



---

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica - DEE

---

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estudo da aplicação de LED's na iluminação de ambientes

Aluno: Cláudio Diego Rodrigues Maciel

Orientador: Eurico Bezerra de Souza Filho

Campina Grande – PB  
Dezembro de 2008

# Estudo da aplicação de LED's na iluminação de ambientes

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

---

Cláudio Diego R. Maciel  
Aluno

---

Eurico Bezerra de Souza Filho  
Orientador

Campina Grande – PB  
Dezembro de 2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

**Aos meus pais Cláudio Diego R. Maciel e Maria de Lourdes Rodrigues Maciel que desde os primeiros anos de escola me incentivaram para os estudos, e aos demais familiares que apóiam e dão força para as nossas conquistas.**

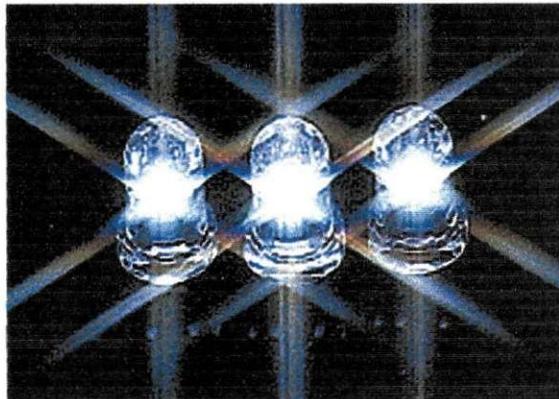
<b>Índice</b>	<b>Páginas</b>
1 - Introdução	1
2- Uma breve História da iluminação	2
3- LED	4
4- Evolução dos LED's	6
5-LED's Brancos fósforos conversores	7
6- HB-LED's	11
7-Análise qualitativa da iluminação de estado sólido a base de LED's brancos	12
8- Vantagens dos LED's	14
9-Utilização dos LED's na iluminação pública	15
10- Exemplos de lâmpadas de LED's	19
11- Conclusão	23
12- Bibliografia	23

## 1 - Introdução

Este trabalho de conclusão de curso possui como objetivo expor a utilização de LED's (diodos emissores de luz) na iluminação, mostrando suas vantagens perante as atuais tecnologias empregadas.

Os usos das lâmpadas atuais acarretam um alto impacto ambiental, devido à grande quantidade de calor gerado. A utilização dos diodos ocasionará a diminuição deste calor emitido, pois estes quase não emitem calor. Esta será uma das vantagens abordada no trabalho.

Será mencionado algumas lâmpadas de LED's existentes e já comercializados, registrando suas características e praticidades.



## 2 - Uma breve história da iluminação

Um pouco depois do começo do século XIX, a luz artificial foi produzida através da piroluminescência, a qual se deve ao fogo. Esta iluminação baseada na piroluminescência data de 500 mil anos atrás, e nós podemos dizer que provavelmente o uso da iluminação artificial foi um pré-requisito para a civilização humana.

Por milhares de anos, brasas, tochas e lamparinas foram as únicas fontes de luz artificial. Luminárias de pedra com um pavio, o qual fornecia combustível para a chama, datam de 30 a 70 mil anos atrás, de acordo com achados arqueológicos e com pinturas em cavernas. Mais tarde, lâmpadas feitas de concha, cerâmica e metal apareceram, mas sem substancial melhoras no processo de produção de luz. As velas, que apareceram nos tempos de Roma, também continham um pavio mais o combustível derretendo no calor da chama.

Os modernos dispositivos de iluminação devido à engenharia datam do final do século XVIII, quando A. L. Lavoisier descobriu que a combustão se dá devido ao oxigênio do ar. Usando este conhecimento, Ami Agrand de Geneva inventou uma lâmpada a óleo com um pavio tubular posicionado entre dois tubos concêntricos e uma chaminé de vidro ao redor da chama. Ele alcançou um apreciável ganho na iluminação devido a um melhor suprimento de oxigênio a chama. Esta lâmpada foi demonstrada ao rei George III e Agrand a patenteou como sendo inglesa.

Um inventor escocês chamado William Murdoch introduziu a iluminação a gás em 1772. Este tipo de iluminação rapidamente tornou-se a principal tecnologia de iluminação no mundo civilizado sendo somente superada pela iluminação elétrica.

Em 1826, Thomas Drummond inventou o primeiro dispositivo de iluminação cristalina, baseado na candoluminescência, ou seja, iluminação devido à excitação térmica dos íons (descoberta em 1820 por Goldsworth Gurney). O dispositivo consistia de uma lima cilíndrica (óxido de cálcio), o qual levava a um estado de iluminação semelhante ao oxigênio queimando num maçarico. A iluminação a lima foi utilizada em teatros nos anos 1860 e 1870 até ser superada pelo arco elétrico.

A história da iluminação elétrica remonta a meados do século XVII, quando o efeito da descarga elétrica estática no vapor de mercúrio foi descoberta. Mas somente no começo do século XIX, Sir Humphrey Davy demonstrou a descarga entre dois bastões de carbono (um arco) e a incandescência de um pedaço de fio aquecido pela corrente elétrica uma bateria de cobre-zinco inventada por Alessandro Volta em 1800 como uma fonte de tensão para esta demonstração. Entretanto, a verdadeira passagem da chama para a eletricidade ocorreu somente nos anos 1870 quando Z. T. Gramme introduziu um eficiente gerador de corrente contínua (dínamo) e Paul Jablochhoff demonstrou o primeiro dispositivo prático de iluminação elétrica em 1876. Mesmo com a vida média curta (somente algumas horas), os candelabros de Jablochhoff foram imediatamente adaptados para a iluminação pública. Em poucos anos, eles foram substituídos pelo alto desempenho, durabilidade (acima de 1000 horas) dos dispositivos de carbono a arco. Estas lâmpadas de descarga foram utilizadas largamente em iluminação de avenidas e na segunda década do século XX por aviões nas duas primeiras guerras mundiais.

Thomas Alva Edison e Joseph Wilson Swan foram reconhecidos com os inventores da luz de filamento incandescente através de suas patentes. Swan demonstrou uma lâmpada incandescente mais cedo em 1879; entretanto, os primeiros tópicos de sua patente estavam nos métodos de evacuação e prevenção de fratura no vidro da lâmpada. Edison demonstrou seu dispositivo poucos meses depois, mas ele obteve a patente das lâmpadas de filamento. As companhias que promoveram a lâmpada incandescente agora lideram a indústria da iluminação: GE, GEC, AEG, Siemens, Osram e Philips.

Em 1900, Peter Cooper Hewitt patenteou a lâmpada de vapor de mercúrio, em 1938 (vg) GE e Westinghouse Electric Corporation introduziram novas lâmpadas a vapor (brancas e coloridas) de descarga com a parte interna dos tubos coberta por uma camada de fósforo. A floroluminescência empregava a fotoluminescência excitada pela emissão ultravioleta do mercúrio e era muito mais eficiente que a lâmpada incandescente.

No presente, as lâmpadas incandescentes de tungstênio promovem a maioria da iluminação residencial. A iluminação em escritórios, indústria e comércio é baseada nas lâmpadas fluorescentes, a qual utiliza descarga em alta pressão no vapor de mercúrio, lâmpadas baratas de sódio são utilizadas para a iluminação nas ruas.

No tempo em que as lâmpadas baseadas em cristal foram quase esquecidas e a comunidade de iluminação estava excitada com a invenção do filamento de tungstênio por A. Just e F. Hanaman (1903), H. J. Round descobriu a eletroluminescência em um cabo semicondutor de silício. A sua primeira explanação data de 1907 e descrevia uma observação de amarela e até luz azul quando uma tensão era aplicada no bastão de silício através de um fio de metal. Infelizmente, sua explicação para este fenômeno envolvendo efeitos termoelétricos estava completamente errada. E permaneceu por sessenta anos antes de N. Holonyak, Jr. and S. F. Bevacqua desenvolverem uma junção o-n emissora de luz (vermelha) visível. LEDs com eficiência excedendo a lâmpadas incandescentes filtradas (LEDs de alto brilho) foram desenvolvidos nas duas heteroestruturas propostas por Kroemer. Os LEDs de alto brilho atuais são de 3 a quatro materiais de heteroestruturas, tais como AlGaAs, AlGaInP e AlInGaN. O desenvolvimento recente de sistemas de materiais nítricos possibilitou LEDs azuis e de ultra violeta, os quais tornaram possível a geração de luz branca.

A figura 1 mostra o status atual de eficiência luminosa e quantidade externa de eficiência para duas famílias principais de LEDs de alto brilho – AlInGaN e AlGaInP.

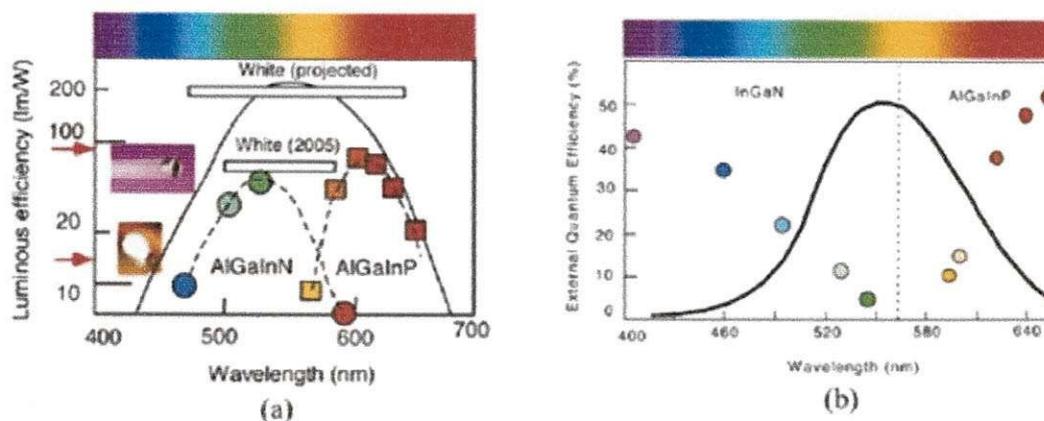


Figura-1 – Status da eficiência luminosa

### 3 - LED

Desde a invenção da lâmpada com filamento de tungstênio por Thomas Edson em 1879, a humanidade vem utilizando como princípio básico de iluminação a incandescência. Atualmente outro tipo de tecnologia vem surgindo como a grande alternativa, o diodo emissor de luz (LED).

O LED possui como princípio básico de funcionamento a ELETROLUMINESCÊNCIA, que gera luz utilizando uma conversão direta da energia elétrica para energia potencial dos elétrons. Um LED simples é uma junção p-n dopada ou não. Quando a corrente elétrica atravessa as lacunas, são injetados na região de depleção dentro da parte neutra n e os elétrons são injetados na região de depleção da parte neutra p. A difusão do excesso de elétrons e de lacunas adquire energia potencial igual a da banda proibida de energia e podem recombinar-se causando a emissão de luz. Esse pulso da etapa dissipativa da aceleração dos portadores de carga é a grande vantagem dos LEDs, que potencialmente possibilita atingir a eficiência radiativa próxima a 100%. A eficiência dos mesmos é limitada pela qualidade dos materiais e imperfeições da estrutura dos dispositivos em vez das limitações devido a processos físicos.

Diferentemente das lâmpadas incandescentes, o LED emite luz em uma determinada cor. Esta depende do material utilizado em sua composição (AlInGaN ou InGaN) e varia entre as cores vermelha, amarela, azul, violeta e verde. A luz branca pode ser obtida através da mistura das cores verde, vermelho e amarelo ou através do LED azul com o fósforo amarelo.

A quantidade de luz emitida pelo diodo emissor de luz diminui com o aumento da temperatura. O LED amarelo é mais sensível a essa variação, comparando-se com o verde. Perdas de luminosidade em função da temperatura são contornáveis e não estão relacionadas à depreciação do fluxo luminoso. A temperatura máxima de operação é de 100°C e não deve ser ultrapassada.

O LED azul proporciona uma excitação do fósforo fazendo com que ele emita luz amarela, resultando no final a luz branca. A eficiência dos LEDs tem aumentado consideravelmente durante os últimos anos, graças ao avanço tecnológico e o desenvolvimento de novos materiais, resultando em uma produção com custos cada vez

menores destes dispositivos. Dependendo do tipo de cor, obtemos em torno de 20 lm/W, incrementando ainda mais a cada ano. A tensão de operação do LED também varia em função da cor, variando de 2V a 4V para uma corrente de condução de até 70mA. A eficiência máxima é obtida pelo uso de uma fonte de corrente contínua DC. Devido ao desenvolvimento de novos materiais e os avanços tecnológicos os LEDs vêm sendo produzidos com custos cada vez menores.

A chegada dos LEDs deverá mudar a decoração e a arquitetura de casas e escritórios. Eles são diferentes das lâmpadas porque não precisam ser pontos de luz fixos saídos do teto. Por produzir pouco calor e não apresentar risco de incêndio, os diodos emissores de luz podem ser facilmente instalados em qualquer tipo de base, como cimento ou plástico. Muitos arquitetos já utilizam estes dispositivos na decoração de ambientes. As figuras a seguir ilustram algumas das aplicações de LEDs. Lembrando que o escopo do projeto não é a utilização de LEDs na arquitetura, mas sim na iluminação.

A figura 2 expõe a algumas utilizações dos LED's na arquitetura.

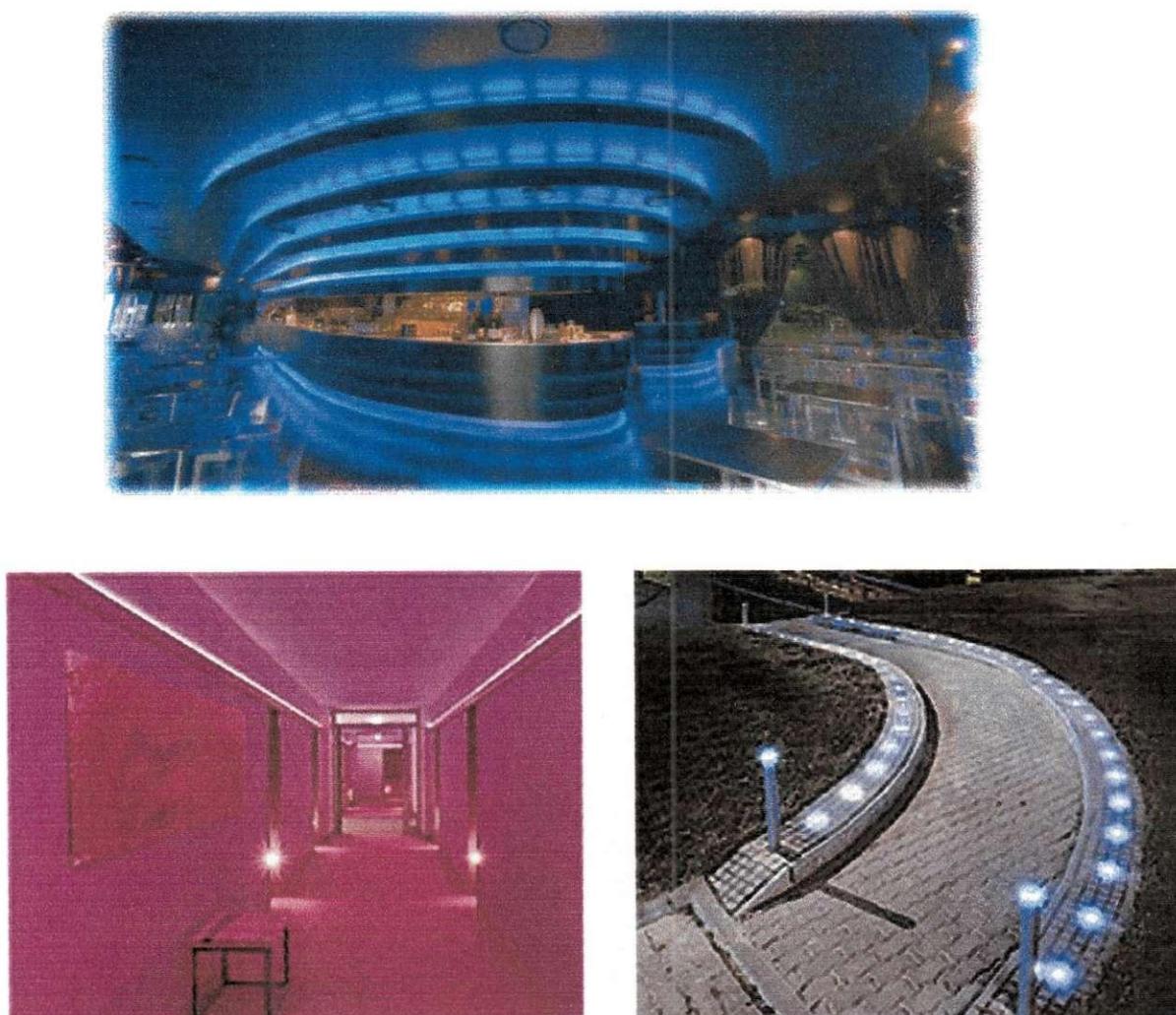


Figura – 2 – Utilização dos LED's na arquitetura

## 4- Evolução dos LEDs

O primeiro LED prático foi desenvolvido em 1962 e foi feito com componentes semicondutores puros, fosfeto de arsenieto de gálio (GaAsP), que emite luz vermelha. De 1962, componentes semicondutores proveram a expansão da fundação comercial dos LEDs. Análogos à famosa Lei de Moore, que profetizava a multiplicação do número de transistores em um chip a cada 18-24 meses, a iluminação do LED tinha seguido essa lei, dobrando a cada 18-24 meses por 34 anos.

De 1968, quando os primeiros LEDs comerciais foram introduzidos com 0.001 lm/LED usando GaAsP, até meados de 1990, os LEDs foram usados exclusivamente como indicadores.

O desenvolvimento do AlGaAs LEDs cresceu em substratos GaAs e permitiu que os LEDs vermelhos excedessem a eficiência da luminosidade da lâmpada incandescente com filtro vermelho. Eficiência era mais que dobrada com o uso de dispositivos com substratos transparentes.

O desenvolvimento do cristal OMVPE, (organo-metallic vapor phase epitaxy), permitiu o aparecimento de um novo sistema de materiais, AlGaInP em GaAs. O AlInGaP AlInGaP (Alumínio, Índio, Gálio e fósforo) resulta da fabricação de materiais de alto brilho do amarelo ao vermelho. O sistema de materiais AlInGaP permite a criação de luz vermelha e regiões âmbar (cor marrom-amarelada) do espectro e eficiência de aproximadamente 100%; O primeiro obstáculo foi evitar a absorção da luz em uma estreita lacuna. Através de técnicas de remoção de parte do substrato GaAs e troca por GaP transparentes obtiveram sucesso a Hewlett-Packard in 1994. Com 25 lm/W de eficiência, perto de dez vezes a eficiência da lâmpada incandescente de filtro vermelho, e com muitos lumens por LED, estes hoje existem em lâmpadas de automóveis, sinais de trânsito e outdoors. Mas 3 lm/LED ainda são usados de forma limitada à estas aplicações, sendo mais utilizados em aparelhos eletrônicos.

O sistema de materiais AlInGaN tem uma lacuna mais larga que o AlInGaP e permite acessar energias mais altas do verde, azul e ultravioleta do espectro de cores. Porém, o sistema de materiais AlInGaN não é tão bem entendido como o AlInGaP, e hoje a eficiência interna da densidade de corrente opera tipicamente, para o dispositivo verde do AlInGaN, na faixa de aproximadamente 20-40%, contra a faixa de 40-60% do dispositivo azul. Além do mais, como os olhos humanos são mais sensíveis a luz verde que ao azul e vermelho, Nichia Chemical, Lumileds e outros têm introduzido LED's verdes juntos com o vermelho AlInGaP e ~1 lumen dos LEDs azuis permitiram largo sinais de cores para comporem inteiramente a fonte de luz de estado sólido. Têm surgido, junto com o alto brilho dos LEDs azuis, os LEDs brancos que usam a alta energia dos fótons azuis do LED azul AlInGaN, e incorpora o fósforo para converter alguns dos fótons azuis em amarelo, a cor complementar ao azul. Os olhos humanos percebem a combinação da luz azul e amarela como uma luz branca. Finalmente, 30 anos depois de introduzir o primeiro LED comercial em 1968, este novo pensamento tem sido posto adiante.

A figura a seguir trata da capacidade de armazenar potencia versus iluminações tradicionais. Hoje a Luxeon com pc-LEDs brancos estão na faixa de 20-30

lm/W, mas o fluxo/LED ainda é baixo. Assumindo 50% de fluxo óptico com utilização em CFL e fluorescente, temos 100% para LED.

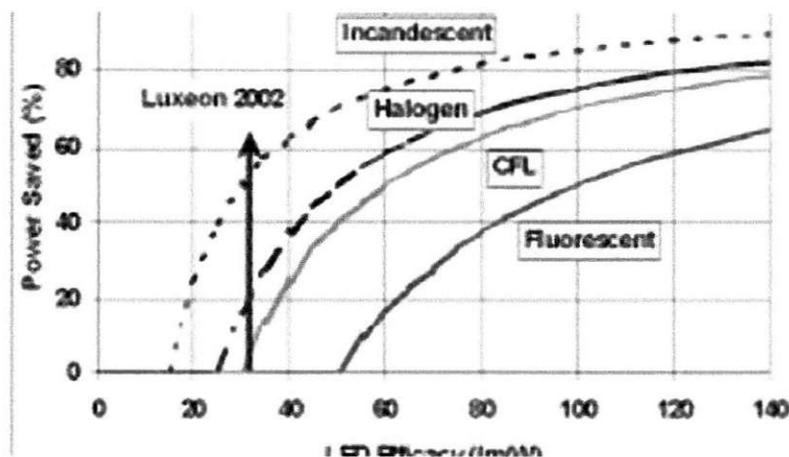


Figura – 3 - Capacidade de armazenar potencia versus iluminações tradicionais .

Com a convergência, em meados de 1990, com as maiores vantagens das tecnologias dos materiais AlInGaN e AlInGaP, os LEDs foram ultrapassando a eficiência das lâmpadas fluorescentes com filtro de cor, as incandescentes brancas e as lâmpadas de halogênio. Fig 3 mostra a porcentagem de potência armazenada por LEDs versus outras fontes de iluminação convencional. LEDs herdaram outras importantes vantagens incluindo tempo de vida em termo de milhares de horas, robustez, ecologicamente correto (não utiliza mercúrio), tamanho compacto, tensões de operação baixas e controle de operação. O pequeno tamanho deles permite flexibilidade no projeto em controlar e dirigir as emissões de luz utilizando sofisticados meios ópticos. De qualquer forma, hoje as aplicações da iluminação que requerem uma fonte de luz para iluminar uma mesa, uma tela ou um quarto, demandam não somente alta eficiência e longa vida, mas também alto fluxo, tudo em baixo custo unitário. Uma simples lâmpada incandescente de 60W emite 1 klm de luz branca com um índice de cor perto de 100. E é 300 vezes a soma da luz emitida por um LED indicador branco dopado de fósforo (pc-LED). O desafio é projetar dispositivos LED e pacotes que sustentam duas a três vezes uma ordem de magnitude maior na potência de entrada, que tradicionalmente ( $\approx 60\text{mW}$ ) para os LEDs indicadores enquanto mantém a mesma alta eficiência e confiabilidade.

O trabalho pioneiro em LEDs de alta potência começou em 1998, quando a empresa americana Lumileds Lighting introduziu o primeiro LED de alta potência comercial. Com 1W de potencia na entrada, os dispositivos Luxeon operam com um nível de potência 20 vezes maior que o tradicional LED indicador 5-mm , e com eficiência até 50% maior. O tempo de vida extrapola as dezenas de milhares de horas.

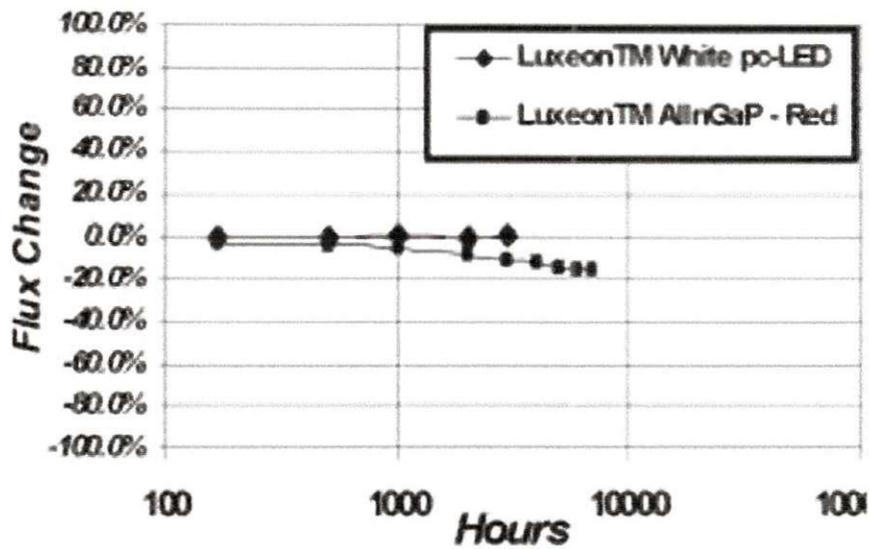


Figura – 4 – Comparação entre o branca pc-LED e o LED vermelho AlInGaP .

A figura acima Confiança das lâmpadas LED Luxeon de alta potência branca pc-LED e o LED vermelho AlInGaP - condição de temperatura de operação

A comercialização dos LEDs de alta potência em 1998 tem provocado um impacto considerável na lei de Haitz, manifestando com um joelho no lm/LED versus o tempo plotado, definindo o ponto de evolução dos LEDs de potência e divergindo os LEDs indicadores. A chave da realização da Lumiled foi à dramática redução da resistência térmica de empacotamento do nível de 3000K/W dos LEDs indicadores para menos de 15K/W para a linha Luxeon de LEDs (figura 5).

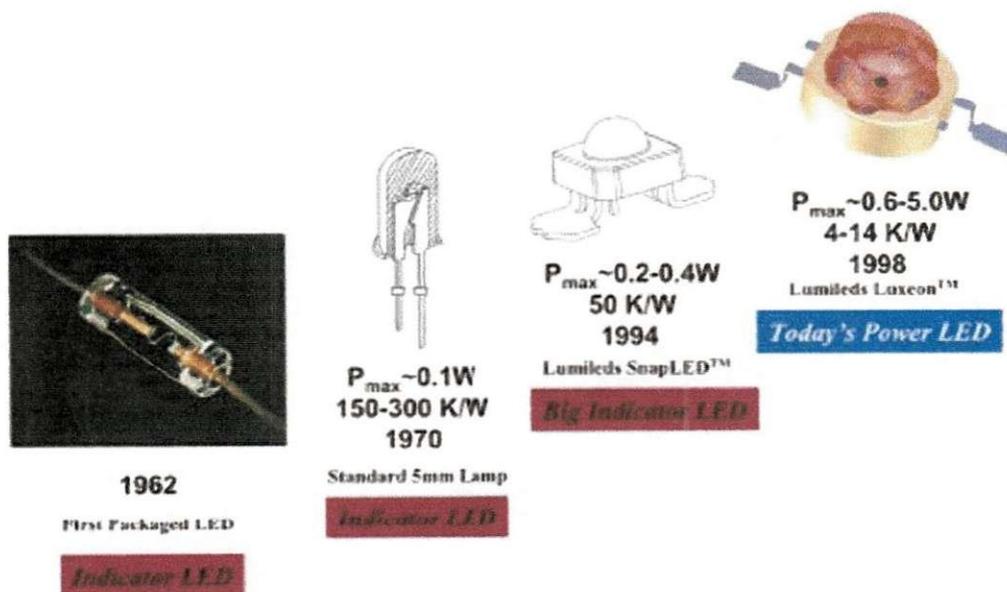


Figura – 5 – Evolução dos LED's

A redução de 20 vezes na resistência térmica permitiu que os dispositivos pulassem para 20 vezes a potência de entrada enquanto a emissão de luz é de 55-lm vermelho, 30-lm verde, 10-lm azul, 25-lm (pc-LEDs) branco para ~1 W de potência de entrada. Com 0.025 klm, o dispositivo com luz branca está ainda 40 vezes abaixo do 1klm por unidade de fluxo das fontes simples de iluminação geral. De qualquer forma, mostrou-se um elevado desenvolvimento e com isso, na figura 6 podemos ver um projeto de iluminação da Philips utilizando um grupo de 12 fontes brancas Luxeon gerando ~0.3 klm por lâmpada branca. A figura 6 mostra o Anel da Lumileds Luxeon: Projeto efetuado pela Iluminação da Philips e Lumileds, possui 12 fontes Luxeon, com aproximadamente 0.24-klm de total de luz emitida.

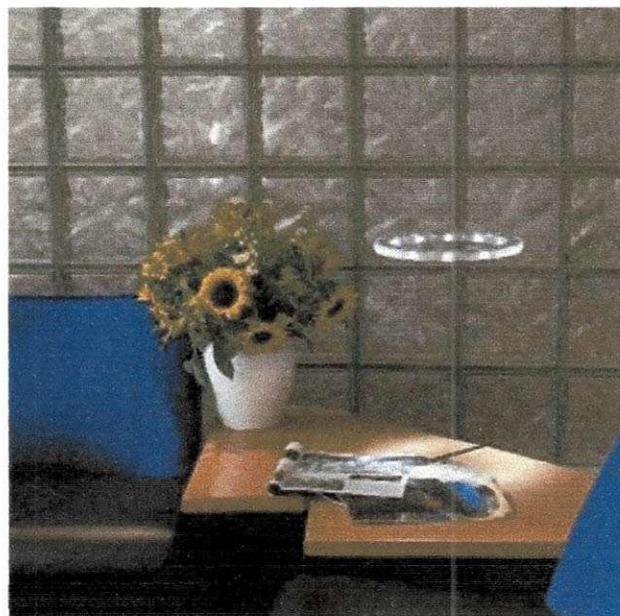


Figura – 6 - Anel da Lumileds Luxeon.

A figura 7 mostra a próxima geração de LED Luxeon, que possui o maior brilho do mundo em LED branco com 0.15 klm a 5-W de potência, próximo da lâmpada incandescente de 15 W. Este LED gera aproximadamente 40% mais luz, ocupando, <1% do volume, e requerendo somente 33% da potência da lâmpada incandescente.

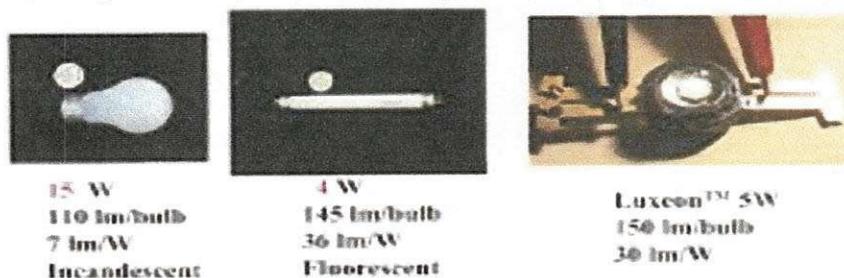


Figura – 7 – Futura Geração dos LED's.

Doze destes dispositivos de alta potência, 0.15 klm, são suficientes para gerar uma intensidade luminosa de 1.8 klm em lâmpada frontal de veículos. A simples versão de cor verde de 5W da Luxeon oferece fluxo luminoso em excesso de 0.13 klm por pacote. Duas destas fontes Luxeon podem substituir as lâmpadas típicas de 150 W de 8'' ou 12'', resultando em uma diminuição de 90% de energia nos tráficos americanos. A combinação de fontes Luxeon são mais eficientes que seu então rival, as lâmpadas fluorescentes de catodo frio. Por exemplo, aplicações tal como iluminação traseira de televisores LCD e monitores têm vantagens de fontes mais compactas, extensa faixa de cor, robustez e baixa tensão.

## 5 - LEDs Brancos Fósforo conversores

Devido a peculiaridades da recombinação radiativa nos semicondutores e por causa da baixa temperatura dos elétrons e lacunas nas camadas ativas da estrutura do semicondutor, a luz do LED é emitida com uma faixa espectral curta. Entretanto, os LEDs são inerentemente fontes de luz coloridas, em contrapartida a mais promissora aplicação da iluminação de estado sólido requer luz branca com uma banda espectral larga. A conversão de luz branca se dá por que parte da luz azul emitida pelo InGaN é convertida em luz amarela nas partículas do fósforo dispersadas numa resina transparente, a mistura destas duas cores é percebida como luz branca aos nossos olhos.

Os LEDs de luz branca fósforo conversores comerciais, já possuem atualmente pelo menos duas vezes a eficiência das lâmpadas incandescentes. Ao mesmo tempo, o preço da luz a base de LEDs já está se aproximando do preço das lâmpadas convencionais. Um constante incremento da eficiência e decremento do preço torna a tecnologia de estado sólido atrativo para aplicações em massa, tais como em iluminação em geral. Um dos entraves que ainda permanecem e evitam a penetração mais acirrada da tecnologia da luz de estado sólido é a qualidade da luz branca fornecida pelos LEDs. A qualidade da luz branca utilizada para a iluminação de vários objetos implica na habilidade de a luz reproduzir apropriadamente a cor dos objetos. O padrão industrial atual para as propriedades de reprodução de cor de reprodução de cor das luzes, recaem nos índices de reprodução das cores, o qual relaciona a diferença de cores de uma amostra testada sobre a ação de uma fonte luminosa em comparação com as cores devido a uma fonte luminosa de referência. Esta medida de reprodução de cores se baseia numa fórmula de 40 anos de idade a qual pode ser expressa conforme a equação 1:

$$R_i = 100 - 4,6 * [(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

$\Delta U^*$ ,  $\Delta V^*$  e  $\Delta W^*$  são, U e V diferenças nos índices cromaticidade e o índice de iluminação W com uma adaptação de cromaticidade do sistema visual levado em consideração. O índice de iluminação mede a habilidade da amostra refletir o fluxo luminoso, enquanto que os índices de cromaticidade são derivados das coordenadas da curva de distribuição luminosa.

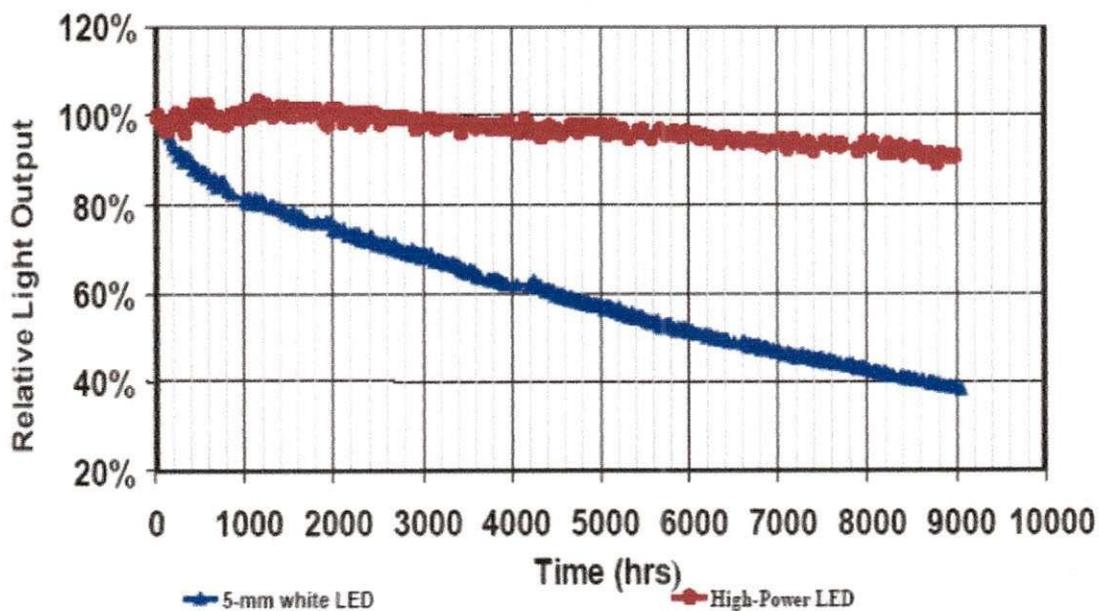
## 6 - HB-LEDs

O interesse na utilização de LEDs para fins de iluminação surgiu na década de 90 quando um grupo de pesquisadores da Hewlett Packard, USA, desenvolveu o primeiro LED de alto brilho com uma nova estrutura. Logo em seguida um novo grupo de pesquisadores da empresa japonesa Nichia chegou ao primeiro LED azul de alto brilho, facilitando a chegada dos LEDs brancos de alto brilho.

Atualmente os melhores LEDs de alto brilho (HB-LED) atingem grandes eficiências luminosas superiores a 80 lm/W em 8 mm de diâmetro.

Os contínuos anúncios feitos por várias empresas fabricantes de diodos emissores de luz exibem uma crescente evolução tecnológica dos HB-LEDs na melhoria de todos os parâmetros de interesse para fins de iluminação, que representa um aumento na confiança para as empresas integradoras de solução.

Dentre os vários parâmetros de interesse em evolução e desempenho temos a manutenção do lúmem cujos resultados de testes são apresentados na figura 8.



*Lighting Research Center Data - April 2002*

Figura - 8

Em 6.000 horas de potência relativa de luz degrada em 50% para o LED 5mm e 5% para o de alto brilho. É esperado que o tempo de vida útil para os HB-LEDs seja de 50.000 horas considerando uma redução de 30% na intensidade luminosa.

Atualmente existem grandes empresas fabricantes de HB-LEDs tanto para luz branca quanto para luz violeta, azul, âmbar, laranja, amarelo, verde e vermelho. Entre elas podemos citar: Lumiels, Nichia, Osram, Edison, Cree, etc.

## 7 - Análise qualitativa da iluminação de estado sólido a base de LEDs brancos

Iluminação significa luz branca, e um tipo particular e muito importante de fonte de luz branca será apresentado agora. Um emissor, estando envolvido por um corpo negro, o sol, com uma combinação de cor e temperatura (CCT) em uma faixa 3000 K – 6000 K dependendo da hora do dia, tempo e estação, os olhos humanos são bastante sensíveis às pequenas mudanças no espectro contido nas fontes de iluminação. Perto de 3000K – 4000K onde lâmpadas incandescentes e lâmpadas de halogênio operam normalmente, humanos detectam mudanças CCT na ordem de ~50K-100K. De qualquer forma a fonte de luz branca poderia ter coordenadas próximo da curva do corpo preto, a fonte poderia não render cores verdadeiras quando iluminamos um objeto. Se o comprimento de onda refletido de uma superfície estiver ausente na fonte, então na superfície aparecerá preto ou cinza, não colorido. Em transmissão e reflexão, fontes de espectro incompleto produzem menos qualidade de cor que aqueles com mais espectro de frequência. A habilidade de uma fonte de iluminação render cores verdadeiras é determinada a partir das medidas do índice de reprodução de cor, Ra, da escala de 0 a 100. Lâmpadas fluorescentes com espectro de emissão cortado tal como o que é mostrado na Fig. 13(a) tem menor Ras, na faixa entre 75-90, isso explica o porque da maioria das pessoas preferirem mais ver seus próprios reflexos iluminados por lâmpadas incandescentes que as lâmpadas fluorescentes. Antes que os LEDs possam ser seriamente considerados fontes de iluminação, a variação da CCT dentro de uma lâmpada e à outra deveria ser homogêneas dentro da faixa de 50k – 100K, e  $Ra > 75$ .

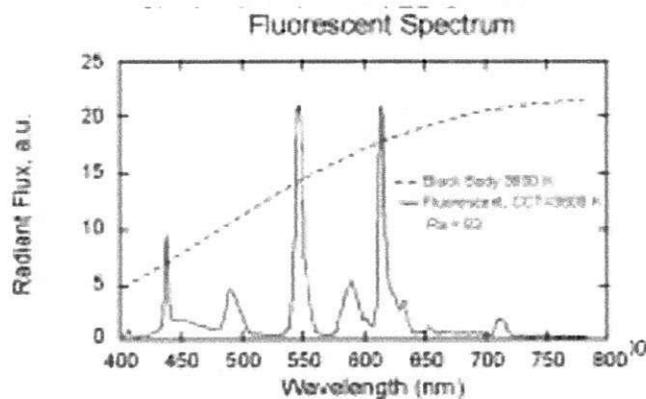


Figura - 9.

A figura 9 mostra a comparação da emissão de luz para diferentes espectros de uma lâmpada fluorescente e de um corpo negro com o mesmo CCT. As lâmpadas fluorescentes têm um índice de tradução de cor de 83.

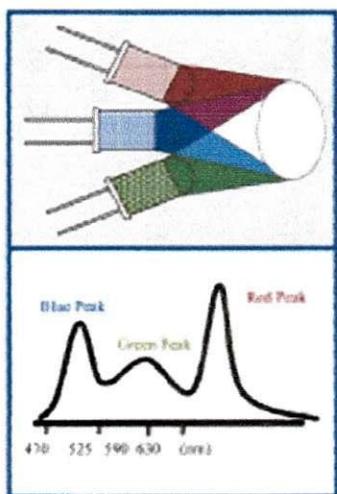
Há três tentativas gerais para a geração de luz branca em LEDs, como ilustrado na Fig. 10. O primeiro método de forma direta mistura luz de três (ou mais) fontes monocromáticas, vermelho, verde e azul (RGB), para produzir uma fonte branca compatibilizando com os sensores RGB dos olhos humanos. A segunda técnica usa um

LED azul para absorver um ou mais luz visível - pc-LED. O pc-LED é projetado para gotejar algumas luzes azuis além do fósforo, para gerar uma porção azul do espectro, enquanto o fósforo converte o resto da luz azul em porções vermelho e verde do espectro.

A terceira técnica usa um LED ultravioleta para bombear uma combinação de vermelho, verde e azul fósforo, de tal maneira que de forma alguma a luz LED é permitida escapar. Cada uma destas tentativas tem vantagens em potencial e claro, desafio tecnológico.

Na figura 10 encontram-se os três métodos de geração de luz branca em LEDs – (a) vermelho + verde + azul LEDs. (b) UV LED + RGB fosforo (c) Pc-LED = azul LED + amarelo fósforo.

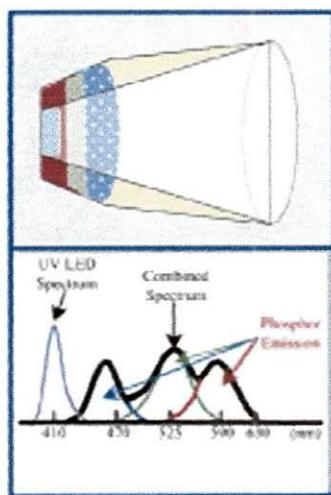
**Red + Green + Blue LEDs**



**RGB LEDs**

**A)**

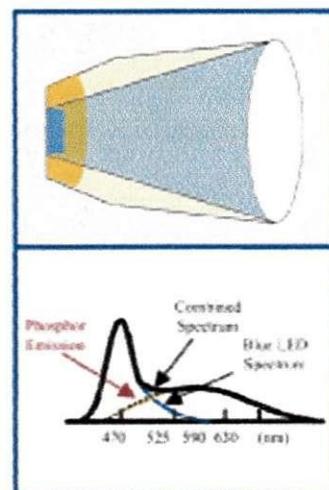
**UV LED + RGB Phosphor**



**UV LED + RGB phosphor**

**B)**

**Binary Complimentary**



**Blue LED + Yellow phosphor**

**C)**

Figura - 10

## 8 - Vantagens do LED

Os focos de interesse para o desenvolvimento de LEDs são causados pela economia de energia, redução na produção de calor da luz emitida, longa vida útil e durabilidade, não precisam ser pontos de luz fixos como as lâmpadas incandescentes, redução do tamanho dos equipamentos (praticidade), fatores ecológicos, controle de contraste das cores e qualidade da luz emitida, eficácia energética, etc.

Com a substituição dos sistemas de iluminação atual pela tecnologia LEDs teremos grandes reduções no consumo energético global, redução nos custos em manutenção, como manutenção em iluminação pública.

Analisando o contínuo desenvolvimento e produção dos HB-LEDs a iluminação e sinalização irão incrementar a qualidade graças às seguintes vantagens: alta eficiência, longa durabilidade, impacto ambiental praticamente nulo, baixo custo, flexibilidade de cores e iluminação, retorno de cores do ambiente com variadas combinações, redução de consumo de potência elétrica, circuitos eletrônicos mais simples e mais confiáveis, geração de luz branca, não geração de calor, dimensões reduzidas. Tais soluções tornam os diodos emissores de luz a solução ideal para estas aplicações.

A questão ambiental é uma das principais causas que motivam o uso de LEDs na iluminação. No mundo todo, cerca de 20% da energia gerada é usada na iluminação. Estudos afirmam que o consumo poderia ser cortado pela metade com o uso dos diodos emissores de luz. Segundo cálculos do Departamento de Energia dos Estados Unidos, se todas as lâmpadas do país fossem trocadas por LEDs, cerca de US\$ 100 bilhões poderiam deixar de serem gastos em recursos energéticos. Isso significaria deixar de construir mais de 130 usinas termelétricas.

Podemos sintetizar as principais vantagens no uso dos diodos emissores de luz da seguinte forma:

- **Desperdiçam pouca energia elétrica:** Utilizam em média cerca de 80% da energia que consomem na produção de luz. As lâmpadas incandescentes desperdiçam em média 95% da energia que consomem porque geram calor;
- **Esquentam pouco:** Por isso podem ser embutido em estruturas plásticas;
- **Não emitem raios ultravioletas e infravermelhos em geral;**
- **São resistentes a impactos;**
- **São pequenos:** Uma lâmpada incandescente tem entre 5,5 e 6,4 centímetros, já um LED tem entre 2 e 10 milímetros;
- **São considerados lixos em comum:** Por isso não precisam de tratamento especial;
- **Sua luz não desbota roupas ou obras de arte;**
- **São econômicos:** Em 2009, estarão no mercado LEDs mais econômicos que a lâmpada fluorescente compacta, a mais econômica hoje no mercado;
- **Não possuem partes móveis como filamentos ou gases.**

Na tabela é realizada uma comparação entre uma lâmpada incandescente comum e um LED. Ambos produzem a mesma quantidade de luz.

Característica	Lâmpada	LED
Consumo	1W	0,04W
Durabilidade	1-2 anos máximo	5 anos mínimo
Relação de emissão luz x calor	90% calor 10% luz	1% calor 99% luz
Custo por unidade (simbólico)	R\$ 1,00	R\$ 0,40

Tabela – 1 Fonte: Celltecnologia.com

## 9 – Utilização dos LED's na iluminação pública

Em algumas cidades da China, Holanda e Estados Unidos, já utilizam LED's de alta potência para a iluminação de ruas, devido a significativa poupança de energia em grande escala.

O inteligente sistema de alimentação solar, desenvolvido para áreas onde há sol para aproveitar e armazenar ativa-se automaticamente a troca da energia solar armazenada em energia elétrica, dependendo do nível da bateria. O sistema já prevê falhas, ou seja, quando a energia da bateria não for suficiente, devido ao mau tempo, a iluminação passará ser alimentada com a energia elétrica da rua.

Na figura 11 mostra a utilização de LED's em vias públicas.

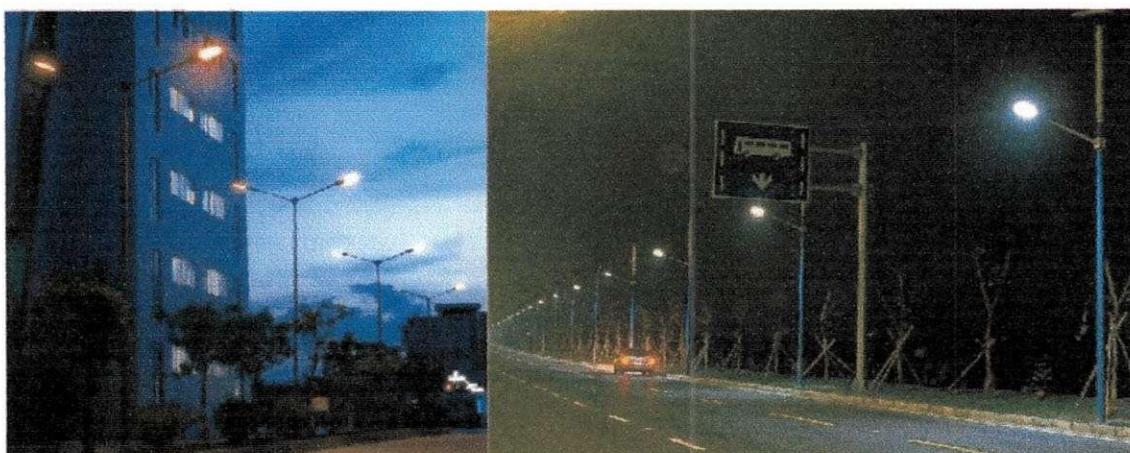


Figura-11

As vantagens deste sistema de iluminação com LED's são inúmeras:

- Os LED's são feitos de material sólido, são menores, mais versáteis e menos vulneráveis do que as atuais lâmpadas de vidro que contêm gases
- Economia de energia - maior rendimento em Lúmen por Watt consumido.

- Alta durabilidade - a vida útil estimado do LED's é de 50.000 ou mais horas.
- Alta eficiência - o sistema cumpre com sua função de iluminação, reduzindo o consumo, com o máximo de racionalização.
- Ecologicamente correta - não contém substâncias nocivas à saúde humana e à natureza (tais como mercúrio ou ácido fluorídrico).
- Sem calor e sem UV (Ultra Violeta) no raio luminoso, não atraindo insetos e não atacando os objetos iluminados por sua irradiação, evitando o envelhecimento precoce, como o que resulta de lâmpadas convencionais;
- Baixa taxa de manutenção.

Abaixo segue alguns modelos de postes que utiliza este sistema, bem como sua curva de iluminação, onde é possível verificar a propagação da luz em uma determinada distância e a detalhes dimensionais do poste.

### 1) 90 – LED Poste de uma única cabeça

- **Média de Iluminação: 16 lux/8m**
- **Área de iluminação: Aproximadamente 12m.**

A figura 12 expõe o tipo de poste, como também as características das luminárias.

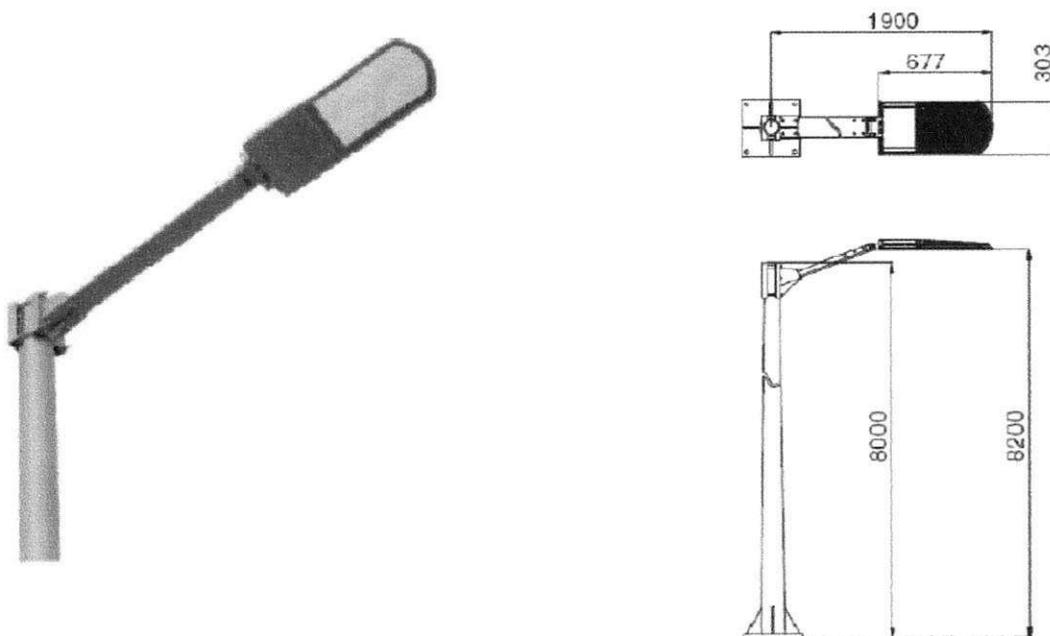


Figura - 12

## ***Eficiência***

É mais eficiente que lâmpadas convencionais, pois praticamente 88% da energia consumida é transformada em luz. Veja a tabela comparativa com outras lâmpadas, em que fornecemos o fluxo luminoso (lumens), a eficiência energética em porcentagem, (quantidade de energia transformada em luz), a durabilidade em horas de uso e necessidade de acessórios para o funcionamento (desconsiderando conexões e fios).

A tabela 2, obtida no site do fabricante, mostra o comparativo da ILC 100 com as demais lâmpadas.

<b>Comparativo de Eficiência</b>						
<b>Descrição</b>	<b>ILC-100 18W</b>	<b>Lâmpada 60W*</b>	<b>Lâmpada *</b>	<b>Lâmpada *</b>	<b>Lâmpada L30*</b>	<b>Lâmpada HQI 70W*</b>
	<b>127/220</b>	<b>Incandescente</b>	<b>Mixta 160W</b>	<b>Halógena 60W</b>	<b>Fluorescente</b>	<b>Vapor Metálico</b>
<b>Lúmen</b>	<b>1600</b>	<b>800</b>	<b>3100</b>	<b>790</b>	<b>2000</b>	<b>5000</b>
<b>Lúmen/Watt consumido</b>	<b>88,8%</b>	<b>13,3%</b>	<b>19,3%</b>	<b>13,1%</b>	<b>66,6%</b>	<b>71,4%</b>
<b>Durabilidade (h)</b>	<b>50.000</b>	<b>750-1.000</b>	<b>10.000</b>	<b>2.000</b>	<b>7.500</b>	<b>9.000 - 12.000</b>
<b>Necessita reator/ignitor</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>sim</b>	<b>sim</b>

Tabela – 2

## **2) Lâmpada de Bulbo Sunlux**



As "lâmpadas de bulbo" Sunlux® da linha SB são montadas com potentes emissores de luz de alto brilho sobre uma base de rosca E27. Projetadas para superar a lâmpadas incandescentes convencionais, através de suas características de baixo consumo e alta durabilidade.

Permitem o aumento da autonomia, menor trocas e elevada redução no consumo. Utilize em sistemas alternativos de energia solar ou eólico; Em iluminação a bateria tais como luzes de emergência e de segurança.

Escolha a utilização em redes de energia convencional 110 ou 220VAC ou alimentadas por baterias (alternativas e embarcadas) em 12VDC.

Obtem cores variadas da luz sem precisar usar filtros. Aplicam-se em iluminação para decoração, de efeitos e na sinalização.

O estado da arte em luz, através de emissores em estado sólido, revoluciona e passa a viabilizar novos conceitos, projetos e reformas em instalações já existentes.

### ***Durabilidade***

Em condições normais de uso e fonte de energia estabilizada, a vida útil ultrapassa a 50.000 h. (11 anos se ligada à noite, todos os dias).

### ***Robustez***

Como é um circuito em estado sólido, não contém partes móveis, não se rompendo, quebrando ou trincando. Isto permite que seja colocado em quase todos os locais mesmo sujeitos a vibrações.

### ***Cores vivas sem filtros***

Para iluminação colorida, não há necessidade de filtros ou lentes. As cores são geradas pelos componentes do emissor em matizes que podem ser misturadas, gerando uma grande amplitude de cores.

### ***Ecológico***

Não possui mercúrio ou substâncias agressivas. Mais de 98% de seu volume é reciclável e por sua durabilidade é um produto ecologicamente correto.

A tabela 3 mostra um comparativo de eficiência entre a luminária descrita e as demais lâmpadas.

<b>Comparativo de Eficiência</b>				
<b>Descrição</b>	<b>SB-351</b>	<b>Lâmpada 25W*</b>	<b>Lâmpada 40W*</b>	<b>Lâmpada 40W*</b>
	<b>127V</b>	<b>incandescente -clara</b>	<b>incandescente -clara</b>	<b>incandescente -leitosa</b>
Lúmen	350	200	500	480
Consumo máx. (Watts)	3,0	25	40	40
Lm / Watt consumido	113,4	8,0	12,5	12,0
Durabilidade (h)	50.000	<750	<750	<1000
Necessita reator/ignitor	não	não	não	não

Tabela – 3

## **11 – Conclusão**

Sob o aspecto tecnológico, a iluminação já experimentou importantes avanços tecnológicos, resumidos na transição da iluminação a combustível para a iluminação elétrica e posteriormente da lâmpada incandescente para as lâmpadas de descarga. O advento de novas tecnologias, tal como os LED's, com princípio de funcionamento bastante distintos, sugere que esta evolução será contínua e com evolução nos parâmetros básicos: eficiência, vida útil, qualidade da luz e facilidade de direcionamento do foco luminoso, para uma melhor distribuição da luz no plano de trabalho.

As normas para iluminação deverão acompanhar a inovação tecnológica de forma a restringir o uso às tecnologias de mais alto nível e com o compromisso com a qualidade.

## **12 – Bibliografia**

[1] ANEEL - *Manual para Elaboração do Programa Anual de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica da ANEEL – Ciclo 1999/2000*, disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

[2] [www.sunlub.com.br](http://www.sunlub.com.br), site oficial da empresa SUNLUB

[3] *Iluminação Pública no Brasil – Tese de mestrado do Mestre em engenharia elétrica Lourenço Iustosa Fróes da Silva*

[4] "Diodos Emissores de Luz" – Artigo da empresa DIRECTLIGHT – Ano:2007