



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARÁUBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

HERBERT HERAKLES GOMES PINTO

**ANÁLISE GERAL, DO CUSTO-BENEFÍCIO E COMO UTILIZAR DE
MANEIRA EFICIENTE AS LÂMPADAS – INCANDESCENTES,
FLUORESCENTES E LEDS**

Caraúbas/RN
(2015)

HERBERT HERAKLES GOMES PINTO

**ANÁLISE GERAL, DO CUSTO-BENEFÍCIO E COMO UTILIZAR DE
MANEIRA EFICIENTE AS LÂMPADAS – INCANDESCENTES,
FLUORESCENTES E LEDS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),
como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador Hudson Pacheco Pinheiro -
UFERSA

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCA)
Setor de Informação e Referência

P659aPinto, Herbert Herakles Gomes.

Análise geral, do custo-benefício e como utilizar de maneira eficiente as lâmpadas – incandescentes, fluorescentes e leds / Herbert Herakles Gomes Pinto -- Caraúbas, 2015.

51f.: il.

Orientador: Prof. Hudson Pacheco Pinheiro.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Energia elétrica. 2. Conservação. 3. Consumo. I.
Título.

RN/UFERSA/BSCACDD: 621.3

Bibliotecário: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

HERBERT HERAKLES GOMES PINTO

**ANÁLISE GERAL, DO CUSTO-BENEFÍCIO E COMO UTILIZAR DE
MANEIRA EFICIENTE AS LÂMPADAS – INCANDESCENTES,
FLUORESCENTES E LEDS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),
como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador Hudson Pacheco Pinheiro -
UFERSA

APROVADO EM 02/12/2015

BANCA EXAMINADORA



Dr. Hudson Pacheco Pinheiro



Dr. Zenner Silva Pereira



Dr. José Junior Alves da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Hudson Pacheco, por me guiar em toda essa jornada e realizar um ótimo trabalho como orientador. Obrigado por toda a sua ajuda.

Aos meus amigos Pedrinho e CleysinhoJhones por sempre me animarem e ao mesmo tempo tirarem minha paciência. Grandes amigos!

A meu amor Natália Gurgel por sempre dar o incentivo que precisei e confiar na minha capacidade.

A minha família que acreditou nos meus estudos.

A todos meus amigos, por me ouvirem e serem minha primeira bancada, o que me ajudou muito.

RESUMO

Este trabalho consiste em descrever como ocorre o funcionamento de cada lâmpada, sendo elas: incandescentes, fluorescentes e LED's. Desde como a energia elétrica passa por dentro dela, até a produção de luz observada por nós e processos físicos que ocorrem dentro das mesmas. Outros pontos analisados serão a taxa de consumo elétrico, seu custo no mercado, a escolha de qual lâmpada utilizar em uma residência ou em um ambiente no qual se deseja trabalhar e seu tempo de vida em relação ao fornecido pelo fabricante.

Palavras-Chaves: Lâmpadas. Consumo. Vida útil. LED.

ABSTACT

This work describes how each of the lamps operates, which are: incandescent, fluorescent and LED's. Since how the electricity runs through it, to the production of light observed by us and physical processes that take place with in them. Other points discussed will be the power consumption rate, it's cost in the market, choosing which lamp to use in a home or in an environment that it's wanted to work, and their life time compared to that provided by the manufacturer.

Key Words: Lamps. Consumption. Lifespan. LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lampião.....	10
Figura 2 - Homem ascendendo lanterna.....	11
Figura 3 - Iluminância	13
Figura 4 - Luminância Direta	14
Figura 5 - Luminância Indireta	14
Figura 6 - Níveis de IRC.....	15
Figura 7 - Escala de Temperatura de Cor	16
Figura 8 - Eletrodos de carvão com diâmetros diferentes	19
Figura 9 - Arco voltaico entre dois bastões de carvão	20
Figura 10 - Lâmpada de Edison	21
Figura 11 - Lâmpada incandescente atual.....	23
Figura 12 - Lâmpada de Peter Cooper	24
Figura 13 - Starter convencional	28
Figura 14 - Reator eletromagnético	29
Figura 15 - Reator eletrônico	30
Figura 16 - Espectro de Luz	32
Figura 17 - Entrada E-27.....	34
Figura 18 - Dopagem Eletrônica	35
Figura 19 - Zona de Depleção ou Zona Vazia.....	36
Figura 20 - Concentração de luz em uma direção específica em um LED	38
Figura 21 - Lâmpada incandescente do tipo F.....	39
Figura 22 - Selo PROCEL.....	40
Figura 23 - Lâmpada incandescente do tipo E	41
Figura 24 - Lâmpada fluorescente do tipo A.....	42
Figura 25 - Lâmpada de LED	43
Figura 26 - Gráfico: Comparação do ConsumoxDias das lâmpadas Fluorescente e LED	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo Mensal das lâmpadas utilizando recomendações do fabricante	45
Tabela 2 - Despesa por mês das lâmpadas utilizando recomendações do fabricante	46
Tabela 3 - Consumo e despesa das lâmpadas após o término do experimento	48
Tabela 4 - Preços das Lâmpadas.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3. LÂMPADAS	18
3.1 TIPOS DE LÂMPADAS	20
3.1.1 Lâmpadas Incandescentes	20
3.1.2 Lâmpada Fluorescente	23
3.1.2.1 Funcionamento.....	26
3.1.2.1.1 Lâmpada com starter	26
3.1.2.1.2 Lâmpadas sem starter	30
3.1.3 LED – Light Eemitting Diode.....	31
3.1.3.1 Funcionamento.....	34
4. METODOLOGIA CIENTÍFICA	38
5. CONSUMO	44
6. CONCLUSÃO E ANÁLISE GERAL.....	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

O homem sempre procurou, em toda a sua evolução, algo para “iluminar” sua vida, que orientasse o seu caminho e mostrar se ele é seguro ou não. O fogo foi o começo, pois não servia apenas para aquecê-lo, mas também revelar lugares onde antes ele não podia enxergar durante a noite, por exemplo, cavernas as quais entraria se visse que eram seguras.

Quando começou a construir suas próprias moradas ele percebeu que tochas não iluminavam de forma “eficiente” pontos que achava necessário uma iluminação mais direcionada, como sua mesa de trabalho. Então, novas tecnologias foram criadas para acabar com esse problema, algumas delas foram as velas, lampiões (identificados na Figura 1), lanternas (caixas de ferro com paredes de vidro com um pavio dentro banhado em óleo, parecidas com os lampiões, mas sendo quadradas), lamparinas, etc.

Figura 1 - Lampião



Fonte: <http://jornalggn.com.br>

Esses instrumentos resolveram esse problema do homem e alguns outros, um deles era o fato da tocha liberar bastante fumaça enquanto estava acesa. As lanternas eram utilizadas para a iluminação pública durante a noite, como os sistemas não

eram automáticos um homem era necessário para acender todas as lanternas antes do anoitecer. O trabalho de homem é expresso na Figura2.

Figura 2 - Homem ascendendo lanterna



Fonte: <http://www.idadecerta.com.br>

Com o surgimento da energia elétrica e sua disponibilização para a população através de cabos, se viu a necessidade de iluminar melhor o ambiente em que viviam, e porque não utilizar essa nova tecnologia? Foi aí que surgiram as lâmpadas as quais possuem uma capacidade de iluminar de forma superior diversos ambientes que o homem escolha, seja sua casa ou ambientes públicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alguns conceitos e grandezas importantes devem ser explicados antes de se iniciar esta discussão e alguns deles estão listados logo abaixo.

Luz: Um dos pontos mais importantes, pois ela representa a parte do espectro magnético que é visível ao olho humano, de uma forma mais clara ela é a radiação que nos proporciona uma sensação visual.

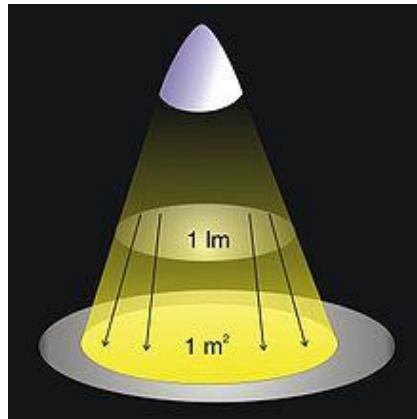
Fluxo Luminoso (Φ): É a quantidade de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa. Segundo a ABNT através da Norma Brasileira (NBR) 5461 a unidade de medida do fluxo luminoso é o Lúmen (lm), que por sua vez é caracterizado por o fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido (um ângulo com vértice no centro de uma esfera) de um esferorradiano (ou esterradiano- sr) por uma fonte luminosa puntiforme com intensidade invariável igual a 1 candela, em todas as direções.

Intensidade Luminosa (I): Irá determinar como ocorre a distribuição de energia irradiada em todas as direções, analisando em cada direção a quantidade de luz concentrada, radiada por segundo. Algo interessante a se ressaltar é que, duas fontes luminosas podem possuir a mesma potência, mas não a mesma intensidade luminosa, pois uma delas pode, em uma dada direção, emitir mais energia do que a outra. Sua unidade de medida é a candela (cd), que é determinada pela potência de irradiada por uma fonte luminosa em uma direção desejada. A intensidade luminosa é obtida através da equação:

$$I = \frac{\Phi (lm)}{\Omega (sr)}$$

Iluminância (E): Também conhecido como Iluminamento, é uma relação entre fluxo luminoso que incide perpendicularmente em uma superfície e sua área, demonstrado pela Figura3.

Figura 3 - Iluminância



Fonte: Wikipédia

Sua unidade de medida é o Lux (lx), o qual é determinado pelo iluminamento, através de uma fonte luminosa puntiforme a uma distância de 1m com fluxo luminoso igual a 1 lúmen distribuído uniformemente, de uma superfície de $1m^2$. A equação utilizada para se obter a iluminância está demonstrada logo abaixo.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Onde S é a área da superfície.

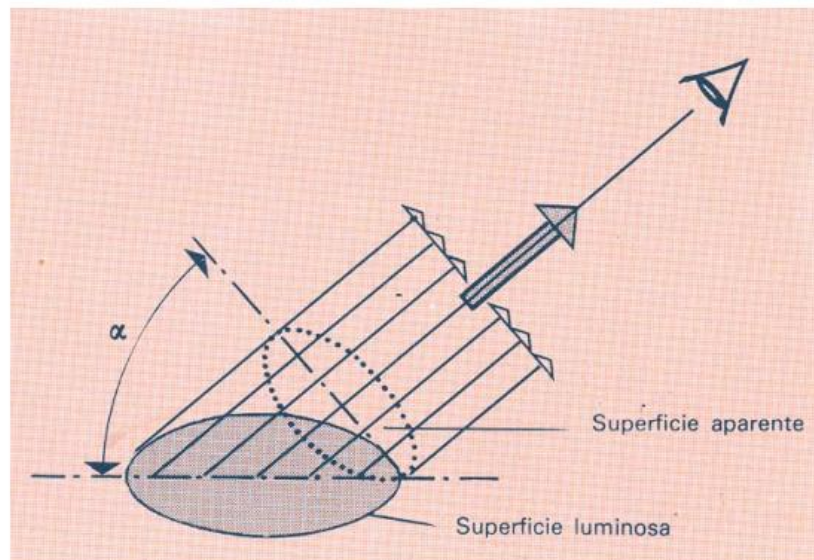
Luminância(L): No passado era chamada de brilho, ela é quem mede a sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou uma superfície iluminada e depois é avaliada pelo cérebro. Sendo também definida utilizando a equação a seguir. Sua unidade é cd/m^2

$$L = \frac{I}{A \times \cos \alpha} \text{ ou } L = \frac{\rho \times E}{\pi}$$

Onde ρ é o coeficiente de reflexão, pois é necessário que a luz seja refletida para que assim o objeto seja percebido por nossos olhos. Existe a Luminância Direta e a Indireta. A Direta será quando for analisar uma superfície iluminante e a Indireta

quando analisar uma superfície iluminada, as Figuras 4 e 5 demonstram esses dois tipos de luminância.

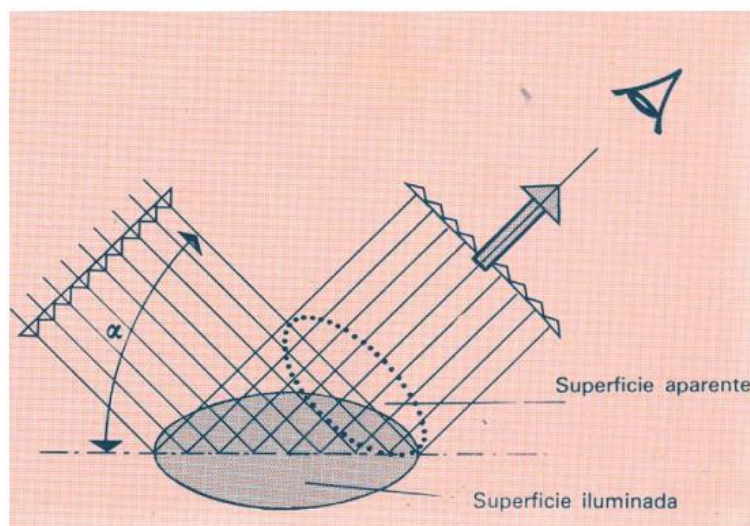
Figura 4 - Luminância Direta



LUMINÂNCIA DIRETA DE UMA SUPERFÍCIE LUMINOSA

Fonte: <http://www.fau.usp.br>

Figura 5 - Luminância Indireta



LUMINÂNCIA INDIRETA DE UMA SUPERFÍCIE ILUMINADA

Fonte: <http://www.fau.usp.br>

Eficiência Luminosa (η): É a relação obtida através da quantidade de lúmens emitidos pela fonte luminosa, para cada *watt* consumido pela mesma. A unidade de medida que a representa é *lm/W* e pode ser obtida com a equação abaixo. Uma maior eficiência luminosa irá significar mais luz com um consumo energético reduzido.

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

Onde P é a potência consumida pela fonte.

Uma característica muito importante em uma fonte de luz, neste caso de lâmpadas, é o Índice de Reprodução de Cor (IRC) ou *Color Rendering Index (CRI)*. Segundo a *LuxSide* (2013) explica que o IRC indica o grau de fidelidade com que as cores são reproduzidas por uma fonte luminosa.

O IRC de uma lâmpada segue uma escala que vai de 0 a 100, sendo 100 a reprodução de cor perfeita e também o IRC do sol. As lâmpadas que possuem esse índice entre 80 e 100 são as que mais reproduzem fielmente as cores dos objetos visualizados. A Figura 6 mostra como são reproduzidas as cores de acordo com o índice da fonte de luz.

Figura 6 - Níveis de IRC



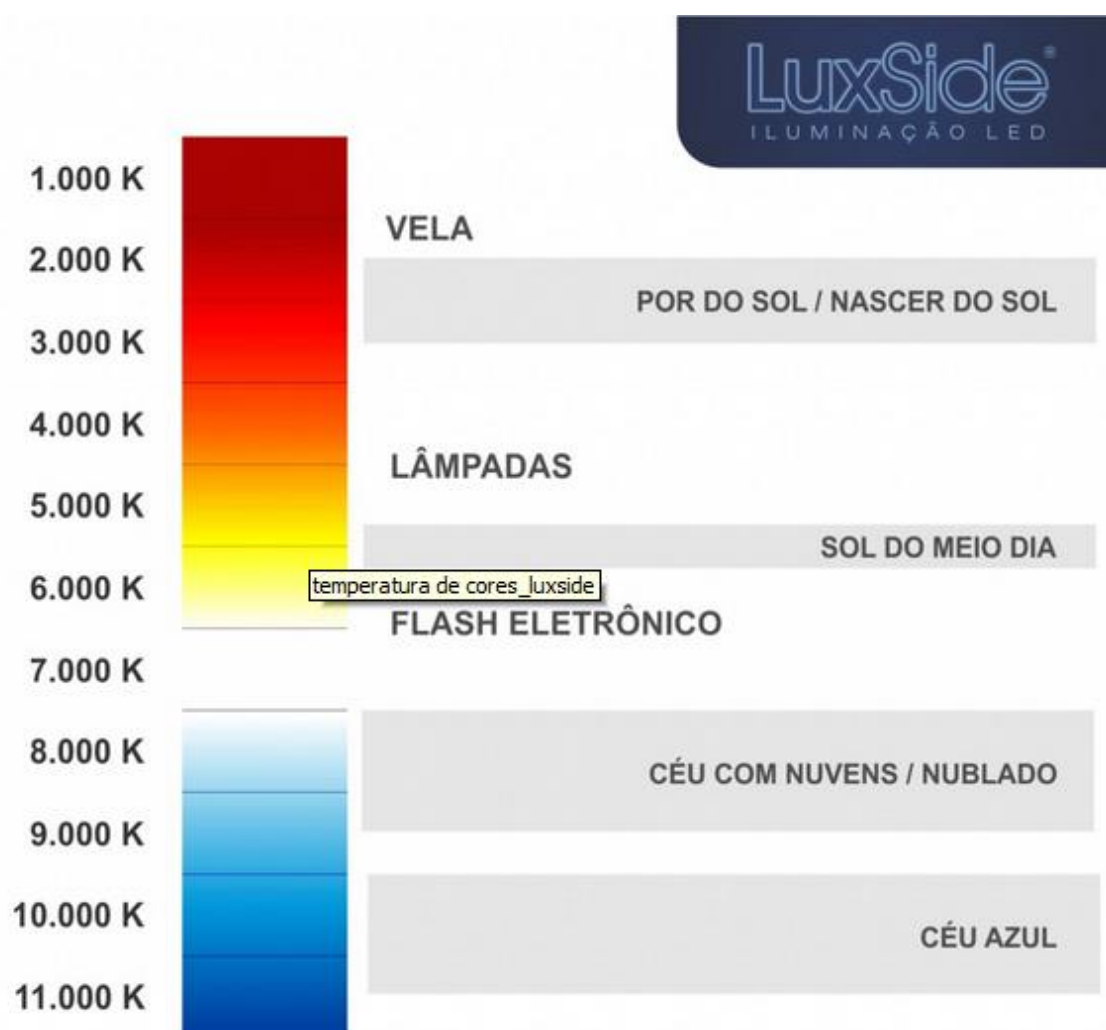
Fonte: <http://www.philips.com.br>

As lâmpadas incandescentes, assim como o sol, possuem o índice de reprodução de cor igual a 100, então quando vão comparar IRC das lâmpadas utiliza-se a incandescente como referência de base.

Outro conceito a ser abordado é Temperatura de Cor das lâmpadas. De acordo com *LuxSide* (2013), “A Temperatura de Cor expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz. Por isso, quando falamos em luz quente e luz fria, estamos nos referindo à tonalidade de cor que ela dá ao ambiente e não ao calor físico.”. Sua unidade de medida é em Kelvin (K).

Como estamos falando em relação à tonalidade e não a temperatura, essa característica das lâmpadas funciona de maneira inversa, ou seja, quanto mais alta a temperatura mais fria será a luz e quanto mais baixa a temperatura mais quente será a luz, chamando-as assim de Luz Fria e Luz Quente respectivamente. Se a luz for fria, mais branca será sua tonalidade, se for quente, mais amarelada será sua tonalidade. A Figura 7 possui uma tabela com as temperaturas e suas respectivas tonalidades.

Figura 7 - Escala de Temperatura de Cor



Fonte: <http://www.luxside.com.br>

As lâmpadas incandescentes seguem duas leis, a Lei de Joule ou Efeito Joule e a Lei de Ohm (a segunda lei), para que funcionem de forma desejada.

De acordo com George Simon Ohm (1827), sua lei possui o seguinte enunciado:

A resistência elétrica de um condutor homogêneo de seção transversal constante é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua área de seção transversal e depende do material do qual ele é feito.

Sendo assim, pode-se concluir que a resistência de um condutor será alta caso ele possua um comprimento bastante longo e que sua área de seção transversal seja reduzida, além do material ao qual ele é constituído. A resistência pode ser calculada utilizando a seguinte equação estabelecida por Ohm.

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

A unidade de medida da resistência (R) é o ohm (Ω), ρ é a resistividade elétrica do material e A é a área de seção transversal do condutor.

O efeito joule está conectado diretamente a resistência do condutor, pois James Prescott Joule (1841), o observador deste fenômeno, diz:

Quando uma corrente de eletricidade voltaica se propaga ao longo de um condutor metálico o calor desenvolvido num dado tempo é proporcional à resistência do condutor multiplicada pelo o quadrado da intensidade elétrica.

Ou seja, quanto maior for a resistência, maior será o calor produzido. Segundo Kleber G. Cavalcante (2015), “Um resistor é um dispositivo que transforma a energia elétrica integralmente em calor”, mas é sabido que isso ocorre apenas na

teoria, pois parte da energia elétrica pode ser perdida no processo, devido a diversos fatores, um deles, pode ser a má instalação da rede elétrica que irá levar a energia até o soquete da lâmpada. A fórmula para determinar a energia térmica produzida pela conversão está descrita abaixo:

$$E = i^2 \times R \times t$$

Sendo E a energia térmica gerada, i a corrente que passa pelo circuito, R a resistência do condutor e t o tempo que o sistema está em funcionamento.

3. LÂMPADAS

A primeira lâmpada desenvolvida pelo homem foi a de arco voltaico, criada por Humphyr Davy em 1801 no laboratório do Instituto Real em Londres, mas utilizada apenas em 1870 devido à falta de disponibilidade de energia elétrica.

Davy utilizou dois bastões de carbono na forma de carvão vegetal ligados por fio a um abateria em suas extremidades opostas, criando assim dois pólos: um positivo e o outro negativo. Os dois bastões agora são eletrodos que estão se tocando (horizontalmente). Devido a este contato uma tensão é gerada entre os dois eletrodos, as pontas de ambos aquecem e eles agora são separados gerando um arco de energia elétrica, mantida pela corrente elétrica, que ilumina o ambiente. Esse arco é formado através tanto da intensa corrente elétrica quanto do vapor de carbono entre os eletrodos, pois devido a esse vapor o fluxo da corrente elétrica continua, formando assim o arco. Esse formato de “arco” é devido à corrente de ar, formada com o aquecimento das extremidades das varetas, que tende a desviá-lo para cima. A iluminação gerada por ela advém mais das extremidades das varetas do que propriamente do arco.

A temperatura nas extremidades dos bastões é muito alta, o pólo positivo chega a 3500°C e o negativo a 2500°C, aos poucos eles vão sendo queimados, ou seja, vão se desgastando, principalmente o pólo positivo devido à temperatura que

ele atinge ser maior, e a eficiência luminosa vai diminuindo até que acabe de uma vez. Uma manutenção constante é obrigatória para manter a lâmpada funcionando de forma regular e o pólo positivo é construído com uma circunferência maior, para que ambos os bastões possuam o mesmo tempo de vida. Um exemplo dessa diferença de diâmetro pode ser visto na Figura 3. Após o funcionamento da lâmpada é notado que no ânodo (pólo negativo) sua extremidade adquire uma forma pontiaguda e no cátodo (pólo positivo) forma-se uma cratera.

Figura 8 - Eletrodos de carvão com diâmetros diferentes



Fonte: <http://www.feiradeciencias.com.br>

Como era necessária uma constante manutenção dessas varetas, algo teria que ser feito para aumentar o tempo de vida dessas lâmpadas. A primeira ideia foi colocar ambas as varetas dentro de um bulbo de vidro fechado a vácuo (o vácuo não era completo, pois não possuía tecnologia suficiente na época) e funcionou, pois o vácuo diminui a combustão das varetas de carvão. O tempo de vida aumentou em 100 horas após a adição do bulbo.

Mesmo com a utilização do bulbo de vidro as varetas de carvão possuíam uma alta taxa de consumo, então um novo material era necessário para substituir o carvão. Diversas experiências foram realizadas e foi descoberto que o tungstênio era o mais indicado, pois possui uma alta temperatura de fusão, cerca de 3.422°C.

A seguir a Figura 4 mostrando um arco voltaico entre dois bastões de carvão.

Figura 9 - Arco voltaico entre dois bastões de carvão



Fonte: <http://www.guiacnc.com.br>

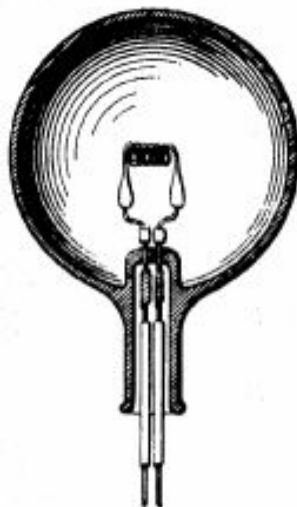
3.1 TIPOS DE LÂMPADAS

3.1.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

Antes de surgir a primeira lâmpada incandescente, vários outros inventores tentaram construir uma que durasse mais tempo, até que em 1879, Thomas Alva Edison construiu a primeira lâmpada comercializável.

Sua lâmpada era constituída de um bulbo de vidro, dois fios de cobre os quais possuíam pingos de solda de prata em uma de suas extremidades e um filamento de carvão saturado de algodão. O bulbo de vidro era fechado a vácuo, justamente para aumentar o tempo de vida da lâmpada, pois assim evitaria do carvão entrar em combustão de forma mais rápida fazendo ele apenas “incandescer”, com parte dos fios e o filamento dentro. O filamento interligava os dois fios de cobre e a base do invento era composta pelo restante dos fios que não ficaram dentro do bulbo, como pode ser visto na Figura 5. As extremidades dos fios que possuem a solda são as que não estão interligadas com o filamento.

Figura 10 - Lâmpada de Edison



Fonte: Wikipédia

Após a construção da lâmpada, ela era ligada a uma corrente elétrica a qual passa pelas soldas de prata e logo em seguida pelos fios de cobre, até atingir o filamento de carvão, o qual com o seu aquecimento devido à corrente elétrica se tornava incandescente gerando assim, luz. Ao contrário das lâmpadas de arco voltaico que geravam luz através do centelhamento de suas varetas.

O filamento de carvão começa a emitir luz quando atinge uma temperatura de 900K, pois é nessa faixa de temperatura que ele começa a incandescer, mas essa luz é bastante fraca e avermelhada. Na medida em que a temperatura vai aumentando sua intensidade luminosa também vai se tornando alaranjado e finalmente alcançando o amarelo, atingindo seu máximo quando a temperatura de fusão está próxima (cerca de 3800K).

Tempo de vida também era um problema para as lâmpadas de Edison e Joseph Swan, pois como os filamentos eram feitos de carvão e possuíam uma vida curta, cerca de 40 horas. Então um novo material deveria ser encontrado para substituir o carvão, mas que devia atender a duas exigências, ter alto ponto de fusão e não queimar de forma rápida.

Através de muitas pesquisas e testes para descobrir uma liga metálica que substituísse o carvão, o metal escolhido foi o tungstênio, devido ao seu alto ponto de fusão e não se desgastar tão rapidamente como o carvão. Apesar de o novo filamento possuir um tempo de vida mais longo ele ainda sofria desgaste e este também era visível. A lâmpada ainda era fechada a vácuo, pois quando o tungstênio é aquecido a elevadas temperaturas ele pode entrar em combustão em contato com o ar.

Os átomos de tungstênio vibram muito rápido devido as altas temperaturas, então acabam se soltando do filamento e são mandados em linha reta para a atmosfera do bulbo chocando-se com as paredes de vidro e lá ficam depositados. É por isso que algumas lâmpadas incandescentes mais antigas possuem uma parte de suas paredes internas mais escuras.

Com o avanço da tecnologia foi notado que apenas fechar a lâmpada a vácuo não era o suficiente para aumentar o tempo de vida da mesma. Depois de muitas pesquisas foi descoberto que a inserção de um gás inerte dentro do bulbo de vidro resolvia esta questão. O gás mais utilizado é o argônio, porém em algumas lâmpadas o criptônio também é empregado, como é um gás inerte ele não interage com outros elementos normalmente. Os átomos de tungstênio ainda vão desprender-se, mas ao serem liberados na atmosfera da lâmpada possuem uma alta probabilidade de colidirem com os átomos de argônio, como uma interação entre eles não é possível, após o choque os átomos de tungstênio voltam para o filamento onde irá se juntar novamente à estrutura sólida.

Nas lâmpadas incandescentes atuais o filamento de tungstênio é bastante longo, em uma lâmpada de 60W ele chega a medir 2 metros de comprimento e um centésimo de polegada de diâmetro. Para que ele caiba dentro do bulbo é necessário transformá-lo em uma bobina dupla, primeiro uma bobina pequena e logo em seguida ela é recoberta por outra bobina maior, chegando a um comprimento menor do que uma polegada. Logo abaixo está uma imagem da lâmpada incandescente fabricada atualmente, Figura 6.

Figura 11 - Lâmpada incandescente atual



Fonte: <http://temposnotempo.blogs.sapo.pt>

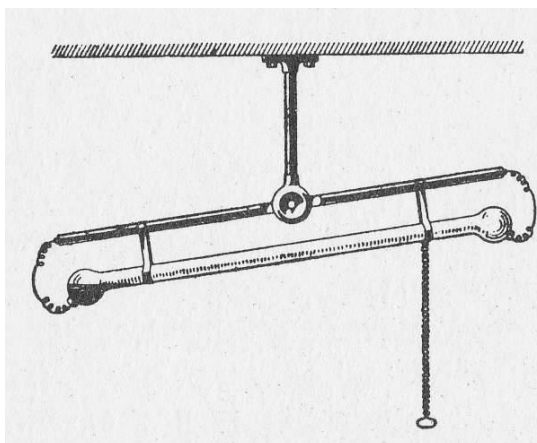
Lâmpadas halógenas, que também são incandescentes, são mais eficientes em termos de luminosidade, ou seja, possuem um brilho mais intenso, mas ainda sofrem com a produção de calor. Sua maior eficiência luminosa se dá pelo gás halogênio presente dentro do tubo

3.1.2 LÂMPADA FLUORESCENTE

Os primeiros trabalhos com fluorescência foram realizados pelo físico Alexandre Becquerel no ano de 1857, mas ele apenas ficou na teoria de que em um futuro haveria a construção de tubos fluorescentes como os que temos hoje em dia.

Em 1901 o americano Peter Cooper Hewitt produziu a primeira lâmpada a vapor de mercúrio. Ela foi construída com mercúrio a baixa pressão e em arco tornando assim o primeiro protótipo de lâmpadas fluorescentes (também conhecidas como lâmpadas de descarga) que temos hoje em dia. Essas lâmpadas não eram ideais para casas, devido ao seu brilho não ser muito agradável, mas para empresas foram muito bem aproveitadas. Abaixo está a Figura 7 mostrando como era o invento de Cooper.

Figura 12 - Lâmpada de Peter Cooper



Fonte: Wikipédia

A lâmpada fluorescente como conhecemos hoje foi posta no mercado em 1938 e seu criador foi Nikola Tesla.

Existem alguns tipos de lâmpadas fluorescentes: as com starter, que já estão em desuso, sem starter (também conhecidas como lâmpadas de partida rápida) e lâmpadas de partida instantânea. Os mesmos materiais são utilizados nas duas, que neste caso são: um tubo de vidro, o qual possui seu interior coberto por uma camada de pó de fósforo, mercúrio em sua forma líquida (ou vapor de mercúrio, nas mais modernas), um gás inerte (geralmente argônio), eletrodos, filamentos e reatores, que podem ser eletromagnéticos ou eletrônicos. Esses são os principais mecanismos desta lâmpada.

No interior do tubo de vidro além de haver a camada de fósforo está também uma pequena quantidade de mercúrio e o gás argônio, mantidos sobre uma pressão muito baixa. Os eletrodos são constituídos de tungstênio que são recobertos por óxidos os quais aumentam seu poder emissivo.

Por que fluorescente e não fosforescente já que a camada interna do bulbo é constituída por fósforo? Devido as duas serem tipos diferentes de luminescência, apesar de possuírem características similares, a forma como elas são originadas as difere uma da outra. Os dois termos são muito bem explicados por Jennifer Fogaça, graduada em Química:

Fluorescente: uma substância assim absorve energia da luz fornecida por determinada fonte e emite radiação visível, porém, quando o fornecimento de energia acaba, a emissão da radiação para imediatamente. O nome desse fenômeno veio do fato de que ele foi observado em um mineral denominado fluorita.

Fosforescente: Da mesma forma que ocorre na fluorescência, na fosforescência, uma substância emite radiação visível porque absorve energia da luz fornecida por determinada fonte. Entretanto, nesse caso, mesmo depois que o fornecimento de energia parou, a substância fosforescente continua por algum tempo emitindo luz visível. Esse tempo pode variar desde frações de segundos até dias.

Atualmente existe no mercado uma grande variedade de tipos de lâmpada fluorescentes, são elas as compactas integradas, compactas não integradas, circulares e as tubulares.

Mesmo sendo chamadas de lâmpadas frias as lâmpadas fluorescentes emitem calor, mas não na mesma quantidade e na mesma temperatura das lâmpadas incandescentes, pois boa parte da energia elétrica fornecida a ela é utilizada no processo de iluminação e uma pequena parte é perdida e transformada em calor.

O tempo de vida delas é superior as incandescentes, a grande maioria possui um tempo de vida superior a 5.000 horas, algumas podendo chegar a 10.000 horas. Mas esse tempo de vida pode ser reduzido caso o número de acendimentos seja muito grande, pois cada vez que se acende uma lâmpada e a apaga, em um período de tempo inferior a 15 minutos, sua vida útil é reduzida.

De acordo com a PHILIPS (2014) a vida útil é:

É definida através do tempo em horas, no qual cerca de 25% do fluxo luminoso das lâmpadas testadas foi depreciado. Portanto a vida útil é o tempo recomendado para o uso de uma lâmpada mantendo sua eficiência luminosa.

Segundo Atitude Editorial (2011) usa-se ciclos determinados pela IEC (InternationalElectrotechnicalCommission):

Geralmente realizam-se ciclos de chaveamentos definidos pela IEC, em que a lâmpada permanece por 165 minutos ligada e 15 minutos desligada, existindo, portanto 8 ciclos de acendimentos ao dia.

Devido essa redução em seu tempo de vida, lâmpadas assim não são recomendadas para ambientes em que seu tempo de permanência acesa seja menor que 15 minutos, por exemplo, banheiros.

3.1.2.1 Funcionamento

Para a lâmpada acender é necessário ionizar todo o gás dentro do tubo e para isso acontecer são necessários alguns processos.

A luz que vimos não é realmente a produzida dentro do tubo, mas sim uma reação que ocorre no interior deste. Quando os elétrons de mercúrio recebem energia (seja por impacto ou outra fonte) passam de sua camada para outra mais externa, mais energética, nada muito relevante acontece, mas quase que instantaneamente esse elétron volta para sua camada de origem e nesta volta ele libera um fóton de luz na faixa de comprimento de onda da ultravioleta. Os olhos humanos não conseguem captar essa luz, então é necessário converte-la para uma luz visível. É para isso que serve o revestimento de pó de fósforo, para transformar os fótons do mercúrio em luz visível e assim fazer a lâmpada fluorescente iluminar.

3.1.2.1.1 Lâmpada com starter

A lâmpada é ligada a um sistema de energia elétrica com corrente alternada (CA), como se sabe a corrente percorre primeiro o caminho com menor resistência, que neste caso será pelos eletrodos (um circuito secundário) e pelo starter.Os

eletrodos irão sofrer um aquecimento e incandescer (mesmo princípio das lâmpadas incandescentes), com isso ocorrerá uma liberação de elétrons para dentro do tubo de vidro que irá dar início a ionização do gás no tubo de vidro.

O starter convencional é uma pequena lâmpada de descarga, geralmente com gás néon, composta por dois eletrodos um ao lado do outro, mostrados na Figura 8. Um dos eletrodos é feito de uma lâmina bimetálica a qual entorta quando aquecida. A corrente passa pelos eletrodos criando um arco de corrente elétrica entre eles ionizando a pequena lâmpada, fazendo com que ela acenda. O calor gerado pelo arco entorta a lâmina bimetálica e assim os eletrodos se tocam, com este toque a corrente não irá precisar mais passar de um eletrodo para outro através de um arco e sim pelo contanto entre eles fazendo com que a pequena lâmpada apague. Com esse contato a corrente irá passar para os filamentos de tungstênio e pelo reator, pois os três (reator, eletrodos do tubo, e starter) estão ligados em série. A corrente que passa pelo circuito em série irá aumentar o calor nos filamentos os fazendo liberar mais elétrons, esse aumento de corrente elétrica é controlado pelo reator devido sua alta reatância indutiva.

Com uma corrente maior passando pelos filamentos de tungstênio estes irão incandescer ainda mais e liberar mais elétrons para dentro do tubo, ionizando o gás mais rapidamente. Ao mesmo tempo a mesma corrente passará pelo reator gerando um campo magnético no mesmo.

Devido ao toque não haverá mais partículas carregadas fluindo pelo gás néon e assim a luz se apaga. Como não há mais calor sendo produzido, a lâmina esfria voltando a sua posição inicial, abrindo o circuito e interrompendo bruscamente a corrente pelo sistema em série. A função do starter é cortar a alimentação de corrente para o reator quando ele é aberto.

Figura 13 - Starter convencional



Fonte: <http://casa.hsw.uol.com.br>

Durante o processo do starter os filamentos de tungstênio já ionizaram o gás dentro do tubo de vidro, criando uma atmosfera eletricamente condutiva. Nesta hora o tubo necessita apenas de uma variação de voltagem através dos eletrodos para estabelecer um arco elétrico e assim acender a lâmpada.

Com o starter aberto o campo magnético do reator cai, criando um aumento repentino na corrente, devido a este fato o reator libera sua energia acumulada, ou seja, criando a voltagem necessária para ligar a lâmpada. Os elétrons livres (liberados pelos filamentos) chocam-se com os átomos dos gases dentro do tubo, argônio e vapor de mercúrio, que antes estava na sua forma líquida, mas adquiriu essa forma devido a energia que passa de um eletrodo para outro, gerando mais elétrons livres e como consequência criando íons. Essa combinação de elétrons e íons constitui o que chamamos de plasma, criando assim um caminho para a corrente elétrica entre as extremidades do tubo de vidro. Nas fluorescentes mais modernas o mercúrio está apenas na sua forma de vapor.

O reator utilizado nestes tipos de lâmpadas é o eletromagnético, Figura 9, com as funções de dar a partida para ligar a lâmpada, aumentando a tensão durante a ignição, controlar a intensidade da corrente e da tensão enquanto a mesma ainda estiver em funcionamento. Possui as características de trabalhar com altas ou baixas temperaturas. Com o controle da tensão, ele fará com que a mesma passe pelo starter com uma voltagem mínima, impossibilitando um novo processo no starter. A corrente é controlada através de uma taxa de ciclo relativamente baixa, que pode

causar uma instabilidade no reator, além disso, eles podem vibrar há uma baixa frequência (frequência audível) ocasionando assim aquele som característicos das lâmpadas fluorescente mais antigas, pois atualmente esse zunido é praticamente nulo.

Figura 14 - Reator eletromagnético



Fonte: <http://www.taschibra.com.br>

Os filamentos continuam quentes e a emitir elétrons para dentro do plasma, devido aos impactos constantes de elétrons dentro do tubo. Esses impactos têm seu fim quando não há mais CA alimentando o sistema e os filamentos estiverem desgastados.

Mesmo com todo esse aparato ainda leva alguns segundos para essa lâmpada acender. Geralmente o processo do starter acontece de duas a três vezes (com reatores e starters novos) antes da lâmpada acender, pois é necessária uma alta tensão entre as extremidades da lâmpada e apenas um processo do starter não é o suficiente para fazer o reator liberar uma tensão grande o suficiente para ligar a lâmpada, por isso ela pisca algumas vezes antes de acender por completo. Com o passar dos anos alguns problemas podem ocorrer fazendo com que as lâmpadas não acendam mais, por exemplo, a vedação pode ser comprometida e assim o ar entra no tubo e compromete o funcionamento da mesma, pois alterou as condições no interior do mesmo, fazendo com que as lâmpadas pisquem várias vezes e não acendam.

Inicialmente aplica-se uma tensão muito alta nos dois eletrodos, com essa elevada tensão os filamentos aquecem mais rápido e consequentemente liberam mais elétrons para dentro do tubo, ionizando o gás com uma velocidade superior ao processo citado anteriormente, como a diferença de potencial já estava estabelecida o arco elétrico é criado quase que instantaneamente, fazendo com que a lâmpada acenda muito mais rápido. É o reator, neste caso eletrônico de partida instantânea, que realizará todo o processo. “A utilização deste tipo de reator tende a reduzir a vida útil da lâmpada fluorescente”. (JOSÉ AUGSUTO CREPALDI; MICHAEL FERMINO CECCON FRIGATTI; RODRIGO LUCKOW, 2012).

Reatores eletrônicos controinlam de maneira mais eficiente fluxo de corrente dentro do tubo de vidro. Eles quase não produzem ruído, pois usam uma taxa de ciclo mais alta.

Existem diferenças entre reatores eletromagnéticos e os eletrônicos, geralmente os eletrônicos possuem mais vantagens, segundo a PHILIPS (2014):

Dependendo dos reatores comparados as vantagens são muitas, as principais são: menor consumo de energia (perdas em Watts), maior durabilidade, maior vida, menor geração de calor, mais compacto e leve facilitando seu manuseio e instalação.

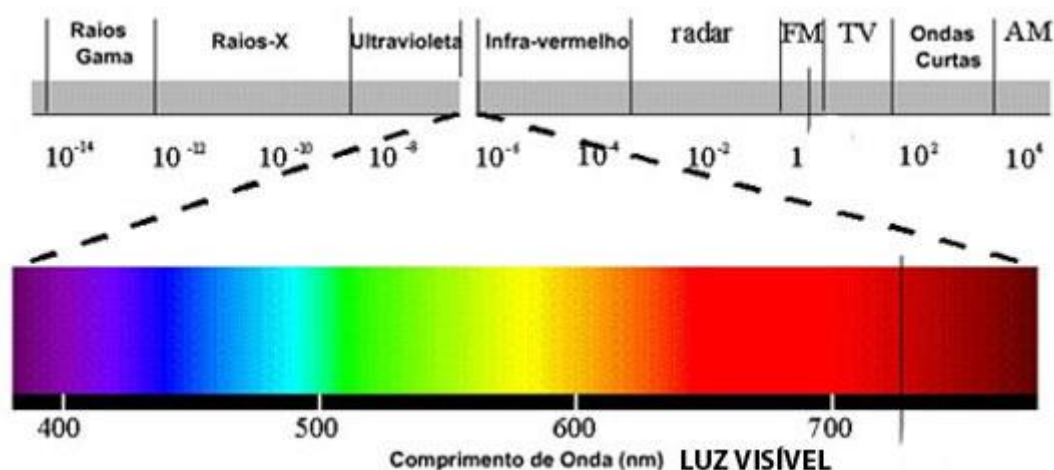
3.1.3 LED – LIGHT EMITTING DIODE

Os primeiros estudos com princípios do LED foram realizados em 1907 por Henry Joseph Round, mas foi apenas no ano de 1962 com o trabalho do físico Nick Holonyak que um LED de cor vermelha com pouca intensidade luminosa foi criado.

A cor do LED é determinada por sua dopagem e pelo tamanho do comprimento de onda do fóton liberado (sendo assim, o material plástico que envolve o LED não indicará sua cor), neste caso será a dopagem que irá variar o comprimento de onda do fóton, por exemplo, um diodo padrão feito de silício possui seus átomos organizados de tal forma que seus elétrons ao “saltarem” liberem fótons

com comprimento de onda relativamente grande na faixa do infravermelho, indicado a Figura 11, a qual o ser humano não consegue enxergar. Mesmo que não seja perceptível o LED ainda é aproveitado, sendo aplicado em controles remotos.

Figura 16 - Espectro de Luz



Fonte: <http://www.acheprovas.com>

Atualmente existem LEDs de várias cores, por exemplo, amarelo, azul, branco, verde, vermelho, entre outras cores, o que aumenta ainda mais as funções que eles podem exercer. Uma curiosidade é que o LED azul foi criado em 2014 por três inventores japoneses, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura, os quais receberam o Prêmio Nobel por sua criação. O material utilizado na dopagem foi o Nitreto de Gálio. Atualmente grande parte das lâmpadas de LED brancas são constituídas por um emissor de luz azul o qual é combinado com um ou mais materiais luminescentes que convertem parte desta luz azul para comprimentos de ondas maiores, gerando assim a cor branca.

Devido sua vasta aplicabilidade ele é utilizado em quase tudo, que utilize uma fonte de energia elétrica, no nosso dia a dia. De acordo com Tom Harris:

Eles formam os números em relógios digitais, transmitem informações de controles remotos, iluminam relógios e informam quando suas ferramentas estão ligadas. Agrupados, eles podem formar imagens em uma tela de televisão gigante ou lâmpada

incandescente normal. Basicamente, os LEDs são lâmpadas pequenas que se ajustam facilmente em um circuito elétrico.

As vantagens que o LED oferece são diversas, em comparação com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, algumas delas são:

- Alta qualidade de luz;
- Experiência confortável aos olhos;
- Baixa emissão de calor;
- Economia média de energia de 80% comparadas às incandescentes, sem comprometer a performance;
- Tempo de vida útil bastante longo;
- Redução dos custos de manutenção devido a sua maior vida útil;
- Não possui mercúrio em sua composição;
- Ligamento instantâneo sem danos a lâmpada.

Sua emissão de calor é mínima devido a uma menor potência ser necessária para ligá-lo e a quantidade de energia elétrica perdida é mínima. Caso esteja aquecendo muito para evitar que esse calor, mesmo com uma temperatura baixa, danifique a lâmpada ou provoque desconforto no ambiente, existem dissipadores de calor instalados juntamente com essas lâmpadas que impedem esse aquecimento, prolongando ainda mais o tempo de vida do LED que pode ser de 20.000 a 50.000 horas.

A empresa PHILIPS (2014) diz o seguinte sobre o tempo de vida útil de suas lâmpadas de LED:

Longa duração, em média de 20.000 a 25.000 horas, que pode ser traduzida em 25 anos sem necessidade de reposição (baseado na média de utilização de 2 horas e meia por dia).

Outra característica das lâmpadas de LED é que elas não sofrem com os acendimentos constantes como as fluorescentes, ou seja, elas podem acender e

apagar várias e várias vezes sem que seu tempo de vida útil não será reduzido. Da mesma maneira que as fluorescentes a vida útil é determinada pela quantidade de fluxo luminoso que o LED perdeu durante a fase de teste. Ele também não possui um filamento que se queime, como nas lâmpadas incandescentes, o que aumenta o seu tempo de vida útil.

Atualmente já existem lâmpadas de LED com a capacidade de serem acopladas nos soquetes comuns, o E-27 das incandescentes representado pela Figura 12. E ainda lâmpadas em tubo feitas com LED.

Figura 17 - Entrada E-27



Fonte: <http://apezinho.com.br>

Os primeiros diodos emissores de luz eram feitos de Arseneto de Gálio e Arseneto de Gálio com Índio. Atualmente a maioria dos LEDs são constituídos de Arsenato de Alumínio e Gálio.

3.1.3.1 Funcionamento

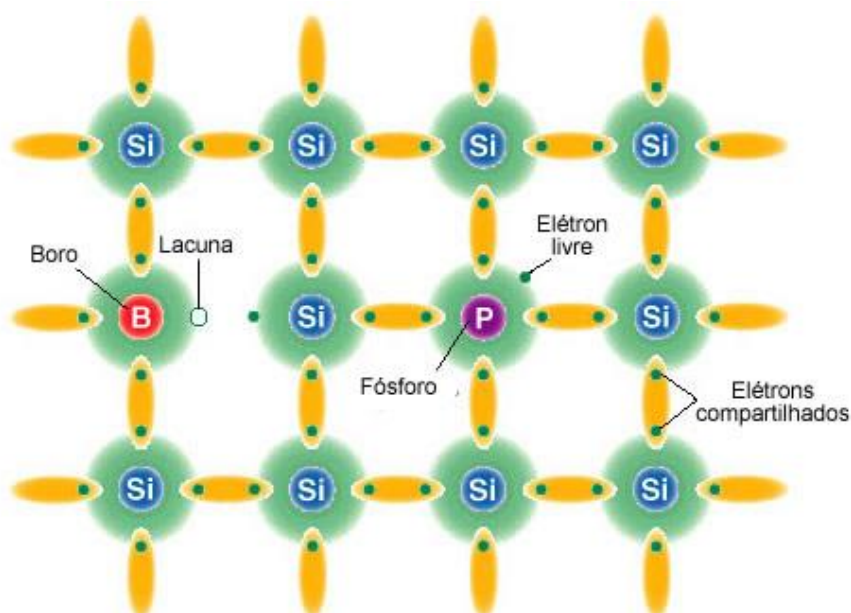
Antes de tudo o diodo passa por um processo chamado de dopagem, neste processo impurezas (outros átomos) são colocados para se combinarem com o diodo em questão. A dopagem irá formar dois semicondutores um do Tipo-N e outro do Tipo-P que no final serão unidos.

Utilizando o Silício como exemplo. O átomo de silício, assim como o carbono, possui quatro elétrons em sua camada de valência permitindo assim que ele forme quatro ligações covalentes com átomos vizinhos. Essa estrutura impede a existência de elétrons livres para a condução de corrente elétrica. Sendo necessária a dopagem do material.

Dopando o silício com o fósforo ou arsênio o semiconductor do Tipo-N é formado, devido a material dopante possuir cinco elétrons na sua camada de valência, dessa maneira os quatros elétrons do silício formam suas quatro ligações, sobrando assim o elétron a mais (um elétron livre).

Ao dopar o silício com o boro ou gálio, os quais possuem 3 elétrons em sua camada de valência, três ligações são formadas no átomo de silício restando um elétron deste mesmo elemento para se combinar (formando um “buraco”) e a falta desse elétron causa um efeito de carga positiva, gerando assim um semiconductor do Tipo-P. A Figura 13 demonstra essa dopagem acima descrita.

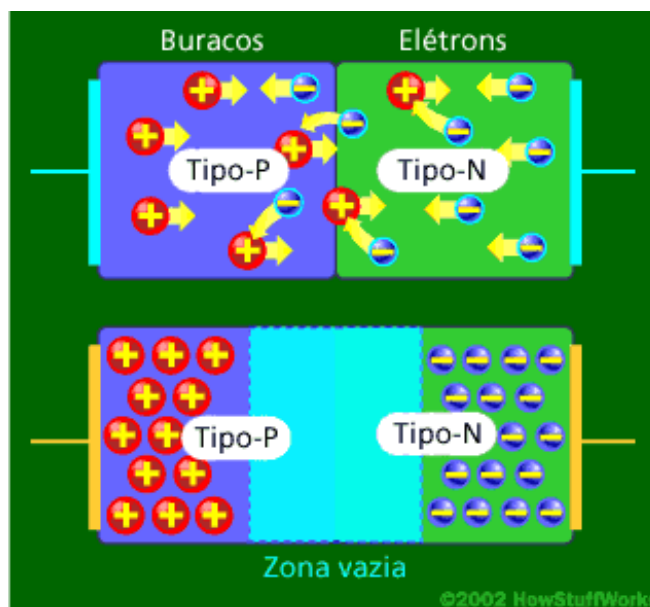
Figura 18 - Dopagem Eletrônica



Fonte: <http://www.infoescola.com>

Esses dois semicondutores são então unidos, mas esse arranjo está organizado de tal maneira que conduz corrente elétrica em apenas um sentido. Sem a aplicação de tensão no diodo, os elétrons livres localizados no semicondutor do Tipo-N irão migrar para os buracos do semicondutor do Tipo-P e assim formaram a Zona de Depleção ou Zona Vazia, nesta zona não é possível a condução de corrente, pois não haverá elétrons livres e nem buracos livres, indicado na Figura 14.

Figura 19 - Zona de Depleção ou Zona Vazia



Fonte: <http://tecnologia.hsw.uol.com.br>

Para eliminar essa zona, é necessário ligar o pólo positivo da bateria no semicondutor do Tipo-P e o pólo negativo no semicondutor do Tipo-N. Desta maneira os elétrons livres encontrados no Tipo-N são repelidos pelos elétrons do pólo negativo da bateria, ou tensão, e são levados para o pólo positivo. Os buracos do Tipo-P fazem o caminho contrário. E quando a tensão aplicada é grande o suficiente os elétrons que estava ocupando os buracos na zona de depleção são forçados a sair deles e dessa forma a zona desaparece a corrente flui pelo diodo.

Caso a bateria seja ligada ao diodo de maneira contrária ao diodo, ou seja, o pólo negativo for ligado ao semicondutor do Tipo-P e o pólo positivo for ligado ao semicondutor do Tipo-N, a corrente não irá percorrer o diodo, pois o elétrons livres localizados no Tipo-N serão atraídos pelo pólo positivo e o mesmo ocorrerá com

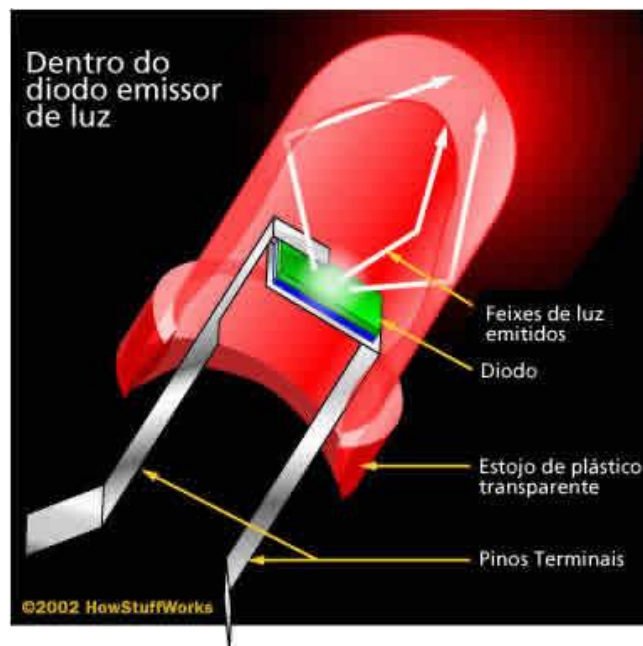
pólo negativo que irá atrair os buracos localizados no Tipo-P. Esse processo fará com que a zona de depleção aumente.

O processo de emissão de luz do LED é chamado de eletroluminescência, que é a conversão de energia elétrica em luz. Para um LED emitir luz ocorre o seguinte processo. O diodo é ligado a uma tensão a qual irá fornecer energia para o mesmo, esse fornecimento constante de energia fará com que haja combinações entre os elétrons livres (localizados no semicondutor do Tipo-N) e as lacunas (localizadas no semicondutor do Tipo-P) do diodo, essas combinações irão causar a emissão de fótons, pois os elétrons livres irão “cair” nas lacunas, ou seja, os elétrons sairão de um orbital mais alto para um mais baixo e essa “queda” irá liberar os fótons que dependendo da dopagem do diodo emitirá luz visível.

As emissões dos fótons vêm dos “saltos” feitos pelos elétrons, por exemplo, para que um elétron saia de sua camada de valência e vá para uma mais externa é necessária uma quantidade de energia (energia está que é fornecida pela tensão), após esse “salto” o elétron perde um pouco da energia absorvida antes e é puxado novamente pelo núcleo do átomo para sua camada de valência inicial, ao voltar ele libera energia em forma de fóton que será visível (dependendo do comprimento de seu comprimento de onda) e irá emitir luz. Esse processo ocorre varias e varias vezes no LED.

De acordo com Tom Harris, os LEDs são fabricados para emitirem uma grande quantidade de fótons e que seus bulbos plásticos concentram a luz que eles emitem em uma direção específica, a Figura 15 demonstra a concentração da luz de um diodo emissor de luz em uma direção específica.

Figura 20 - Concentração de luz em uma direção específica em um LED

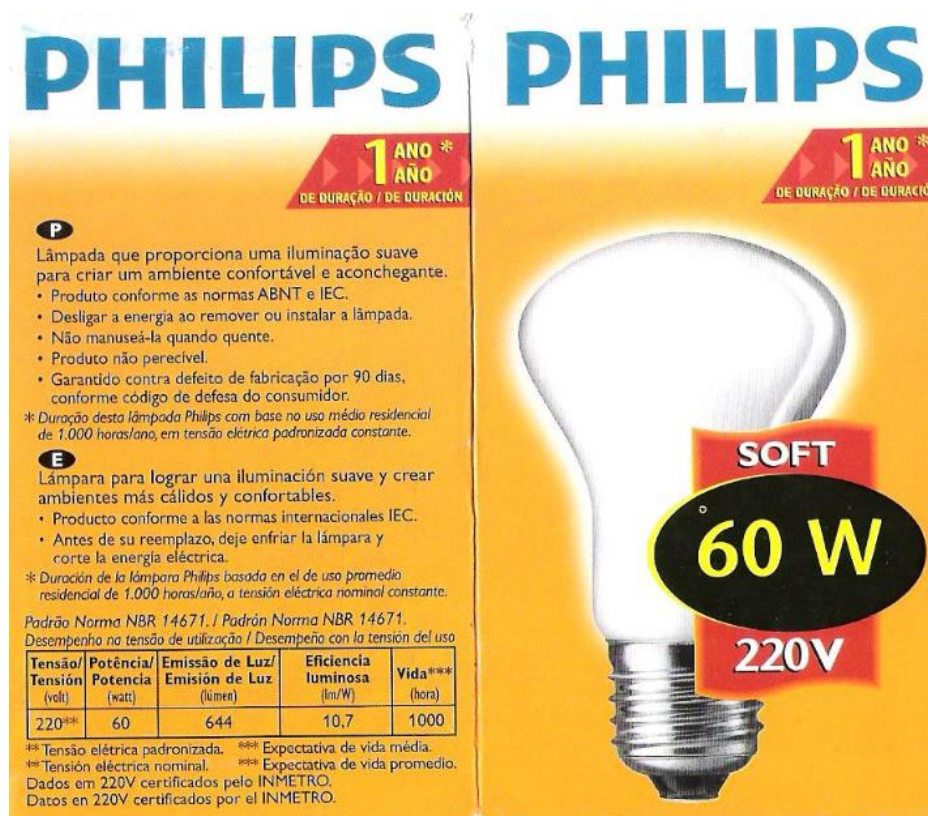


Fonte: <http://tecnologia.hsw.uol.com.br>

4. METODOLOGIA CIENTÍFICA

Foram selecionadas 4 (quatro) lâmpadas para dar início ao projeto, duas lâmpadas incandescentes, uma fluorescente e uma de LED. Todas são da empresa PHILLIPS e são identificadas pelas Figuras 16, 18, 19 e 20 respectivamente. Para serem ligadas, ao mesmo tempo, com o intuito de avaliar o tempo de vida de cada uma em comparação com anunciado pelo fabricante.

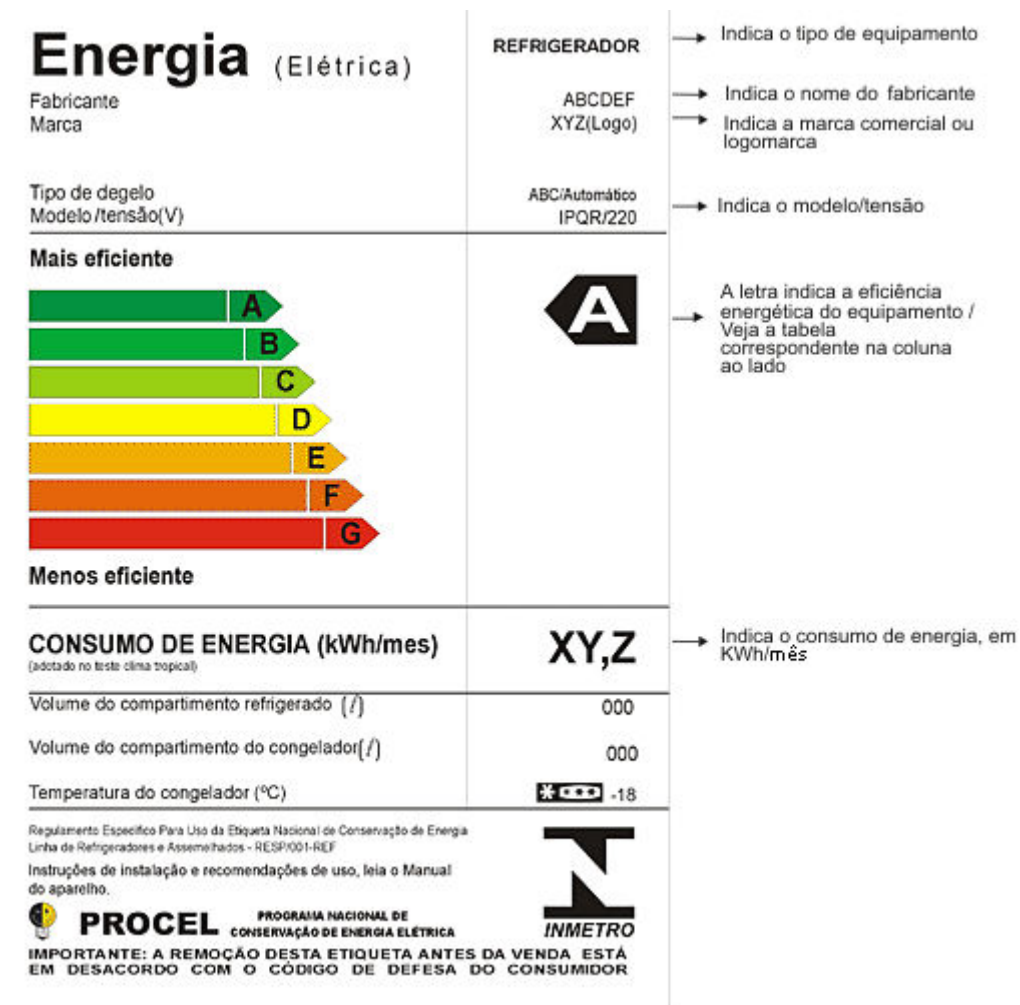
Figura 21 - Lâmpada incandescente do tipo F



Fonte: Embalagem do produto

Devido à lâmpada possuir um maior consumo energético ela é taxada com a letra F, seguindo a ordem do Selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) indicado pela Figura 17. Não só as lâmpadas, mas outros equipamentos que consomem eletricidade, como ar-condicionado, freezer, refrigerador, etc. possuem o Selo PROCEL, também para indicar seus níveis mensais de consumo elétrico.

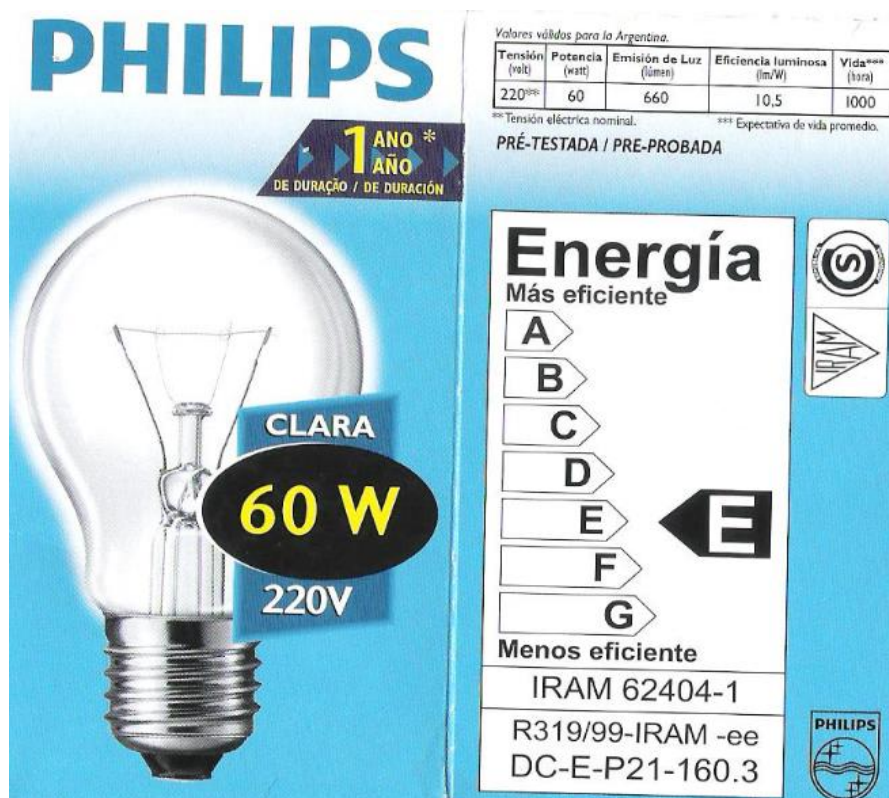
Figura 22 - Selo PROCEL



Fonte: <http://blog.efacil.com.br>

A outra lâmpada incandescente foi do tipo E, devido o seu consumo de energia elétrica ser menor se comparado com a outra lâmpada incandescente.

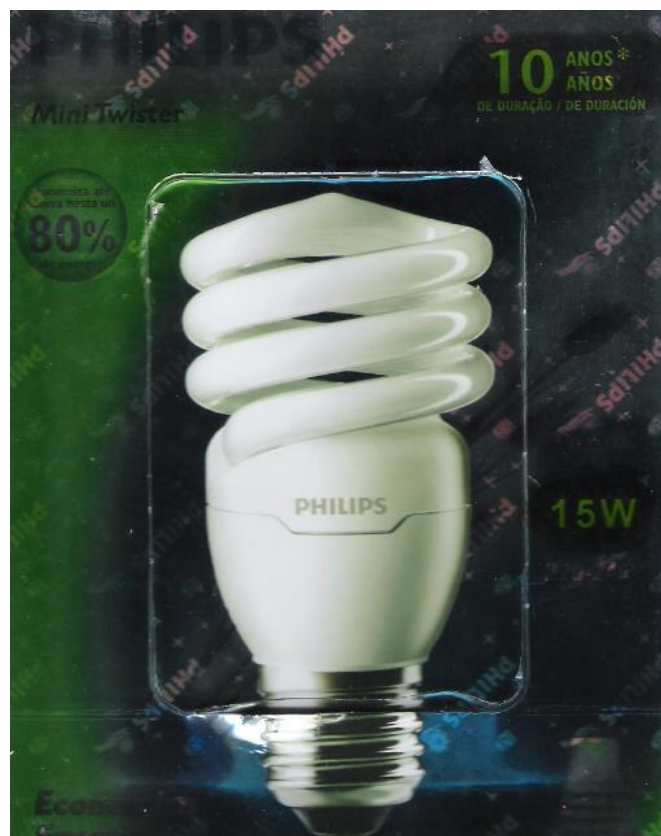
Figura 23 - Lâmpada incandescente do tipo E



Fonte: Embalagem do produto

A lâmpada fluorescente recebeu a letra A de consumo energético, indicando que seu consumo é muito menor quando comparado com as duas incandescentes. Ela está representada pela Figura 19 logo abaixo.

Figura 24 - Lâmpada fluorescente do tipo A



Fonte: Autoria Própria

Por último temos a lâmpada de LED com seu consumo, marcado pelo Selo PROCEL, como sendo a letra A. A Figura 20 identifica o produto utilizado para o experimento.

Figura 25 - Lâmpada de LED



Fonte: Embalagem do produto

Todas as lâmpadas foram ligadas ao mesmo tempo no dia 30/06/2015 para serem desligadas após 133 (cento e trinta e três) dias de uso contínuo, ou seja, elas ficaram acesas 24 (vinte e quatro) horas por dia, até a data 10/11/2015 indicando o fim do experimento.

Durante as 3 (três) primeiras semanas, após o início do experimento, nenhuma lâmpada queimou ou apresentou uma menor eficiência luminosa. A primeira lâmpada veio a queimar no 27º (vigésimo sétimo) dia, precisamente no dia 28/07/2015.

Como já se era esperado a primeira lâmpada que veio a queimar foi a incandescente, neste caso como havia duas delas, a que possuía o Selo PROCEL com letra F em sua embalagem.

Ao chegar à data de 11/08/2015 mais uma lâmpada havia queimado e mais uma vez foi uma incandescente, a qual estava identificada com Selo PROCEL com a letra E. Ela surpreendeu as expectativas ao permanecer todos esses dias, aproximadamente 40 (quarenta), acesa.

Tanto a lâmpada fluorescente como a de LED permaneceram acesas sem nenhuma alteração em sua eficiência luminosa.

5. CONSUMO

Cada lâmpada possui seu consumo específico de energia elétrica, sendo eles altos ou baixos, iremos agora avaliar o consumo de cada lâmpada citada anteriormente. Para calcular o consumo desses aparelhos durante um mês levamos em conta três características: a potência da lâmpada, a quantidade de horas ligada durante um dia e a quantidade de dias que o mês possui (neste caso vamos utilizar 30 (trinta)). A equação logo abaixo demonstra como organizar esses itens.

$$\text{Potência} \times \text{Horas utilizadas durante um dia} \times \text{Dias do mês} = kWh$$

A lâmpada incandescente é a que possui um maior consumo de energia elétrica, associado com uma menor eficiência luminosa o que a torna uma escolha não tão agradável para um ambiente em que seja necessária uma fonte de luz constante, por exemplo, um escritório onde o operário precise escrever ou digitar algum documento.

Uma lâmpada incandescente, do tipo soft com 60W de potência, funcionando 3 horas (tempo recomendado pelos fabricantes) por dia durante um mês possui o seguinte consumo mensal.

$$60W \times \frac{3h}{dia} \times 30dia = 5,4kWh$$

Agora utilizando uma lâmpada fluorescente de 15W de potência, mas com uma equivalência de uma lâmpada de 60W, com o mesmo tempo de funcionamento e durante um mês, teremos um consumo mensal obtido logo abaixo.

$$15W \times \frac{3h}{dia} \times 30dia = 1,35kWh$$

Por último, temos a lâmpada de LED com uma potência de 9,5W, também com uma equivalência de uma lâmpada de 60W, possuindo o mesmo tempo de funcionamento e durante o período de um mês.

$$9,5W \times \frac{3h}{dia} \times 30dia = 0,855kWh$$

Tabela 1 - Consumo Mensal das lâmpadas utilizando recomendações do fabricante

Lâmpadas	Consumo Mensal (kWh)
Incandescentes	5,400*
Fluorescente	1,350
LED	0,855

*Cada lâmpada consumiu essa quantidade de energia elétrica

Podemos observar, na Tabela 1 que das três a que teve o menor consumo de energia elétrica foi lâmpada de LED, devido ao alto aproveitamento da energia que lhe é fornecida.

Utilizando os valores obtidos é possível calcular o gasto, em reais, de cada lâmpada no final do mês e assim quais delas aumentam mais a conta de energia elétrica de uma residência. Para tal cálculo foi necessário a tarifa da COSERN, a qual é obtida no próprio site da empresa ou na própria conta de luz. A tarifa sem os tributos (ICMS, PIS e COFINS) é taxada com um valor de R\$ 0,37590 reais (sendo ela a utilizada para efetuar os cálculos desejados do consumo em reais de cada lâmpada), com esse valor se obtém a despesa que cada lâmpada proporciona durante um mês através da seguinte equação:

$$\text{Consumo Mensal}(kWh) \times \text{Tarifa COSENER} \left(\frac{R\$}{kWh} \right) = R\$$$

- Lâmpada Incandescente

$$5,400kWh \times \frac{0,37590R\$}{kWh} = R\$ 2,03$$

O valor aproximado será: R\$ 2,03

- Lâmpada Fluorescente

$$1,350kWh \times \frac{0,37590R\$}{kWh} = R\$ 0,51$$

O valor aproximado será: R\$ 0,51

- Lâmpada de LED

$$0,855kWh \times \frac{0,37590R\$}{kWh} = R\$ 0,33$$

O valor aproximado será: R\$ 0,33

Tabela 2 - Despesa por mês das lâmpadas utilizando recomendações do fabricante

Lâmpadas	Consumo Mensal (R\$)
Incandescentes	2,03*
Fluorescente	0,51
LED	0,33

*Cada lâmpada teve essa despesa no final do mês

Vale lembrar que para cada uma dessas equações foi utilizada apenas uma lâmpada, sendo que em qualquer residência esse número é bem maior.

As lâmpadas utilizadas no experimento ultrapassaram o valor de 30 dias (mais exatamente 133 dias, ou seja, 3192 horas) de uso e ficaram em funcionamento 24 horas por dia, ou seja, não foram desligadas em momento algum, apenas quando o experimento chegou ao fim, mas apenas duas permaneceram até o final: a fluorescente e a LED. Mesmo com apenas duas lâmpadas permanecendo até o final do experimento, iremos realizar o cálculo como se todas tivessem obtido este êxito.

Realizando os cálculos de consumo e de despesa para as lâmpadas incandescentes, fluorescente e LED respectivamente, temos:

- Consumo

$$60W \times \frac{24h}{dia} \times 133dia = 191,52 kWh$$

$$15W \times \frac{24h}{dia} \times 133dia = 47,88 kWh$$

$$9,5W \times \frac{24h}{dia} \times 133dia = 30,324kWh$$

- Despesa

$$191,52kWh \times 0,37590R\$/kWh = R\$ 72,00$$

$$47,88kWh \times 0,37590R\$/kWh = R\$ 18,00$$

$$30,324kWh \times 0,37590R\$/kWh = R\$ 11,40$$

Tabela 3 - Consumo e despesa das lâmpadas após o término do experimento

Lâmpadas	Consumo/Despesa
Incandescentes	191,52kWh / R\$ 72,00*
Fluorescente	47,88kWh / R\$ 18,00
LED	30,324kWh / R\$ 11,40

*Cada lâmpada teve esse consumo e essa despesa

Cada lâmpada possui seu valor específico no mercado, algumas possuem um maior valor comercial, já outras possuem um valor comercial menor.

As lâmpadas compradas para o experimento estão com seus preços descritos na Tabela 4, logo abaixo.

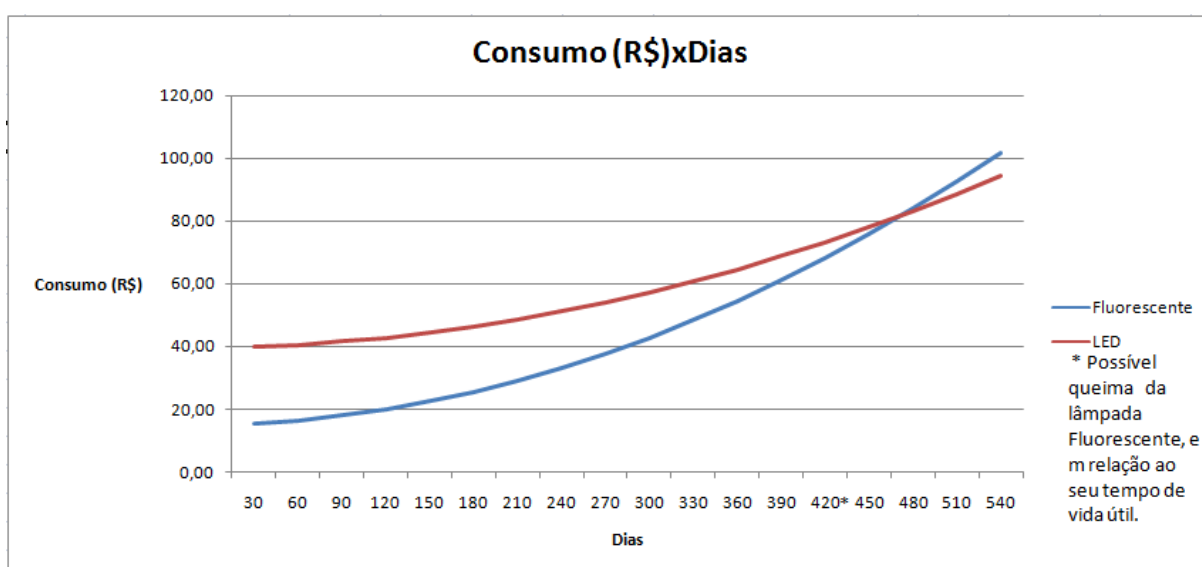
Tabela 4 - Preços das Lâmpadas

Lâmpadas	Preços (R\$)
Incandescente TIPO F	3,50
Incandescente TIPO E	2,75
Fluorescente	14,68
LED	39,64

Como apenas duas lâmpadas permaneceram acesas, a lâmpada fluorescente e a LED, se viu necessário a criação de uma análise de consumo (em reais) em relação à quantidade de dias que as mesmas permanecem em funcionamento. Para essa análise foi utilizado às especificações dadas pelo fabricante, funcionamento de no máximo 3 (três) horas por dia, para cada lâmpada.

Para cada ponto no gráfico foi realizado o seguinte procedimento, a primeira célula contém o valor do consumo energético (em reais) inicial da lâmpada somado com o valor de mercado da mesma. Nas células seguintes o procedimento consiste em somar o valor da célula anterior com o novo consumo energético da lâmpada e assim obter um valor acumulativo, para então descobrir quando a lâmpada LED irá ser mais econômica em comparação com a lâmpada fluorescente. Os dados obtidos estão dispostos no Gráfico 1.

Figura 26 - **Gráfico:** Comparação do ConsumoxDias das lâmpadas Fluorescente e LED



Inicialmente a lâmpada de LED possui uma maior despesa para sua aquisição, mas com um período de tempo é notado que a mesma possui uma menor despesa em relação a sua antecessora, a fluorescente, demonstrando que a mesma é mais econômica.

6. CONCLUSÃO E ANÁLISE GERAL

Ao longo deste trabalho várias informações foram levantadas sobre três tipos de lâmpadas disponíveis no mercado. Cada uma possuindo suas características, que as diferenciam entre si. A incandescente perdendo energia em forma de calor, a fluorescente possui essa mesma característica, mas de forma reduzida, ou seja, sua perda de energia em forma de calor é muito menor quando comparada com a sua antecessora, possui matérias tóxicas (mercúrio) no seu interior e por último temos a lâmpada de LED, a qual não possui as duas características antes citadas, pois seu aproveitamento energético é bastante alto e o mínimo de calor criado é dissipado, através de dissipadores.

Analizando o acontecido no experimento, vendo que as únicas lâmpadas a queimar foram as incandescentes, é possível perceber que elas não são as ideais para se iluminar uma casa ou um estabelecimento comercial. Os motivos de ela não ser uma boa escolha são: o fato de ocorrer uma queima prematura, o alto consumo energético, gerando uma maior conta de luz para os cidadãos e empresários, possuir uma baixa luminância o que torna alguns ambientes de trabalho desconfortáveis e impróprios para o trabalho, por exemplo, escritórios.

Apesar de custarem um menor preço no mercado, elas ainda se tornam uma escolha ruim para iluminar diversos ambientes, tanto que a maioria das casas de hoje em dia utilizam lâmpadas fluorescentes.

Uma das lâmpadas que não veio a queimar foi a fluorescente. Durante todo o período de teste ela não demonstrou nenhum sinal de perda de eficiência luminosa, mostrando ser uma boa escolha para iluminar ambientes. Seu preço no mercado é razoável, possuir um consumo energético baixo quando comparado com a incandescente, o que reduz de forma considerável a conta de luz no final do mês de uma residência ou de uma indústria, principalmente em indústria. Sua luminância é maior do que a incandescente, ou seja, a sensação de claridade que ela proporciona aos nossos olhos é maior.

Por último temos a lâmpada de LED, que também não teve nenhum sinal aparente de perda em sua eficiência. Ao compararmos ela com os dois tipos de lâmpadas anteriores a diferença é perceptível, principalmente no consumo de energia elétrica. Ela possui um alto preço no mercado, o que pode ocasionar um grande gasto inicial para adquirir as lâmpadas, mas no futuro a economia com conta de luz e manutenção será mínimo, pois a lâmpada de LED consome pouco e possui um tempo de vida útil bastante elevado, algumas chegando a 50.000 horas de vida útil.

Após todo o estudo é perceptível que as escolhas mais lógicas são as lâmpadas fluorescentes e LED's para se iluminar um ambiente que se deseja, mas entre essas duas opções a LED é ainda melhor, pois suas características se sobrepõem as da fluorescente, elas podem ter algumas semelhanças, como luminosidade e luminância, mas em termos de custo benefício e tempo de vida a lâmpada de LED supera a sua antecessora. A lâmpada de LED possui um preço mais elevado no mercado, mas este preço alto pago para obtê-las é obtido de “volta” com um período de tempo, pois a economia de energia elétrica obtida é elevada, ou seja, o consumo elétrico é baixo e temos uma conta de luz menor para ser paga. O fato de ter uma longa vida útil é outro fator muito importante, por exemplo, algumas lâmpadas de LED (como a utilizada no experimento) possuem um tempo de vida de 15 (quinze) anos, resultando em mais uma economia, neste caso com manutenção das mesmas. A ação de ligar e desligar a lâmpada em momentos curtos (antes de completar quinze minutos de operação, ou seja, estando acesa, como é o caso da fluorescente) não afeta seu tempo de vida o que gera mais um ponto positivo para a LED.

Com tudo avaliado a escolha de lâmpada que possui uma maior eficiência e com um bom custo benefício será a LED, tornando-a assim a lâmpada ideal para uma residência ou indústrias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LUZ, JeanineMarchiorida.Luminotécnica. Disponível em:
<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

JÚNIOR, Isaías de Sousa Barbosa.et al.Luminotécnica. Disponível em:
<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/rocha/arquivos/files/luminot%C3%A9cnica.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

FERREIRA, Rodrigo Arruda Felício. Manual de Luminotécnica. Disponível em:
<http://www.ufjf.br/ramoieeee/files/2010/08/Manual-Luminotecnica.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

GOEKING, Weruska. Eletricidade em desenvolvimento. Disponível em:
<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58artigosematerias-relacionadas/232-eletricidade-e-desenvolvimento.html>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

VILUX. História da Evolução da Lâmpada. Disponível em:
http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143. Acesso em: 14 de maio de 2015.

FUNCIONA, Como Tudo. Por que as lâmpadas fluorescente são mais eficazes? Disponível em: <http://casa.hsw.uol.com.br/questao236.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

FUNCIONA, Como Tudo. Como funcionam as lâmpadas fluorescentes. Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/lampadas-fluorescentes.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

DIGEL. Tipos comuns de lâmpadas. Disponível em: http://www.digel.com.br/novosite/index.php?option=com_content&view=article&id=105:lampadas. Acesso em: 20 de maio de 2015.

LEDO. Fluorescente ou LED? Qual escolher? Disponível em: <http://www.ledobrasil.com.br/fluorescente-ou-led-qual-escolher>. Acesso em: 20 de maio de 2015.

FUNCIONA, Como Tudo. Como funcionam as lâmpadas. Disponível em: <http://casa.hsw.uol.com.br/lampadas.htm>. Acesso: 20 de maio de 2015.

FUNCIONA, Como Tudo. Como funciona o starter de uma lâmpada fluorescente? Disponível em: <http://casa.hsw.uol.com.br/questao337.htm>. Acesso em: 20 de maio de 2015.

NETTO, Luiz Ferraz. Arco voltaico – Soldaduras. Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_12.asp. Acesso em: 20 de maio de 2015.

CAVALIERE, Irene. Lâmpada incandescente. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1172&sid=9>. Acesso em: 20 de maio de 2015.

FLUORESCENTES, Lâmpadas. O surgimento da lâmpada fluorescente. Disponível em: <http://lampadasfluorescentes.org/surgimento-lampada-fluorescente/>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

FOGAÇA, Jennifer. Diferença entre fluorescente e fosforescente. Disponível em: <http://www.brasilescola.com/quimica/diferenca-entre-fluorescentefosforescente.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

UNICAMP. LED – O que é, e como funciona. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

CAVALCANTE, Kleber G. Lei de Joule. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/lei-joule.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

OSRAM. Lâmpadas fluorescentes. Disponível em: http://www.osram.com.br/osram_br/ferramentaseservicos/servicos/faq/lampadas-fluorescentes-tubulares-e-circulares/index.jsp. Acesso em: 10 de junho de 2015.

USP. Conceitos fundamentais. Disponível em: [http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/Material_de_Apoio/03_-_Ia._Conceito_Fundamentais_\(grandezas_Luminosas\).pdf](http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/Material_de_Apoio/03_-_Ia._Conceito_Fundamentais_(grandezas_Luminosas).pdf). Acesso em: 10 de junho de 2015.

TOFFOLI, Leopoldo. Segunda Lei de Ohm. Disponível em: <http://www.infoescola.com/fisica/segunda-lei-de-ohm/>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

MARQUES, Domiciano. EFEITO JOULE. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/fisica/efeito-joule.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

PEREIRA, Lilian Souza. Dopagem Eletrônica. Disponível em: <http://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>. Acesso em: 20 de junho de 2015.

PHILLIPS. Índice de reprodução de cor (IRC). Disponível em: <http://www.philips.com.br/e/lighting-makeover/glossary-overview/lighting-wiki-color-rendering-index.html>. Acesso em: 20 de junho de 2015.

LUXSIDE. Temperatura de cor de uma lâmpada. Disponível em: <http://www.luxside.com.br/blog/temperatura-de-cor-de-uma-lampada/>. Acesso em: 20 de junho de 2015.

NOW, Lighting. Mitos e verdade sobre o LED. Disponível em: <http://lightingnow.com.br/blog/mitos-e-verdades-sobre-o-led>. Acesso em: 02 de junho de 2015.

FUNCIONA, Como tudo. Como funcionam osLEDs. Disponível em: <http://tecnologia.hsw.uol.com.br/led.htm>. Acesso em: 02 de junho de 2015.