dessa forma, o nível de potência e o design dos equipamentos acabam sendo modificados.

Além disso, estamos falando de algo bastante recente e os órgãos normatizadores não puderam acompanhar a veloz evolução dos equipamentos à base de LED destinados à iluminação em geral. O bom funcionamento de um sistema de iluminação à base de LEDs não depende apenas das características do dispositivo semicondutor, mas também de diversos outros fatores.

O sistema de dissipação térmica dos LEDs e o dispositivo de controle eletrônico (driver) precisam ser bem projetados para evitar que o sistema não seja durável. O fluxo luminoso emitido deprecia-se rapidamente e o driver pode queimar caso não existam as devidas proteções. Apenas recentemente foram publicadas as primeiras normas brasileiras sobre o desempenho de drivers para luminárias LED.

Nos casos em que as normas publicadas não se aplicam, os equipamentos à base de LEDs disponíveis devem seguir os padrões aplicados às outras tecnologias de iluminação sempre que isto for possível. Essa medida pode fazer com que os equipamentos de baixa qualidade tenham sua entrada no mercado dificultada, até que normas específicas para esses equipamentos sejam desenvolvidas pelos órgãos competentes.

O uso de equipamentos de baixa qualidade, que acabam não apresentando o tempo de vida esperado ou não atendendo aos níveis de economia desejados, pode comprometer a imagem dos equipamentos à base de LED. Essa situação é bastante problemática, pois a tecnologia LED é reconhecidamente uma tecnologia que combate o desperdício de energia.

A principal norma brasileira referente aos requisitos do sistema de iluminação pública é a ABNT NBR 5101 (ABNT, 2012). Essa norma é baseada em documentos da IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) como a RP-8 – *Roadway Lighting*. Sua última versão foi publicada em abril de 2012 e está em vigor desde maio deste mesmo ano. A versão anterior a esta era de 1992, quando as lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão ainda eram predominantemente utilizadas nos sistemas de iluminação pública nacional.

Levando em conta esses 20 anos que se passaram desde a publicação até a revisão da norma, difundiu-se a utilização da lâmpada a vapor de sódio de alta pressão na iluminação pública brasileira. Houve a criação do programa RELUZ que vem modificando e tornando eficiente parte dos sistemas de iluminação das cidades brasileiras. A utilização da norma de 1992 deixou o Brasil paralisado durante 20 anos no que tange o nível de desenvolvimento de projetos de iluminação pública.

A versão revisada e atualizada da NBR 5101 que está em vigor conserva as delimitações de sua sucessora, porém com uma revisão dos níveis mínimos de iluminância exigidos. A classificação das vias de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, conceitos técnicos e de qualidade na iluminação como o controle de ofuscamento e poluição luminosa e a fixação de níveis de luminância foram algumas das novidades incorporadas.

Essa norma pode ser aplicada a sistemas de iluminação pública convencionais e também a sistemas que contam com a tecnologia LED, pois fixa os níveis mínimos de iluminância e uniformidade das vias de acordo com sua classificação, o que não limita a sua aplicação a determinada tecnologia específica. Além disso, ela traz o método de verificação das iluminâncias para vias públicas e a classificação das luminárias quanto à sua distribuição luminosa.

Embora tenha sido feita a revisão da norma, alguns itens importantes não foram contemplados como a classificação e a definição de níveis de iluminância e luminância para alguns lugares públicos como praças, escadarias e estacionamentos. Essa falta de definições gera dificuldades na realização do projeto de tais áreas, resultando na implantação de sistemas de iluminação inadequados ou não otimizados.

A norma também não prevê o uso de nenhum tipo de correção dos níveis de iluminamento de acordo com a resposta dinâmica do olho humano, conforme previsto em recomendações internacionais. Esses fatores acabam impossibilitando um projeto eficiente e com qualidade como um todo.

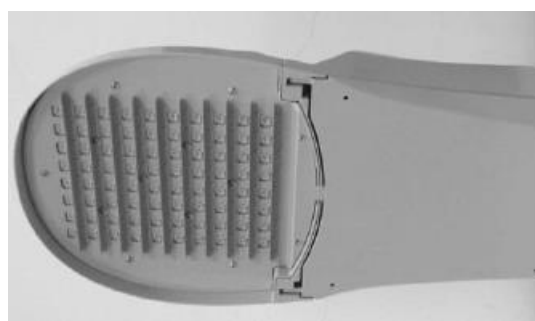
Não se deve esquecer também da NBR 5181 – *Iluminação de Túneis* (ABNT, 1976). A mesma fixa os requisitos mínimos de visibilidade e distribuição luminosa em túneis. A tecnologia LED já vem sendo utilizada em túneis tanto no Brasil quanto nos outros países do mundo.

4 – Estudo do Mercado Brasileiro

Neste capítulo serão apresentados modelos de luminárias LED disponíveis para iluminação pública no mercado brasileiro. Inicialmente será feita uma listagem com os modelos das luminárias, divididas por fabricante, mostrando suas principais características elétricas e de iluminação. Por fim, alguns detalhes construtivos de determinados modelos serão mostrados e explicados.

1) Leotek

- Luminária LED Green Cobra GC1 (Figura 4.1)



**Figura 4.1 – Luminária LED Green Cobra GC1
(Fonte: Catálogo Leotek)**

As fontes de alimentação dessa luminária têm potência mínima de 0.90 e menos que 20% de Distorção Harmônica Total⁸ (DHT). Esse modelo pode ser encomendado com 20, 30, 40, 60, ou 80 LEDs e seu índice de proteção é o IP66. A corrente de acionamento não pode ser ajustada no campo, havendo três correntes especificadas: 350mA, 530mA ou 700mA. Seguem na Tabela 4.1 os dados referentes a esse modelo de luminária na potência de 80W:

⁸ Relação entre a soma dos valores eficazes de todas as componentes harmônicas de uma determinada forma de onda pelo valor eficaz de sua componente fundamental, expresso normalmente em termos percentuais.

Luminária LED Green Cobra GC1 80W	
Consumo total (W)	80
Tensão (V)	120/277
Eficiência (lm/W)	80
Temperatura de cor (K)	4300
IRC	75

Tabela 4.1 – Dados referentes à luminária LED Green Cobra GC1 de 80W

- Luminária LED Green King Cobra GC2 (Figura 4.2)



**Figura 4.2 – Luminária Led Green King Cobra GC2
(Fonte: Catálogo Leotek)**

As fontes de alimentação dessa luminária têm potência mínima de 0.90 e menos que 20% de Distorção Harmônica Total (DHT). Esse modelo pode ser encomendado com 90, 100 ou 120 LEDs e seu índice de proteção é o IP66. A corrente de acionamento não pode ser ajustada no campo, havendo três correntes especificadas: 350mA, 530mA ou 700mA. Seguem na Tabela 4.2 os dados referentes à luminária LED Green King Cobra GC2 na potência de 100W:

Luminária LED Green King Cobra GC2 100W	
Consumo total (W)	100
Tensão (V)	120/277
Eficiência (lm/W)	85
Temperatura de cor (K)	4300
IRC	75

Tabela 4.2 – Dados referentes à luminária LED Green King Cobra GC2

Em ambos modelos da Leotek, a empresa fornece uma garantia de 10 anos estendida a todos os componentes da luminária. Essas luminárias são compostas de LEDs brancos de alto fluxo e alto brilho que produzem um mínimo de 70% da intensidade inicial nas primeiras 70 mil horas de vida útil. Todas as luminárias são fotometricamente testadas por laboratórios independentes certificados em conformidade com os procedimentos de testagem IES (*Illuminating Engineering Society*) LM-79, uma norma americana, que prevê parâmetros elétricos e fotométricos para produtos LED.

2) SUPERLED

- Luminária SUPERLED SL-A2 (Figura 4.3)



**Figura 4.3 – Luminária SUPERLED SL-A2
(Fonte: Catálogo SUPERLED)**

A luminária pública LED SL-A2 da SUPERLED está disponível em seis valores de potência distintos: 30W, 40W, 60W, 90W, 110W e 120W. Seguem na Tabela 4.3 informações referentes a esse modelo nas potências de 120W, 110W e 90W:

Item	SL-A2-120	SL-A2-110	SL-A2-90
Quantidade de LED (peças)	112	96	80
Consumo (W)	123	113	96
Temperatura de cor (K)	6500/4000/3000	6500/4000/3000	6500/4000/3000
Eficiência (lm/W)	95/88/73	96/89/73	93/87/72
Fluxo luminoso (lm)	12378/11434/9503	10825/10021/8267	8962/8331/6878

Tabela 4.3 – Dados referentes à luminária LED SUPERLED SL-A2 para iluminação pública

- Luminária SUPERLED SL-A3 (Figura 4.4)



**Figura 4.4 – Luminária SUPERLED SL-A3
(Fonte: Catálogo SUPERLED)**

A luminária pública LED SL-A3 da SUPERLED está disponível em cinco valores de potência distintos: 30W, 60W, 90W, 120W e 150W. Seguem na Tabela 4.4 informações referentes a esse modelo nas potências de 150W, 120W e 90W:

Item	SL-A3-150	SL-A3-120	SL-A3-90
Quantidade de LED (peças)	96	64	48
Consumo (W)	144	110	78
Temperatura de cor (K)	3000/4500/6500	3000/4500/6500	3000/4500/6500
Eficiência (lm/W)	60/73/79	63/77/83	63/77/83
Fluxo luminoso (lm)	8650/10549/11467	6950/8475/9213	4093/5980/6500

Tabela 4.4 – Dados referentes à luminária LED SUPERLED SL-A3 para iluminação pública

As luminárias da SUPERLED possuem fator de potência mínimo de 0.90 e menos que 15% de Distorção Harmônica Total (DHT). O índice de reprodução de cores é igual a 70 e o índice de proteção é o IP65. A vida útil dessas luminárias LED é de 35.000 horas segundo catálogo do fabricante.

3) Philips

- Luminária Roadstar Philips (Figura 4.5)



**Figura 4.5 – Luminária Roadstar Philips
(Fonte: Catálogo Philips)**

A luminária Roadstar Philips é termicamente testada e possui 70.000 horas de vida útil. A facilidade de instalação e o baixo custo de manutenção a tornam uma solução extremamente atrativa. O fabricante recomenda a utilização em ruas, avenidas, estradas, praças ou estacionamentos. Seu índice de proteção é o IP66. Seguem na Tabela 4.5 os dados pertinentes à luminária Roadstar Philips:

Luminária Roadstar Philips	
Consumo total (W)	44 a 200
Tensão (V)	120/277
Eficiência (lm/W)	65
Temperatura de cor (K)	4000
IRC	70

Tabela 4.5 – Dados referentes à luminária Roadstar Philips

- Luminária Essential Philips (Figura 4.6)



**Figura 4.6 – Luminária Essential Philips
(Fonte: Catálogo Philips)**

A luminária Essencial Philips foi projetada para atender a uma necessidade importante na iluminação pública, fazer o retrofit⁹ dos sistemas convencionais de iluminação com lâmpadas de descarga HID, com vida útil de 50.000 horas e grande economia de energia. Está disponível em modelos com 96, 128 ou 160 LEDs e seu índice de proteção é o IP65. Seguem na Tabela 4.6 os dados referentes à luminária Essencial Philips:

Item	Essential-105	Essential-140	Essential-175
Quantidade de LED (peças)	96	128	160
Consumo (W)	105	140	175
Temperatura de cor (K)	4000/5500	4000/5500	4000/5500
Eficiência (lm/W)	85	85	85
IRC	>75	>75	>75

Tabela 4.6 – Dados referentes à luminária Essencial Philips

- Projetor Tunnel LED Philips (Figura 4.7)



**Figura 4.7 – Projetor Tunnel LED Philips
(Fonte: Catálogo Philips)**

É um projetor desenvolvido especialmente para atender as altas exigências de uma iluminação para túneis. Possui um refletor assimétrico de alto rendimento e durabilidade que permite que os projetos fiquem posicionados paralelamente à pista, fazendo com que não exista ofuscamento ao motorista. Sua vida útil é de 50.000

⁹ É um termo utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento. Nesse caso, significa substituição apenas das luminárias sem alterar as características do sistema existente como altura da luminária, espaçamento entre postes e tamanho do braço da luminária

horas e o índice de proteção é o IP66. Seguem na Tabela 4.7 os dados referentes ao projetor Tunnel LED Philips:

Projetor Tunnel LED Philips	
Consumo total (W)	112
Tensão (V)	220/240
Eficiência (lm/W)	65
Temperatura de cor (K)	4300
IRC	70

Tabela 4.7 – Dados referentes ao projetor Tunnel LED Philips

4) Golden

- Luminária Golden Extreme LED Iluminação Pública (Figura 4.8)



**Figura 4.8 – Luminária Golden Extreme LED Iluminação Pública
(Fonte: Catálogo Golden)**

A luminária Golden Extreme LED está disponível em apenas um modelo com 180 LEDs e possui fator de potência mínimo de 0.90. Sua utilização é considerada versátil e fácil de montar, pois aproveita a infraestrutura da iluminação existente. Pode ser aplicado em todos os tipos de via pública com objetivo de obter alta performance com tecnologia de última geração. Sua vida útil é de 50.000 horas e o índice de proteção é o IP65. Seguem na Tabela 4.8 os dados referentes à luminária Golden Extreme LED Iluminação Pública:

Luminária Golden Extreme LED	
Consumo total (W)	239
Tensão (V)	120/277
Eficiência (lm/W)	82/91
Temperatura de cor (K)	4000/5000
IRC	>75

Tabela 4.8 – Dados referentes à luminária Golden Extreme LED

- Luminária Golden LED Iluminação Pública CH (Figura 4.9)



**Figura 4.9 – Luminária Golden LED Iluminação Pública CH
(Fonte: Catálogo Golden)**

A luminária Golden LED Iluminação Pública CH está disponível em cinco modelos diferentes com 40, 60, 80, 90 ou 120 LEDs e possui fator de potência mínimo de 0.90. Foi desenvolvida para substituir as tradicionais luminárias utilizadas na rede pública reduzindo o custo de manutenção e consumo devido à tecnologia LED. Sua vida útil é de 50.000 horas e o índice de proteção é o IP65. Seguem na Tabela 4.9 os dados referentes à luminária Golden LED Iluminação Pública CH para os modelos com 60, 90 e 120 peças de LED respectivamente:

Item	CH-60	CH-90	CH-120
Quantidade de LED (peças)	60	90	120
Consumo (W)	80	120	160
Temperatura de cor (K)	4000	4000	4000
Eficiência (lm/W)	82	82	83
IRC	>75	>75	>75

Tabela 4.9 – Dados referentes à luminária Golden LED Iluminação Pública CH

Ambos os modelos da Golden possuem garantia de cinco anos fornecida pelo fabricante.

5) General Electric (GE)

- Luminária GE Iberia LED (Figura 4.10)



**Figura 4.10 – Luminária GE Iberia LED
(Fonte: Catálogo GE)**

A luminária GE Iberia LED é uma luminária versátil que pode ser utilizada tanto em ambientes urbanos quanto arquitetônicos. Está disponível em potências de até 90W e conta com uma vida útil de 50.000 horas. Utiliza LEDs de alto brilho e possui índice de proteção IP65. Seguem na Tabela 4.10 os dados referentes à luminária GE Iberia LED:

Luminária GE Iberia LED	
Consumo total (W)	90
Tensão (V)	120/277
Eficiência (lm/W)	54
Temperatura de cor (K)	4100
IRC	70

Tabela 4.10 – Dados referentes à luminária GE LED Iberia

- Luminária GE T250 (Figura 4.11)



**Figura 4.11 – Luminária GE T250
(Fonte: Catálogo GE)**

A luminária LED GE T250 é uma luminária própria para túneis que utiliza um sistema óptico de alta eficiência, capaz de proporcionar alta uniformidade e excelente distribuição de luz vertical com ofuscamento reduzido. Está disponível em potências de 40W, 60W, 80W, 100W ou 120W e possui uma vida útil de 50.000 horas. O fator de potência é maior que 0.90 e a tensão de entrada pode variar de 200 a 240V. O índice de proteção dessa luminária é o IP66.

- Luminária LED GE Cobrahead R150 Pro (Figura 4.12)



**Figura 4.12 – Luminária LED GE Cobrahead R150 Pro
(Fonte: Catálogo GE)**

A luminária LED GE Cobrahead R150 Pro possui design ótico único com controle efetivo do brilho, promovendo melhoria da uniformidade de iluminação da via. A vida útil da luminária é de 50.000 horas e o índice de proteção é o IP65. Encontra-se disponível nas potências de 60W, 140W e 157W e o fator de potência mínimo também é 0.90 conforme a maioria das luminárias desse segmento. Seguem na Tabela 4.11 os dados referentes à luminária LED GE R150 Pro 60W:

Luminária LED GE R150 Pro 60W	
Consumo total (W)	60
Tensão (V)	220/240
Eficiência (lm/W)	66
Temperatura de cor (K)	4300
IRC	70

Tabela 4.11 – Dados referentes à luminária LED GE R150 PRO

6) Ledstar

- Luminária Street Light LS LEDSTAR (Figura 4.12)



Figura 4.12 – Luminária Street Light LS LEDSTAR
(Fonte: Catálogo LEDSTAR)

A luminária Street Light LS LEDSTAR possui um total de oito potências possíveis variando de 36W até 279W. A vida útil estipulada pelo fabricante é de 60.000 horas e o seu índice de proteção é o IP67. Seguem na Tabela 4.12 os dados referentes à luminária Street Light LS LEDSTAR com 120, 160 e 200 peças de LEDs:

Item	LS - 120	LS - 160	LS - 200
Consumo (W)	117	158	194
Tensão (V)	90/305	90/305	90/305
Temperatura de cor (K)	5000	5000	5000
Eficiência (lm/W)	92	92	92
IRC	70	70	70

Tabela 4.12 – Dados referentes à luminária Street Light LS LEDSTAR

- Luminária LED E-Light LE (Figura 4.13)



Figura 4.13 – Luminária LED E-Light LE

(Fonte: Catálogo Ledstar)

A luminária LED E-Light LE está disponível na potência de 105W e sua vida útil é de aproximadamente 60.000 horas. Seu índice de proteção é o IP66. Seguem na Tabela 4.13 os dados referentes à luminária LED E-Light LE:

Luminária LED E-Light LE	
Consumo total (W)	105
Tensão (V)	90/305
Eficiência (lm/W)	73
Temperatura de cor (K)	5000
IRC	70

Tabela 4.13 – Dados referentes à luminária LED E-Light LE

7) Osram

- Luminária Osram SQ 50 LED (Figura 4.14)



Figura 4.14 – Luminária Osram SQ 50 LED
(Fonte: Catálogo Osram)

A luminária Osram SQ 50 LED é compatível com o padrão de estradas e praças e está disponível na potência de 68W. A vida útil dela é de 50.000 horas e conta com índice de proteção IP66. Seguem na Tabela 4.14 os dados referentes a essa luminária:

Luminária Osram SQ 50 LED	
Consumo total (W)	68
Tensão (V)	220/240
Eficiência (lm/W)	46
Temperatura de cor (K)	5000
IRC	70

Tabela 4.14 – Dados referentes à luminária Osram SQ 50 LED

- Luminária Osram DL 500 LED (Figura 4.15)



Figura 4.15 – Luminária Osram DL 500 LED
(Fonte: Catálogo Osram)

A luminária Osram DL 500 LED também é compatível com o padrão de estradas e praças e está disponível na potência de 44W. A vida útil dela é de 50.000 horas e conta com índice de proteção IP65. Seguem na Tabela 4.15 os dados referentes a essa luminária:

Luminária Osram SQ 50 LED	
Consumo total (W)	44
Tensão (V)	220/240
Eficiência (lm/W)	61
Temperatura de cor (K)	5000
IRC	70

Tabela 4.15 – Dados referentes à luminária Osram DL 500 LED

- Luminária Osram Streetlight 10 midi LED (Figura 4.16)



Figura 4.16 - Luminária Osram Streetlight 10 midi LED
(Fonte: Catálogo Osram)

A luminária Osram Streetlight 10 midi LED é ideal para estradas principais e sua potência nominal é de 159W. Sua vida útil é de 50.000 horas e conta com índice de proteção IP66. Seguem na Tabela 4.16 os dados referentes a essa luminária:

Luminária Osram Streetlight 10 midi LED	
Consumo total (W)	159
Tensão (V)	220/240
Eficiência (lm/W)	57
Temperatura de cor (K)	4000
IRC	70

Tabela 4.16 – Dados referentes à luminária Osram Streetlight 10 midi LED

Por fim, é mostrado na Tabela 4.17 um comparativo das características elétricas e luminotécnicas dos principais modelos de luminárias LED na faixa de potência de 100 a 160W. Após a apresentação das luminárias disponíveis no mercado brasileiro, serão apresentados alguns detalhes construtivos e acessórios opcionais que podem ser encomendados juntamente com a luminária, visando à otimização do sistema e principalmente a redução na frequência de realização da manutenção.

Luminárias	Consumo (W)	Eficiência (lm/W)	Temperatura de cor (K)	IRC
Luminária Green King Cobra GC2	100	85	4300	75
Luminária SUPERLED SL-A3	110	83	6500	75
Luminária Roadstar Philips	100	65	4000	70
Luminária Golden Iluminação Pública CH	120	82	4000	>75
Luminária GE Cobrahead R150 Pro	157	66	4300	75
Luminária Street Light LS LEDSTAR	117	92	5000	70
Luminária Osram Street Light 10 midi	159	57	4000	70

Tabela 4.17 – Comparativo das características elétrica e luminotécnicas das principais luminárias LED

Algumas das empresas citadas oferecem kit ‘espanta pássaro’, suporte para o tipo de poste específico, placa de proteção e dimmer¹⁰. Em regiões costeiras ou em

¹⁰ É um dispositivo utilizado para variar a intensidade de uma corrente elétrica média em determinada carga. Consiste de gradadores que, através da redução ou aumento do valor RMS da tensão e, portanto aumento da potência média de uma lâmpada, controlam a intensidade da luz produzida pela mesma.

outros ambientes onde há grande concentração de pássaros, o item opcional pode eliminar o problema de detritos indesejados nas luminárias. No caso da placa de proteção, ela é utilizada para reduzir a incidência de luz nas residências. São tiras localizadas atrás das lâmpadas que reduzem a luminosidade à metade da altura de montagem atrás da luminária.

Na maior parte das luminárias apresentadas, os componentes da carcaça recebem uma camada de pó de epóxi-poliéster para a resistência à abrasão e ao desgaste. Algumas possuem um design de dissipação que orienta o fluxo de ar e evita o acúmulo de poeira, garantindo a dissipação necessária.

Outra vantagem de certas luminárias é que os componentes elétricos são acessados sem o uso de ferramentas e são montados no anteparo removível conforme mostrado na Figura 4.17. O anteparo pode ser desconectado rapidamente do bloco terminal e da placa LED, garantindo assim uma instalação fácil e uma manutenção realizada em poucos minutos. Em alguns casos, existe até um sensor para interrupção da eletricidade quando a tampa for aberta, oferecendo assim, maior segurança.



Figura 4.17 – Luminária LED com o anteparo pendente em segurança

(Fonte: Catálogo Leotek)

Outro recurso muito interessante disponível em alguns modelos de luminária é o ajuste vertical, podendo variar de 0 a 10 graus e o ajuste horizontal, variável de menos 5 a mais 5 graus, conforme apresentado na Figura 4.18.

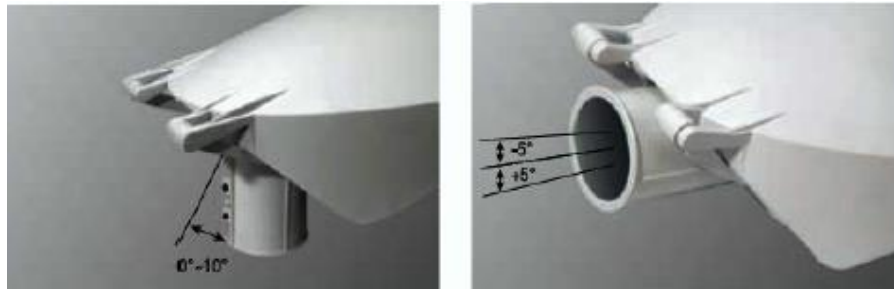


Figura 4.18 – Ajustes vertical e horizontal da luminária LED
(Fonte: Catálogo Leotek)

5 - Exemplos de instalações

5.1 - Projeto piloto – Campus da UFJF

O Núcleo de Iluminação Moderna (NIMO) é um grupo responsável por ações de pesquisa, ensino e consultoria em Iluminação na UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora). No período de 2009 a 2012 esse grupo atuou em parceria com a ELETROBRAS por meio de um convênio de cooperação financeira denominado Novas Tecnologias em Iluminação Pública – Desenvolvimento de Ações Priorizando a Eficiência Energética.

Os objetivos do convênio eram: capacitação laboratorial; capacitação de profissionais na área de iluminação pública; análise de componentes de iluminação pública empregando LEDs; desenvolvimento de drivers para luminárias LED e implantação de um projeto piloto de iluminação pública com LEDs. O principal objetivo era a implantação e acompanhamento do sistema piloto de iluminação externa empregando LEDs na quarta plataforma do Campus Universitário da UFJF.

O grupo realizou análises em diversas luminárias LED disponíveis no mercado, testes em laboratório e em campo buscando identificar as características elétricas e fotométricas de luminárias de diversos fabricantes. A partir da experiência obtida com esses ensaios e da troca de experiências com os técnicos da ELETROBRAS foi possível definir as especificações técnicas do processo licitatório para a aquisição das luminárias LED implantadas no projeto piloto. A luminária escolhida para o projeto foi a GE Cobrahead 157 W.

As lâmpadas utilizadas anteriormente eram lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 250 W (Figura 5.1) dentro de luminárias fechadas com compartimento para os reatores eletromagnéticos convencionais. Foram realizadas medições de iluminância de acordo com a norma NBR 5101 em um trecho representativo do anel viário e foi constatado que o sistema estava sobre dimensionado, ou seja, os níveis de iluminância estavam bem acima dos mínimos estabelecidos pela norma.



Figura 5.1 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão 250W

(Fonte: NIMO)

Foram instalados 44 pontos de iluminação empregando LEDs ao longo do anel viário da Faculdade de Engenharia. Um dos objetivos do projeto era verificar a possibilidade de realização de retrofit, ou seja, fazer a substituição apenas das luminárias sem alterar as características do sistema existente (altura da luminária, espaçamento entre postes, tamanho do braço da luminária).

Os dois principais problemas encontrados foram a arborização e o aterramento do local. No primeiro, a incompatibilidade entre o sistema de iluminação pública e a arborização local causou a diminuição da eficiência do sistema e o aumento das zonas de sombra. No segundo, foi verificado que a resistência de aterramento dos postes estava acima do valor mínimo recomendado por norma.

Na Tabela 5.1 verifica-se uma comparação das características elétricas entre o sistema empregando luminárias de vapor de sódio de alta pressão e o sistema empregando luminárias LED.

	Luminária com Lâmpada HPS	Luminária LED
Tensão de entrada	220 V	220 V
Corrente de entrada	1,40 A	0,714 A
Potência total de entrada	250W lâmpada + 30W do reator	157 W
Fator de Potência	0,893	0,97
THDi	21,88%	10,2%
Potência instalada (44 luminárias)	12,39kW	6,9kW

Tabela 5.1 – Comparativo elétrico entre o sistema antigo e o sistema novo com luminárias LED

Considerando o preço médio de R\$ 0,552 do kWh para o sistema estudado, foi feito o cálculo do gasto anual com a nova tecnologia LED e com as antigas lâmpadas a vapor de sódio. Foi considerado que a lâmpada fica ligada 12 horas diárias para efeito de cálculo.

$$\text{Consumo}(kWh/mês) = \frac{n * P * t * 30}{1000}$$

n – número de luminárias

P – potência da lâmpada

t – tempo de funcionamento por dia

$$\text{Consumo}_{LED} = \frac{44 * 157 * 12 * 30}{1000} = 2468,88 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo}_{\text{vapor de sódio}} = \frac{44 * 280 * 12 * 30}{1000} = 4435,2 \text{ kWh/mês}$$

$$Gasto\ anual_{LED} = 0,552 * 2468,88 * 12 = R\$ 16.353,86$$

$$Gasto\ anual_{vapor\ de\ sódio} = 0,552 * 4435,2 * 12 = R\$ 29.378,23$$

Os cálculos sinalizam uma economia anual de R\$ 13.024,37 com o sistema LED. Porém, o *payback* do sistema empregando LEDs instalado durante o projeto piloto se daria em sete anos sendo considerado o custo da luminária LED de R\$ 1.960,00. A análise de sensibilidade da ELETROBRAS, para que um projeto semelhante seja economicamente viável, segundo diretrizes do Programa Reluz, diz que o *payback* deveria se dar em cinco anos (período de financiamento do Reluz).

Após a realização do projeto piloto de iluminação pública com LEDs, o NIMO foi convidado a desenvolver o projeto com LEDs em todo o Campus da UFJF. O ponto de partida de elaboração do projeto tomou por base os conceitos de sustentabilidade, eficiência energética, otimização de custos, manutenção dos atuais níveis de luminosidade, requisitos de manutenção e otimização dos componentes em estoque.

O projeto foi dividido em oito etapas sendo elas: medição dos níveis de iluminação e uniformidade existentes em diversas áreas do Campus; identificação de novos pontos de iluminação pública; divisão do Campus em ambientes característicos; definição dos níveis de luminosidade; simulações computacionais; elaboração do projeto eletrotécnico e treinamento do setor de manutenção.



Figura 5.2 – Foto do trecho antes da instalação do sistema LED

(Fonte: NIMO)



Figura 5.3 – Foto do trecho após a instalação do sistema LED

(Fonte: NIMO)

5.2 – Iluminação LED nos túneis do RodoAnel

O grupo CCR, empresa que possui a concessão de 95% do RodoAnel, implantou a tecnologia LED em 3 túneis do RodoAnel em São Paulo durante os anos de 2009 a 2011.

Túnel	Localização	Extensão (m)
1	km 7,4	1.730
2	km 10,6	650
3	km 28,3	470

Considerando o cenário inicial, havia um total de 2014 lâmpadas de vapor de sódio 250 W (263 W consumo real com reator) instaladas, com vida útil de apenas um ano e consumo anual de 7.93 GWh. Com a troca pela tecnologia LED, foram instaladas 2380 luminárias LED 90W, com vida útil de aproximadamente seis anos, totalizando um consumo anual de 3.18 GWh.

Houve uma redução de 60% no consumo de energia elétrica, 2.000 lâmpadas deixaram de ser descartadas todo ano e ocorreu uma diminuição na interrupção das faixas de rolamento. Além desses benefícios, também podemos citar o aumento do conforto e da segurança dos usuários, a redução significativa com os custos de manutenção e a diminuição das emissões de CO₂.

$$Consumo_{LED} = \frac{2380 * 86 * 24 * 30}{1000} = 147.369,6 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Consumo}_{\text{vapor de sódio}} = \frac{2014 * 263 * 24 * 30}{1000} = 381.371,04 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Gasto anual}_{LED} = 0,552 * 147.369,6 * 12 = \text{R\$ } 976.176,23$$

$$\text{Gasto anual}_{\text{vapor de sódio}} = 0,552 * 381.371,04 * 12 = \text{R\$ } 2.526.201,77$$

Nesse caso, os cálculos sinalizam uma economia de R\$ 1.550.025,54 ao ano com o sistema LED. Considerando o preço de cada luminária de R\$1.100,00, o payback se daria em aproximadamente dois anos. Nesse cenário, fica claro que o projeto é economicamente viável e seria bastante interessante propor a troca de todos os túneis do RodoAnel.

Porém, existe o desafio de implementar as obras em curto espaço de tempo, com menor impacto à população devido a necessidade de interdição das pistas. Além disso, é necessário aplicar um método de instalação que dificulte ações de furto e vandalismo.



Figura 5.4 – Trecho de túnel do Rodoanel com iluminação a vapor metálico

(Fonte: CCR)



Figura 5.5 – Trecho de túnel do Rodoanel após a instalação do sistema LED
(Fonte: CCR)



Figura 5.6 – Aplicação da tecnologia LED em trecho do RodoAnel

5.3 - Ciclovia da Beira-Mar Norte

A ciclovia Beira-Mar Norte, principal avenida da capital catarinense, ganhou nova iluminação LED com o auxílio da Prefeitura de Florianópolis. O projeto de iluminação, que fez parte do programa de comemoração do 286º aniversário da cidade foi executado pela SQE LUZ em parceria com a GE.

A quarta cidade brasileira com a melhor qualidade de vida recebeu 366 luminárias LED Cobrahead, da GE, que trouxeram economia no consumo de energia de 50%, quando comparada à tecnologia de lâmpadas a vapor metálico, anteriormente

utilizada. Outro ganho direto foi a durabilidade. As novas luminárias LED contam com vida útil de 50 mil horas, em torno de cinco a seis vezes mais alta que a tecnologia antes instalada, reduzindo a necessidade de manutenção para a troca de lâmpadas.

Além da grande economia, as 366 luminárias LED Cobrahead, da marca GE, oferecem resistência a intempéries, característica ideal para áreas de alta salinidade e efeitos de corrosão, proporcionado pelo alto grau de proteção da luminária, reflexo do encapsulamento exclusivo da GE. O modelo escolhido ainda oferece menor área de contato e impede que o vento interfira na iluminação.

O projeto reduziu em mais de 50% a emissão de gases de efeito estufa relacionados à iluminação da ciclovia e foi executado em quatro etapas pela SQE LUZ, distribuidor autorizado da GE no estado de Santa Catarina e responsável pela instalação e manutenção dos sistemas LED utilizados em Florianópolis.



Figura 5.7 – Trecho da Ciclovia Beira-Mar Norte antes do sistema LED

(Fonte: Sadenco)



Figura 5.8 – Trecho da Ciclovía Beira-Mar Norte após o sistema LED
(Fonte: Geblogs)

5.4 – Pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos

A travessia das pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos, responsáveis pela conexão da ilha de Florianópolis ao continente foi contemplada com um total de 210 luminárias de tecnologia LED da GE Iluminação. O responsável pela instalação foi o consórcio SQE LUZ, em parceria com a Prefeitura de Florianópolis e a GE.

Além do ganho estético, os feixes de luz são mais concentrados e conseguem ser direcionados para os locais que precisam de claridade melhorando a visibilidade. O secretário de Obras João Amin disse que foi investido R\$1,6 milhão na substituição da iluminação antiga, que era da década de 1970 e estava bastante avariada. Acrescentou que o gasto será recuperado no longo prazo já que o equipamento novo gasta 48% menos eletricidade.

A durabilidade é outro ponto importante: com vida útil de 50 mil horas, as luminárias de LED reduzem a necessidade de trocas ou reparações, diminuindo gastos e intervenções no fluxo do trânsito. Em caso de falta de luz não há lapso temporal para o funcionamento dos equipamentos LED. Assim que o fornecimento é restabelecido as luminárias recomeçam a funcionar.



Figura 5.9 – Pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos com iluminação a vapor de sódio

(Fonte: Diariocatarinense)

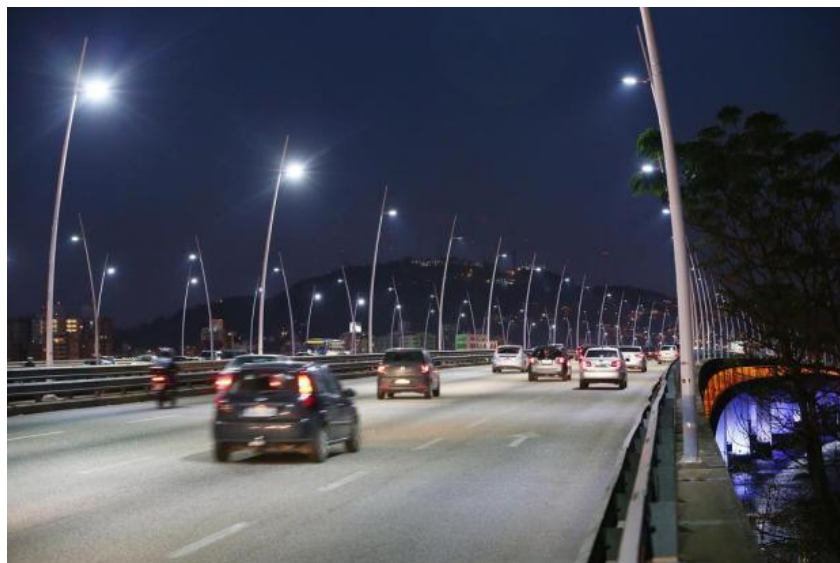


Figura 5.10 – Pontes de Florianópolis com o sistema LED

(Fonte: Diariocatarinense)

5.5 - Lagoa Rodrigo de Freitas

A Prefeitura do Rio, por meio da Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos, inaugurou no final de 2011, a iluminação com tecnologia LED da Lagoa Rodrigo de Freitas, na Zona Sul da cidade. O projeto de iluminação, que faz parte

do programa de reforma da Lagoa, foi executado pela Rioluz em parceria com a GE Iluminação.

No total foram instaladas 540 luminárias LED Iberia da GE que proporcionarão maior luminosidade, com menor consumo de energia. A nova iluminação, que substituiu as antigas lâmpadas de vapor de sódio de 150 W, gera uma luz branca e uniforme, que permite melhor identificação de cores e condições de visibilidade para o tráfego de veículos, ciclistas e pedestres.

O projeto incluiu a troca de todos os postes da orla da Lagoa, incluindo os que sofreram com processo corrosivo ao longo dos anos. Os novos postes são de aço e na base possuem sapatas, que os elevam do solo e permitem o maior controle da corrosão. Ao serem retirados, os antigos postes foram levados para a Gerência de Materiais da Rioluz. Depois da avaliação técnica, eles foram recuperados com tratamento especial e pintura específica para reutilização em favelas pacificadas no Centro da cidade.

A substituição das antigas luminárias está gerando 50% de economia no consumo de energia, o que daria para iluminar 360 unidades habitacionais por um ano, considerando que cada residência utilize dez lâmpadas econômicas de 15 W.



Figura 5.11 – Lagoa Rodrigo de Freitas com a antiga iluminação a vapor de sódio

(Fonte: Ligadodorio)



**Figura 5.12 – Trecho da Lagoa Rodrigo de Freitas com a nova iluminação LED
(Fonte: Geblogs)**

6 – Conclusão

Este trabalho oferece um material técnico e informativo sobre a utilização da tecnologia LED no cenário da iluminação pública brasileira. A principal ideia é contribuir de maneira efetiva para que essa tecnologia seja amplamente utilizada em sistemas de iluminação pública muito em breve no Brasil.

Embora o LED seja algo novo e desconhecido para muitas pessoas, sua história data do início do século XX, mais precisamente do ano de 1907. Desde então, essa tecnologia vem evoluindo constantemente. Várias empresas passaram a investir no desenvolvimento de soluções como ótica secundária, dissipação térmica, drivers, controle e softwares a fim de tornar a utilização de LEDs mais efetiva na iluminação geral.

Foi apresentado um pequeno histórico da iluminação pública brasileira, mostrando o desenvolvimento do sistema, bem como a regulamentação, os aspectos gerais pertinentes e a influência do programa RELUZ, instituído em 2000 com o apoio do Ministério de Minas e Energia.

Posteriormente foi possível analisar as ofertas de luminárias LED no mercado brasileiro juntamente com suas principais características de iluminação e detalhes construtivos específicos. Em alguns casos, sendo possível encomendar acessórios opcionais visando à otimização do sistema e a redução no tempo de realização de manutenção.

Constatou-se que já existem no Brasil diversos modelos de luminárias LED disponíveis para iluminação pública. Porém, a falta de norma e legislação específica estabelecendo padrões de construção, utilização e ensaio para as luminárias oferecidas aos clientes e a incerteza quanto às condições de manutenção e limpeza do LED e das luminárias deixam os consumidores bastante receosos.

No caso dos LEDs, o termo potência está associado à produção de boa quantidade de energia luminosa e, portanto, são os LEDs de potência que servem para iluminação pública. É importante ressaltar que esses LEDs tiveram seu crescimento potencializado pela descoberta do LED branco, uma vez que é impossível pensar na iluminação de ambientes com uma luz monocromática vermelha ou verde.

O uso de equipamentos à base de LEDs em sistemas de iluminação pública tem expandido muito em todo o mundo nos últimos anos. Isso ocorre principalmente porque essa tecnologia oferece uma longa vida útil e elevada eficácia luminosa. Além disso, as propriedades da iluminação LED como melhor distribuição de luz e maior reprodução de cor aumentam o conforto e os detalhes visuais. As luminárias LED

também reduzem a poluição luminosa da cidade, o impacto ambiental e interferem menos na vida da fauna noturna por não emitirem raios UV.

O enorme potencial de economia de energia existente na utilização em larga escala dos LEDs em sistemas de iluminação geral tem despertado o interesse de muitos fabricantes, desde os mais capacitados para a aplicação da nova tecnologia até aqueles que comercializam equipamentos e componentes de qualidade mais duvidosa.

Porém, mesmo oferecendo vantagens bastante interessantes, é preciso realizar uma análise cuidadosa na hora de propor uma troca pelo diodo emissor de luz. Por se tratar de uma tecnologia nova no mercado, o custo comparado com outras fontes de iluminação é bem mais alto. Além disso, para se obter um resultado de qualidade comprovada, é imprescindível mão de obra especializada, porém a oferta desse trabalho específico não é tão grande quanto à procura e por isso esse custo fica elevado.

Embora a utilização de luminárias LED venha crescendo na iluminação pública brasileira, ainda existem poucos pontos de iluminação com essa tecnologia. A falta de normatização nacional que regulamente a comercialização de equipamentos que empregam LEDs pode acabar permitindo que muitos produtos de baixa qualidade sejam comercializados facilmente no Brasil.

Cada fabricante apresenta um modelo distinto, não há padrões básicos de construção. Como a grande maioria das pessoas não é tão familiarizada com a tecnologia, fica difícil até promover uma comparação entre os modelos disponíveis para efeito de compra. Fatores diversos como vida útil, eficácia luminosa, IRC, índice de proteção, etc devem ser levados em consideração.

Por fim, foram mostrados alguns exemplos de cidades brasileiras que contam com a tecnologia LED na iluminação pública e também um projeto piloto feito pelo Núcleo de Iluminação Moderna da UFJF no campus universitário. No caso dos túneis do RodoAnel, em São Paulo foi visto que economicamente a implantação do LED é bastante vantajosa, já que o payback do projeto se daria num período relativamente curto de aproximadamente 20 meses.

Porém, a perspectiva econômica não é a única que deve ser levada em consideração em projetos dessa magnitude. Se estivermos falando de uma estrada, por exemplo, é preciso fazer o levantamento básico das dimensões das pistas, aferição da velocidade máxima permitida de passagem de veículos para definição do comprimento de cada zona, quantidade, potência e rendimento das luminárias existentes e mapeamento das diferentes zonas de iluminância.

Após o mapeamento desses dados detalhados pode ser realizada uma comparação com o novo sistema proposto, utilizando as luminárias com a tecnologia

LED. Será importante atentar que cada fabricante de luminárias LED terá fotometrias e eficiências diferentes e por isso o projeto deverá ser analisado cuidadosamente, verificando cada possibilidade e cada restrição específica.

Além disso, para que a implantação da tecnologia LED seja definitivamente vitoriosa, deve haver um programa de manutenção com a finalidade de manter o funcionamento dos circuitos elétricos e a realização periódica de limpeza das luminárias, mantendo os níveis de iluminância. Conforme mostrado, a avaliação do projeto a ser implementado deve ser feita por especialistas da área, pois contém diversas variáveis complexas a serem estudadas.

6.1 - Propostas para trabalhos futuros

Como a tecnologia LED encontra-se em constante evolução, sugere-se uma atualização desse trabalho anualmente, inserindo novas luminárias disponíveis no mercado brasileiro e novos lugares contemplados com o diodo emissor de luz na iluminação pública. Recomenda-se um estudo sobre a criação de normas específicas para iluminação pública e a padronização dos modelos de luminárias LED fabricados para utilização no país.

Uma outra possibilidade seria avaliar o uso do LED associado a outras fontes alternativas como, por exemplo, painéis solares. Além disso, seria interessante avaliar essa fonte de luz em vários outros tipos de iluminação: residencial, comercial, industrial, esportiva, etc.

Bibliografia

[1] Fróes da Silva, Lourenço Lustosa. Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

[2] Iluminando a Lagoa Rodrigo de Freitas. Disponível em:
<<http://brazil.geblogs.com/iluminando-a-lagoa-rodrigo-de-freitas/>> Acesso em: 15 nov. 2013

[3] Nascimento, Alan. Análise do Uso da Tecnologia LED na Iluminação Pública: Estudo das Perspectivas de Aplicação na cidade de São Paulo. Tese de M.Sc., Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brasil, 2012.

[4] Santana, Rosa Maria Bomfim. Iluminação Pública: Uma Abordagem Gerencial. Tese de M.Sc., Universidade Salvador, Salvador, BA, Brasil, 2010.

[5] Guarinello, Teodoro Queiroz. Tecnologia de Estado Sólido: Impactos Ambientais e Econômicos. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

[6] Rosito, Luciano Haas. Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil, 2009. Disponível em:
<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fne.emsuacasa.com.br%2Fpages%2Fne%2Ffiles%2Fpdf%2Fdesenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf&ei=_VADU8-6MIHfkQfNjoHwDA&usg=AFQjCNHD5wV7b1ERkBgTufz2ZnvtGyHU6w&bvm=bv.61535280,d.eW0> Acesso em: 20 nov. 2013.

[7] NBR 5101. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/66386451/NBR-05101-NB-429-Iluminacao-Publica>> Acesso em: 22 nov.2013.

[8] Um Marco na Iluminação Pública. Disponível em:
<www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed12/ed_12_Ilumi_Pub.pdf> Acesso em: 28 nov. 2013.

[9] Iluminação Pública. Disponível em:
<<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID={EB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}>> Acesso em: 4 dez. 2013.

[10] Programa Procel. Disponível em:
<<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View={623FE2A5-B1B9-4017-918D-B1611B04FA2B}&Team=¶ms=itemID={6C524BD8-6422-40EC-AD7D-EF8CD7A8C0D9};&UIPartUID={D90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898}>> Acesso em: 5 dez. 2013.

- [11] A Experiência da UFJF com Projetos de Iluminação Pública com LEDs. Disponível em: <www.rpmbrasil.com.br/ilumexpo2013/Danilo_Pereira_Pinto.pdf> Acesso em: 15 dez. 2013.
- [12] Iluminação a LED nos túneis do Rodoanel. Disponível em: <www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/.../ccr_rodanel.pdf> Acesso em: 18 dez. 2013.
- [13] Florianópolis acende LEDs. Disponível em: <<http://brazil.geblogs.com/florianopolis-acende-leds/>> Acesso em: 21 dez. 2013.
- [14] LEDs GE iluminam pontes em Florianópolis. Disponível em: <www.geimprensabrasil.com/leds-ge-iluminam-pontes-em-florianopolis> Acesso em: 23 dez. 2013.
- [15] Lagoa Rodrigo de Freitas tem nova iluminação. Disponível em: <<http://lednews.com.br/lagoa-rodrigo-de-freitas-tem-nova-iluminacao/>> Acesso em: 3 jan. 2013.
- [16] Prefeitura inaugura nova iluminação da Lagoa Rodrigo de Freitas. Disponível em: <<http://pref-r-janeiro.jusbrasil.com.br/politica/8270735/prefeitura-inaugura-nova-iluminacao-da-lagoa-rodrigo-de-freitas>> Acesso em: 3 jan. 2013.
- [17] Silva, Mauri Luiz da. **A luz dos novos projetos**. Rio de Janeiro, Ciência Moderna, 2011.
- [18] Eficiência Luminosa. Disponível em: <<http://luxside.com.br/blog/eficiencia-luminosa/>> Acesso em: 20 dez. 2013.
- [19] Ligado no Rio. Disponível em: <<http://ligadonorio.blogspot.com.br/2011/12/postes-retirados-em-reforma-na-lagoa.html>> Acesso em: 21 dez. 2013.
- [20] Iluminação com LED em pontes de Florianópolis é pioneira no Brasil. Disponível em: <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2013/07/iluminacao-com-led-em-pontes-de-florianopolis-e-pioneira-no-brasil-4202363.html>> Acesso em: 3 jan. 2014.
- [21] Sales, Roberto Pereira. LED, O Novo Paradigma da Iluminação Pública. Tese de M. Sc., Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil, 2011.
- [22] O que é um diodo? Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/led1.htm>> Acesso em: 15 dez. 2013.
- [23] Tecnologia LED. Disponível em: <<http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/products/technologies/led/>> Acesso em: 10 dez. 2013.