



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

TECNOLOGIA DE ESTADO SÓLIDO :
IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Teodoro Queiroz Guarinello

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

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro

Agosto de 2013

TECNOLOGIA DE ESTADO SÓLIDO :
IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Teodoro Queiroz Guarinello

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

Aprovada por:

D. Eng. Jorge Luiz do Nascimento

(Orientador)

Dr. José Carlos de Oliveira

(Examinador)

M. Sc. Tirlê Silva

(Examinador)

Guarinello, Teodoro Queiroz

Tecnologia de Estado Sólido: Impactos Ambientais e Econômicos/ Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

IX, 85p.: il.; 29,7cm

Orientador: Jorge Luiz Do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 83

1. Tecnologia de Estado Sólido. 2. Impactos Ambientais e Econômico.

I. do Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, Norberto Luiz Guarinello e Deborah Silva de Queiroz, que fizeram de tudo para que eu tivesse a melhor educação possível e certo de que sem eles não teria chegado até aqui.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Jorge Luiz, por todo conhecimento e toda dedicação que teve comigo ao longo desses anos , sempre me dando conselhos para que eu melhorasse como pessoa.

À minha família, pais, irmãos e amigos que sempre me apoiaram dando conselhos que levarei comigo para sempre.

À minha namorada Paula, meu maior estímulo, fonte de carinho, companheirismo, e dedicação. Sempre ao meu lado me dando força.

Agradeço aos meus amigos que fizeram esse caminho mais fácil e que fizeram com que eu não desistisse da faculdade, em especial: Bruno, Caio, Eduardo, Rafael, Thais e Thiago. Com a certeza de que a amizade vai além da vida acadêmica.

Agradeço àqueles que torcem e acreditam em mim.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica –UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

TECNOLOGIA DE ESTADO SÓLIDO: ESTUDO ECONÔMICO E AMBIENTAL

Teodoro Queiroz Guarinello

Agosto de 2013

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Dois bilhões de pessoas, um terço da população mundial, ainda não têm acesso a eletricidade e dependem de iluminação baseada em combustíveis, uma alternativa perigosa a saúde e cara que oferece níveis muito baixos de iluminação. Essa falta de luz torna difícil a execução de simples tarefas noturnas incluindo estudo por parte de crianças e adultos o que representa uma barreira ao desenvolvimento humano. Estima-se que aproximadamente 20% da produção de eletricidade é consumida por iluminação, logo é imperativo que se opte por usar as formas de energia mais baratas para seu uso, especialmente em países em desenvolvimento, onde a demanda está crescendo num ritmo acelerado como resultado de um desenvolvimento econômico. Quanto menos usinas forem construídas para suprir a demanda por iluminação, menos emissões e menos lixo gerado e mais capital estará disponível para outros investimentos. Dentro deste contexto o uso mais consciente da eletricidade e também preocupação com o meio ambiente pela população gera um mercado favorável para o desenvolvimento e introdução de novas formas de iluminação que substituam as menos eficientes e menos sustentáveis. Esse trabalho mostra a viabilidade de se substituir as atuais fontes de luz pela nova tecnologia do LED e a economia resultante dessa tecnologia.

Palavras-chave: Iluminação, LED, Eficiência Energética

Abstract

Two billion people, one third of humanity, still has no access to electricity, and thus relies on fuel-based lighting, a dangerous alternative that is unhealthy, expensive, and offers very poor levels of illumination. This lack of light makes it difficult to perform most evening activities including studies by children and adults alike and therefore represents a significant barrier to human development. It is estimated that 20 percent of the world's total electricity production is consumed by lighting. It is therefore imperative that we use the most energy-frugal forms available, particularly in the developing world, where demand is growing at an accelerating rate as a product of economic development. The fewer power stations constructed to meet the needs of lighting, the fewer emissions and waste generated, and the more capital available for other investment. Within this context, more careful use of electricity and also the concern for the environment by the population generates a favorable market for the development and introduction of new forms of lighting to replace the less efficient and less sustainable. This work shows the feasibility of replacing the current sources with the new LED technology and the savings achievable with this technology.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Estrutura do Trabalho	2
2	Conceitos de Luminotécnica	4
2.1	Equivalência em Watts.....	4
2.2	Intensidade Luminosa (2).....	4
2.3	Fluxo luminoso (ϕ).....	5
2.4	Eficiência energética ($\eta\omega$).....	5
2.5	Temperatura de Cor Correlata (TCC).....	5
2.6	Índice de Reprodução de Cores (IRC) (5).....	6
2.7	Vida Útil.....	7
2.8	Incandescentes.....	7
2.9	Halógenas.....	8
2.10	Fluorescentes compactas.....	9
2.11	Fluorescentes tubulares.....	10
2.12	Descarga em alta pressão	10
2.13	Multivapores metálicos.....	11
2.14	Vapor de sódio branca	12
2.15	Vapor de mercúrio	12
2.16	Lâmpadas mistas	13
2.17	LED.....	14
3	ILUMINAÇÃO DE ESTADO SÓLIDO.....	16
3.1	Funcionamento	17
3.2	Características	18
3.3	LED de Luz Branca	20
3.4	Vantagens.....	21
3.4.1	Alto Rendimento Luminoso.....	21
3.4.2	Economia de Energia Extraordinária.....	22
3.4.3	Custo Mínimo de Manutenção.....	23
3.4.4	Grande Economia em Novas Instalações	23

3.4.5	Longa Vida Útil	23
3.4.6	Maior Segurança na Instalação e Operação.....	24
3.4.7	Maior Confiabilidade e Resistência Mecânica (ao impacto)	24
3.4.8	Descarte ao final da vida útil	24
3.4.9	Alta Qualidade da Cor	25
3.4.10	Aplicações Gerais	25
3.4.11	Sistemas de Iluminação Inteligentes.....	26
3.4.12	Desenhos Fotométricos Inovadores.....	26
3.4.13	Ligado Instantaneamente.....	26
3.4.14	Proteção do Patrimônio e da Natureza.....	27
3.4.15	Proteção do Meio-Ambiente.....	27
3.5	Desvantagens	27
3.5.1	Dependência de componentes importados.....	27
3.5.2	Investimento e retorno em curto prazo.....	27
3.5.3	Adaptação de luminárias já existentes.....	28
3.5.4	Gerenciamento térmico	28
3.6	Lei de Haitz	28
3.7	Tipos de LED e suas aplicações (25)	29
3.8	Outras Tecnologias de Iluminação (26).....	30
3.8.1	OLED	30
3.8.2	QDLED.....	32
3.8.3	FIPEL	32
4	O Mercado do LED e suas Projeções.....	34
4.1	Iluminação Geral	34
4.1.1	Iluminação arquitetônica	35
4.1.2	Iluminação residencial.....	35
4.1.3	Iluminação de escritórios	36
4.1.4	Iluminação exterior	36
4.1.5	Iluminação em lojas.....	36
4.1.6	Iluminação em hospedagem	37
4.1.7	Iluminação industrial	37
4.2	Mercado do LED	38
4.2.1	Projeção do preço dos LEDs	38
4.2.2	Preço das lâmpadas fluorescentes.....	40

4.3	Mercado de iluminação brasileiro	42
5	Avaliação do ciclo de vida da lâmpada LED e suas principais concorrentes	45
5.1	Estudo do ciclo de vida	45
5.2	Visão geral de uma ACV	46
5.2.1	Definição do escopo e objetivo	46
5.2.2	Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)[(33)]	47
5.2.3	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)	47
5.2.4	Interpretação.....	47
5.3	Indicadores do impacto no ciclo de vida.....	47
5.3.1	Potencial de Aquecimento Global.....	49
5.3.2	Potencial de Acidificação.....	49
5.3.3	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio.....	49
5.3.4	Potencial de Destruição da Camada de Ozônio	50
5.3.5	Potencial de Toxicidade Humana	50
5.3.6	Potencial de Ecotoxicidade da Água	50
5.3.7	Potencial de Ecotoxicidade da Vida Marinha	50
5.3.8	Potencial de Eutrofização.....	51
5.3.9	Uso da Terra	51
5.3.10	Potencial de Dano ao Ecossistema.....	51
5.3.11	Potencial de Ecotoxicidade Terrestre.....	51
5.3.12	Depleção Abiótica	51
5.3.13	Resíduos de Lixo Não Perigoso, Resíduos de Lixo Radioativo e Resíduos de lixo Perigoso	52
5.4	Avaliação dos Resultados	52
5.4.1	Incandescente	53
5.4.2	Fluorescente compacta.....	53
5.4.3	Lâmpada LED 2012	54
5.4.4	Lâmpada LED 2017	54
5.5	Discussão sobre o resultado da ACV	55
6	Impactos econômicos do LED na iluminação	58
6.1	Iluminação.....	58
6.2	Comparação do LED com outras fontes de iluminação	58
6.3	Iluminação Residencial.....	59
6.3.1	Comparação entre Incandescente e Fluorescente Compacta	60

6.3.2	Comparação entre LED e FLC para 50.000 horas	62
6.3.3	Comparação entre LED e FLC para 10.000 horas	63
6.4	Iluminação Escritórios	65
	Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 50.000 horas	65
6.4.1	Estudo da viabilidade econômica do LED no setor de escritórios no cenário de 10.000 horas	67
6.5	Iluminação Pública	69
6.5.1	Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 50.000 horas	71
6.5.2	Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 10.000 horas	73
6.6	Iluminação industrial.....	74
6.6.1	Iluminação Comercial.....	74
6.7	Impacto econômico em uma residência de uma família classe média.....	74
6.8	Impacto em uma residência de classe média considerando o LED com preço estabilizado	76
6.9	Políticas Governamentais para implementação do LED no Brasil	78
6.10	Conclusão	79
7	Conclusão	81
7.1	Trabalhos Futuros.....	82
	Bibliografia	83

Lista de Figura

Figura 1- Temperatura de cor correlata	6
Figura 2 Lâmpada Incandescente	8
Figura 3- Lâmpada Halógena	8
Figura 4-Lâmpada Fluorescente	9
Figura 5- Funcionamento de um lâmpada fluorescente tubular	10
Figura 6- Lâmpada de descarga de alta pressão	11
Figura 7-Lâmpada de vapor metálico	11
Figura 8-Lâmpada de vapor de sódio	12
Figura 9-Lâmpada vapor de mercúrio	13
Figura 10-Lâmpada mista.....	14
Figura 11-Variação do preço do LED (13).....	15
Figura 12- Junção pn e banda proibida (9).....	17
Figura 13–Liberação do foton (17).....	18
Figura 14-Componentes do LED.....	19
Figura 15-Espectro de luz visível (4)	19
Figura 16- Método (RGB-LED) para criação de luz branca	20
Figura 17- Método de obtenção de luz branca com uso de fósforo convertido e LED azul ou UV (20).....	21
Figura 18-Eficiência das fontes luminosas atuais (21) Adaptado	22
Figura 19-Comparação da vida útil das lâmpadas existentes no mercado (22).....	23
Figura 20-Diferença de cor entre Vapor de Sódio e LED (23)	25
Figura 21 Lei de Haitz (24)	29
Figura 22-Tipos de LED na atualidade (25).....	30
Figura 23-Estrutura de um OLED	31
Figura 24-QLED (26).....	32
Figura 25-Fipel no Laboratório (26).....	33
Figura 26-Participação do LED nos setores de iluminação geral no período 2011-2020 (27) 37	
Figura 27- Evolução do mercado de led.....	40
Figura 28-Aumento dos preços do metais de terra-rara (30).....	41
Figura 29-Produção de minerais de terra-rara no mundo (30)	42
Figura 30- Distribuição dos tipos de lâmpada no Brasil (2012) (Adaptado) (27).....	43

Figura 31- Distribuição dos tipos de lâmpada no Brasil (2020)(Adaptado) (27).....	44
Figura 32-Diagrama de uma ISO (Adaptado)	46
Figura 33-Distribuição dos impactos ambientais da incandescente de 60W (28).....	53
Figura 34- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada fluorescente compacta (28)	53
Figura 35- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada LED (2012) (28).....	54
Figura 36- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada LED (2017) (28).....	54
Figura 37-Gráfico comparativo dos impactos normalizado pela incandescente (28)	55
Figura 38-Gráfico comparativo dos impactos normalizado pela fluorescente (28)	56
Figura 39-Consumo de energia das lâmpadas estudadas (28).....	57
Figura 40 - Distribuição de lâmpadas na iluminação pública no Brasil.....	70
Figura 41 - Distribuição de lâmpadas na iluminação pública no Rio de Janeiro	70

Lista de Tabelas

Tabela 1- IRC x usos	7
Tabela 2- Preço e eficiência do LED atual e sua projeção para os próximos anos (28).....	39
Tabela 3-Indicadores de impacto do ciclo de vida (28)(Adaptado)	48
Tabela 4-Tabela comparativa de aspectos qualitativos das lâmpadas atuais (Autor).....	59
Tabela 5- Comparação qualitativa entre Incandescente e Fluorescente (Autor).....	60
Tabela 6- Comparação econômica entre Incandescente e Fluorescente (Autor).....	61
Tabela 7-Comparação econômica entre lâmpadas no uso residencial (Autor)	62
Tabela 8-Comparação econômica entre LED e FLC para 10.000 horas (Autor)	64
Tabela 9-Comparação entre LED Tubular e Fluorescente Tubular (Autor)	66
Tabela 10-Comparação Qualitativa LED Tubular Vs Fluorescente Tubular (Autor).....	67
Tabela 11 – Avaliação econômica LED tubular e fluorescente tubular para 10.000 horas Fonte: (Autor).....	68
Tabela 12-Comparação LED vs VSAP para 50.000 horas (Autor).....	71
Tabela 13 – Avaliação econômica na iluminação pública para 10.000 horas (Autor).....	73
Tabela 14 – Avaliação econômica do LED para residência classe média (Autor).....	75
Tabela 15 – Avaliação econômica do LED com preço estabilizado (Autor)	77

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Motivação

Ao passo que a população mundial cresce e suas necessidades aumentam, a demanda de energia cresce também. O aumento dos níveis de Dióxido de Carbono (CO₂) e a preocupação quanto ao aquecimento global faz com que países busquem alternativas para a dependência de petróleo e gás natural. Estratégias para esse desafio incluem fontes renováveis, redução dos níveis de energia e busca por fontes de luz mais eficientes.

Substituir fontes de luz tradicionais por de estado sólido, como o LED, tem se mostrado uma saída adequada para tal crise. Ao contrário de fontes convencionais o LED produz mais energia com menos eletricidade e gera menos calor, ou seja, é mais eficiente.

Diversos estudos mostram que a substituição pela tecnologia de estado sólido tem um enorme potencial para reduzir o consumo de energia derivado da iluminação, bem como a emissão de gases do efeito estufa e como resultado dessa redução várias termelétricas poderiam ser desativadas contribuindo para um ambiente mais verde.

Dos 15 milhões de pontos de iluminação pública no Brasil, mais da metade precisa ser renovada. (1) e em 20%, a instalação precisa ser refeita. Os desafios do setor não são pequenos, mas podem ser vistos como uma grande oportunidade de adotar tecnologias mais avançadas e eficientes, contribuindo para o crescimento sustentável das cidades brasileiras. Essa tendência conta com um número crescente de adeptos do setor público e privado e tem sido estimulada pelo surgimento de soluções como o LED, cada vez mais disseminado no mercado nacional.

A evolução das tecnologias de iluminação já deu origem a diversos outros tipos de soluções mais eficientes e duradouras do que a tradicional incandescente, passando pela alógena e fluorescente, até chegar ao LED. As vias e espaços públicos, que utilizam amplamente a iluminação para melhoria da visibilidade, quesito básico para segurança, locomoção e conforto dos usuários, estão entre os grandes beneficiados por essa evolução. A redução no consumo de energia elétrica e a extensa vida útil dos sistemas de iluminação avançados geram uma relação custo-benefício favorável aos recursos públicos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é mostrar o atual estado da tecnologia de estado sólido, explicando o impacto econômico doméstico, no setor de escritórios e no setor de iluminação pública gerado pela substituição de fontes de iluminação menos eficientes pelas de estado sólido. Além disso, será mostrada também uma avaliação do impacto ambiental, avaliando todo ciclo de vida desde a extração das matérias primas até o seu eventual descarte, de diversas fontes de iluminação mostrando a ampla vantagem de se optar pela tecnologia de estado sólido.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é dividido em cinco capítulos, sendo este o primeiro deles. No segundo capítulo, temos uma pequena introdução a alguns conceitos básicos de luminotécnica que são essenciais para a correta escolha de uma fonte luminosa mais eficiente, bem como uma descrição das principais fontes de luz hoje no mercado. No Capítulo 3, teremos um estudo detalhado do LED (diodo emissor de luz), mostrando suas principais características, suas vantagens e desvantagens e apresentadas algumas tecnologias que estão em fase de desenvolvimento e que poderão tomar o espaço do LED no futuro. No Capítulo 4, teremos uma apresentação do mercado de iluminação geral atual mostrando seu tamanho e previsões de crescimento, assim como, a participação do LED e sua expectativa de penetração nesse mercado para os próximos anos, bem como será feito um estudo comparativo da economia de se optar pelo LED em residências e no setor de iluminação pública. O Capítulo 5 será destinado ao estudo do impacto ambiental do LED e de seus principais concorrentes desde a

extração da matéria-prima até o seu descarte. O Capítulo 6 será destinado a avaliação econômica do LED nos setores residencial, escritórios e de iluminação pública. Por último, o Capítulo 7 será destinado às conclusões e considerações finais deste trabalho e serão dadas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Não se pode ir muito longe ao se falar de iluminação sem entender alguns conceitos básicos de luminotécnica. A seguir, serão explicadas algumas definições básicas com as quais será possível analisar qual a melhor fonte de luz existente hoje no mercado.

2 Conceitos de Luminotécnica

2.1 Equivalência em Watts

Lâmpadas incandescentes são medidas pelo seu consumo em watts. Isso funcionou, por que na época eram a única opção no mercado, então todos podiam dizer que uma incandescente de 60 W era mais forte que uma de 20 W. Porém, isso não funciona com LEDs, uma vez que podem produzir o mesmo número de lumens usando uma potência bem menor. Conseqüentemente, para vender para consumidores que não conhecem o sistema de medição, lâmpadas LED são normalmente vendidas pela sua equivalência em watts. Por exemplo: uma SamsungA19LED opera a 10 W, mas produz 440 lumens. Essa quantidade de lumens é equivalente uma fluorescente de 20W.ou ainda uma incandescente de 60W.

2.2 Intensidade Luminosa (2)

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lumens emitidos em cada direção. Essa direção é

representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa. Em outras palavras é a potência da radiação luminosa em uma dada direção. Como a maioria das lâmpadas não apresenta uma distribuição uniforme em todas as direções é comum o uso das curvas de distribuição luminosa, chamadas CDL's.

2.3 Fluxo luminoso (ϕ)

É a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. Em outras palavras, é a potência de energia luminosa de uma fonte de luz percebida pelo olho humano

2.4 Eficiência energética ($\eta\omega$)

É calculada pela divisão entre o Fluxo Luminoso emitido (lm) e a Potência consumida pela lâmpada (W). É dada em lúmen por watt (lm/W).

2.5 Temperatura de Cor Correlata (TCC)

A temperatura de cor correlata é a temperatura de cor correspondente ao ponto no “Locus de Planck” baseado na radiação térmica de um corpo negro ou radiador absoluto. Isso significa dizer que quando aquecemos um corpo sólido (corpo negro ou radiador absoluto) começará a emitir uma luz vermelha escura e quando a temperatura aumenta a cor mudará para vermelho claro, alaranjado, amarelo, branco e finalmente branco azulado.

Comparando-se a cor da luz emitida por uma determinada lâmpada com a cor emitida pelo corpo negro a uma determinada temperatura, conclui-se que esta lâmpada emite luz com a temperatura deste corpo, por exemplo: aquecendo-se um corpo negro e próximo a ele coloca-se uma lâmpada incandescente acesa, quando o corpo negro atingir a temperatura de 2.700 Kelvin, (3) emitirá uma luz com a mesma tonalidade de cor da lâmpada incandescente. A

unidade Kelvin foi adotada, pois na época era a unidade padrão de temperatura. Na Figura 1 abaixo, é possível ver a relação da temperatura com a sua cor correspondente.

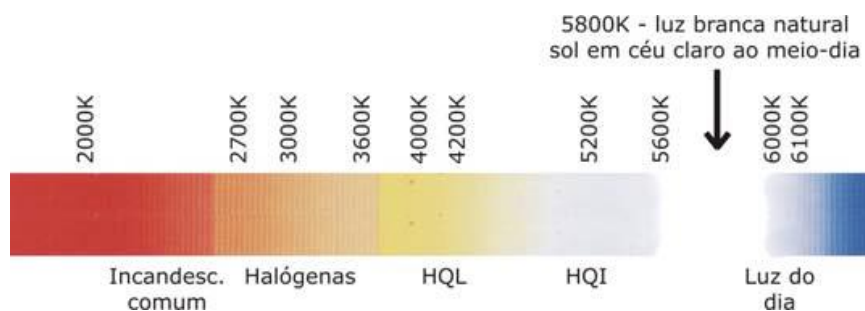


Figura 1- Temperatura de cor correlata

Fonte: Imagens do Google (4)

2.6 Índice de Reprodução de Cores (IRC) (5)

O índice de reprodução de cor é baseado em uma tentativa de mensurar a percepção da cor avaliada pelo cérebro. O IRC é o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrões. Para indicar de forma consistente as propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, idealizou-se um índice de reprodução de cores padrões (no caso 8) sob diferentes iluminantes. O método de avaliação, numa explicação bem simplificada, consiste na avaliação das cores padrões, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e sob a luz de uma fonte de referência que deveria ser um corpo negro (radiador integral), que apresenta um valor de 100%. Costuma-se, então, afirmar que está relacionado com a lâmpada incandescente, pois esta tem um comportamento próximo ao do radiador integral. Então, se uma fonte luminosa apresenta um índice de 60%, este está relacionado como radiador integral que é de 100%. Isto é verdade em parte. Como a percepção varia segundo o indivíduo e suas experiências anteriores, nem sempre esta avaliação corresponde à realidade. Para facilitar o esclarecimento, é costume, entre os fabricantes, a apresentação de uma tabela que informe comparativamente o índice de reprodução de cores, a temperatura de cor e a eficácia ou eficiência luminosa. Um IRC em torno de 60 pode ser considerado razoável, 80 é bom e 90 é excelente. Claro que tudo irá depender da exigência da aplicação que uma lâmpada deve atender. Um IRC de 60 mostra-se inadequado para uma iluminação de loja, porém, é mais que suficiente para a iluminação de

vias públicas. Na Tabela 1 abaixo, é possível ver a relação entre a qualidade do IRC, bem como o uso específico para cada tipo de IRC.

Tabela 1- IRC x usos

IRC	Qualidade	Usos
100	excelente/muito bom	testes de cor, lojas, residências, escritórios
80	bom/razoável	áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios
60	regular	depósitos, postos de gasolina, indústrias
40	ruim	vias de tráfego, canteiros de obras, estacionamentos

Fonte: Apostila Iluminação Artificial (6)

2.7 Vida Útil (7)

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 uso de uma lâmpada mantendo sua eficiência luminosa. Após o termino desse período recomenda-se sua substituição, mesmo que ela ainda esteja funcionando.

2.8 Incandescentes

Funcionam através da passagem da corrente elétrica por um filamento de tungstênio que, com o aquecimento, gera a luz. Com temperatura de cor agradável, na faixa de 2.700K ("amarelada") e reprodução de cor de 100%. Têm uma eficiência luminosa muito baixa, da ordem de 12 lm/W. Seu custo é baixo, mas sua vida útil também, de cerca de 1000h. Em ambientes amplos, frequentados por muitas pessoas, seu uso deve ser pensado com cuidado, pois além de desperdiçar energia na iluminação, podem estar colaborando para elevar a carga térmica, acarretando mais gastos ainda com ar condicionado, têm atualmente sua aplicação predominantemente residencial e é a fonte de luz menos eficiente hoje no mercado. Tem sido banida em diversos países como Brasil, Venezuela e Cuba. (7) As lâmpadas de maior potência estão sendo banidas primeiro, como é o caso das de 200 W e 140 W e, aos poucos, outras

potências também deixarão de ser fabricadas e importadas. Ainda deverão continuar sendo fabricadas para aplicações especiais, como lâmpadas de fogões e decoração, mas seu preço deverá crescer bastante.



Figura 2 Lâmpada Incandescente

Fonte: Philips (7)

2.9 Halógenas

São também consideradas incandescentes por terem o mesmo princípio de funcionamento, porém, são incrementadas com gases halógenos que, dentro do bulbo, se combinam com as partículas de tungstênio desprendidas do filamento. Essa combinação, associada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas se depositem de volta no filamento, criando assim o ciclo regenerativo do halogênio. Com 24% a 40% de redução no consumo, em relação às incandescentes, também permitem uma perfeita reprodução de cores. São compactas e portanto adequadas à montagem de vitrines e à decoração em geral. Sua vida útil é de 2.000h. Admitem o dimmer e exigem base especial.



Figura 3- Lâmpada Halógena

Fonte: Imagens Google (4)

2.10 Fluorescentes compactas

Possuem a tecnologia e as características de uma lâmpada fluorescente tubular, porém com tamanhos reduzidos. São lâmpadas fluorescentes com o tubo em "U", simples, duplo ou triplo (estes últimos de maior potência) ou ainda na forma circular, com o reator já incorporado à rosca, com o mesmo formato da rosca das incandescentes comuns. Embora custe mais do que uma incandescente comum, dura cerca de dez vezes mais (10.000 h) e, para produzir o mesmo fluxo luminoso, consome somente 20% da incandescente, aquecem menos o ambiente e possuem tonalidades de cor adequadas para cada ambiente, com opções entre 2.700K (aparência de cor semelhante às incandescentes) a 4.000K (aparência de cor mais branca). Devem ser preferidas lâmpadas com reatores eletrônicos. São utilizadas para as mais variadas atividades, seja comercial, institucional ou residencial. Sua principal desvantagem é a presença de mercúrio em sua composição, pois ainda existem poucas empresas de reciclagem, sendo que o custo dessa reciclagem e consequente descontaminação ainda é muito caro (8), além é claro do potencial poluente do mercúrio ao meio ambiente, o que tem sido visto negativamente por boa parte da indústria e população.



Figura 4-Lâmpada Fluorescente

Fonte:HowStuffWorks (8)

2.11 Fluorescentes tubulares

De alta eficiência e longa durabilidade, emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás, descarga essa quase que totalmente formada por radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), que, por sua vez, será convertida em luz pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. É da composição deste pó que resultam as mais diferentes alternativas de cor de luz adequadas a cada tipo de aplicação, além de determinar a qualidade e quantidade de luz e a eficiência na reprodução de cor. A performance dessas lâmpadas é otimizada através da instalação com reatores eletrônicos. São usadas em áreas comerciais e industriais.

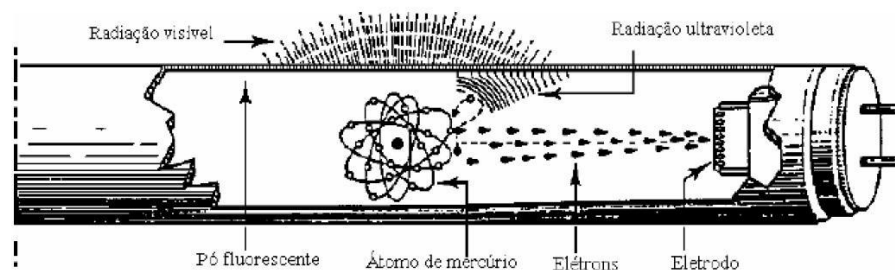


Figura 5- Funcionamento de um lâmpada fluorescente tubular

Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas (10)

2.12 Descarga em alta pressão

Seu princípio de funcionamento é completamente diferente das incandescentes. Uma descarga elétrica entre os eletrodos leva os componentes internos do tubo de descarga a produzirem luz. Funcionam através do uso de reatores e, em alguns casos, só partem com auxílio de ignitores. Dependendo do tipo, necessitam de 2 a 14 minutos entre a partida e a estabilização total do fluxo luminoso. São utilizadas em ambientes internos e externos e situações especiais.

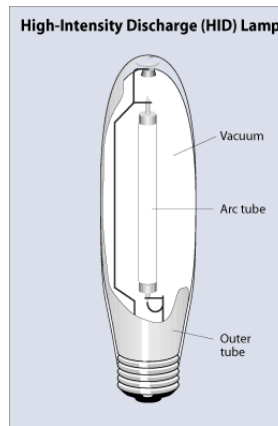


Figura 6- Lâmpada de descarga de alta pressão

Fonte:Imagens Google (4)

2.13 Multivapores metálicos

São lâmpadas que combinam iodetos metálicos, com altíssima eficiência energética, excelente reprodução de cor, longa durabilidade e baixa carga térmica. Sua luz é muito branca e brilhante. Tem versões de alta potência (para grandes áreas, têm índice de reprodução de cor de até 90%, eficiência energética de até 100 lm/W e temperatura de cor de 4.000 a 6.000 K, em vários formatos) e de baixa potência (de 70 a 400 W, tem formato tubular com diversas bases, apresentando alta eficiência, ótima reprodução de cor, vida útil longa e baixa carga térmica).



Figura 7-Lâmpada de vapor metálico

Fonte:Imagens Google (4)

2.14 Vapor de sódio branca

Com eficiência energética de até 130 lm/W, de longa durabilidade, é uma das mais econômicas fontes de luz. Seu diferencial é a emissão de luz branca, decorrente da combinação dos vapores de sódio e gás xênon, resultando numa luz brilhante como as halógenas ou com aparência de cor das incandescentes. Acionadas por reatores eletrônicos, elas podem ter, através de chaveamento, a temperatura de cor alterada de 2.600 para 3.000 K ou vice versa. Com excelente reprodução de cor, são utilizadas em áreas comerciais, hotéis, exposições, edifícios históricos, teatros, stands, etc.

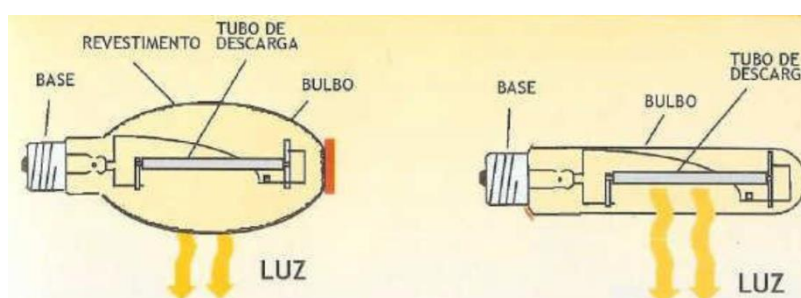


Figura 8-Lâmpada de vapor de sódio

Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas (10)

2.15 Vapor de mercúrio

Possui aparência branca azulada, eficiência de até 44 lm/W e potências de 80 a 1.000 W, sendo normalmente utilizadas em vias públicas e áreas industriais. Possui vida útil de 12.000 horas e preço relativamente baixo quando comparado à outras fontes de descarga de alta pressão. Tendo como desvantagens seu baixo IRC(40 a 47) , arranque não imediato e contém mercúrio.

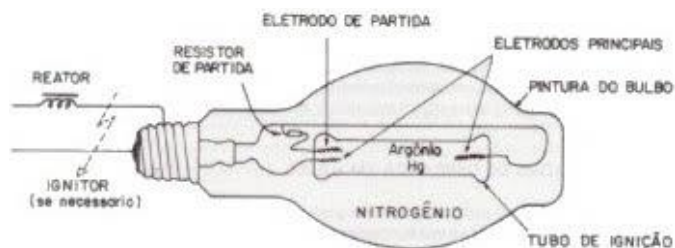


Figura 9-Lâmpada vapor de mercúrio

Fonte: Imagens do Google (4)

2.16 Lâmpadas mistas

Levam este nome por serem compostas por um filamento e um tubo de descarga, funcionam sem reator e somente na tensão de 220V (tensões menores não seriam suficientes para a ionização do tubo de arco). Via de regra, representam alternativa de maior eficiência para substituição de lâmpadas incandescentes; ela é uma mistura de lâmpada incandescente com a fluorescente. Estas lâmpadas, ao mesmo tempo incandescentes e a vapor de mercúrio, são constituídas de um tubo descarga de mercúrio, ligada em série com um filamento de tungstênio. Este filamento, além de funcionar como fonte de luz, age como resistência, limitando a corrente da lâmpada. Têm duas grandes vantagens sobre as lâmpadas de vapor de mercúrio comum: não necessitam de reator e podem ser aplicadas simplesmente substituindo a lâmpada incandescente sem necessitar adaptação. O seu campo de aplicação é semelhante ao das lâmpadas a vapor de mercúrio, ou seja, iluminação de ruas, jardins, armazéns, garagens e postos de gasolina. No início do funcionamento é aceso o filamento incandescente e aos poucos o mercúrio é vaporizado, iniciando-se o processo da iluminação por meio do vapor de mercúrio. A luz possui uma coloração branco-azulada, agradável a visão e de ampla aplicação em espaços interiores. Reúne características da lâmpada incandescente, fluorescente e vapor de mercúrio, pois: a luz do filamento emite luz incandescente; a luz do tubo de descarga a vapor de mercúrio emite intensa luz azulada; a radiação invisível (ultravioleta), em contato com a camada fluorescente do tubo, transforma-se em luz avermelhada. Emite cerca de 24 lumens/W. Possui vida útil de cerca de 6.000 h. É uma alternativa para a substituição de incandescentes de alta potência.

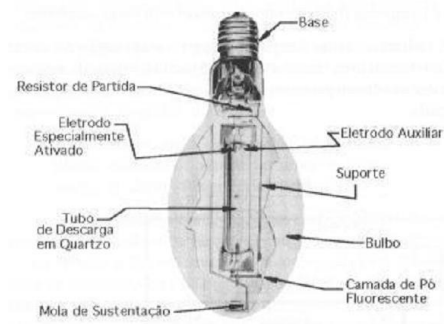


Figura 10-Lâmpada mista

Fonte: Imagens do Google (4)

2.17 LED

Os diodos emissores de luz, conhecidos como Leds por sua nomenclatura em inglês (Light Emitting Diode), foram inicialmente usados como luz de sinalização em aparelhos eletroeletrônicos, pois não tinham fluxo luminoso suficiente para iluminar ambientes (11).

São compostos por diodos semicondutores que convertem eletricidade em luz visível. Quando formados por materiais como o silício e o germânio, uma pequena parte da energia se converte em luz, enquanto a maior parte se transforma em calor, como ocorre com as fluorescentes. Por isso, precisam de dissipadores de calor para manter a temperatura em índices compatíveis com a operação dos Leds. Já os compostos por arseneto de gálio ou fosforeto de gálio são capazes de emitir ainda mais luz.

Os Leds que usam gálio em sua composição emitem raios infravermelhos, mas quando adicionado fósforo a luz emitida pode ser amarela ou vermelha, variando conforme a concentração da substância. A luz verde é obtida adicionando-se nitrogênio.

Também existem Leds do tipo RGB, que são formados por diodos nas cores vermelha, verde e azul que, ao serem combinadas, são capazes de formar um número inimaginável de cores. Especialistas citam 16 mil nuances diferentes (12). O rendimento dos diodos em geral é de cerca de 90 lúmens por watt e duram até 40 mil horas, de acordo com o tipo de Led e a qualidade de sua fabricação. A maior parte dos diodos comercializados tem 4 W, mas há tipos de 300 W no mercado.

Apesar de bastante difundida no mercado de iluminação, os preços elevados ainda dificultam o acesso dos consumidores a essa tecnologia, porém seu preço vem caindo rapidamente como pode ser visto na Figura 11. Vale lembrar que também já é possível dimerizar alguns módulos de Leds com o uso de fontes especiais, algo impensável há poucos anos.

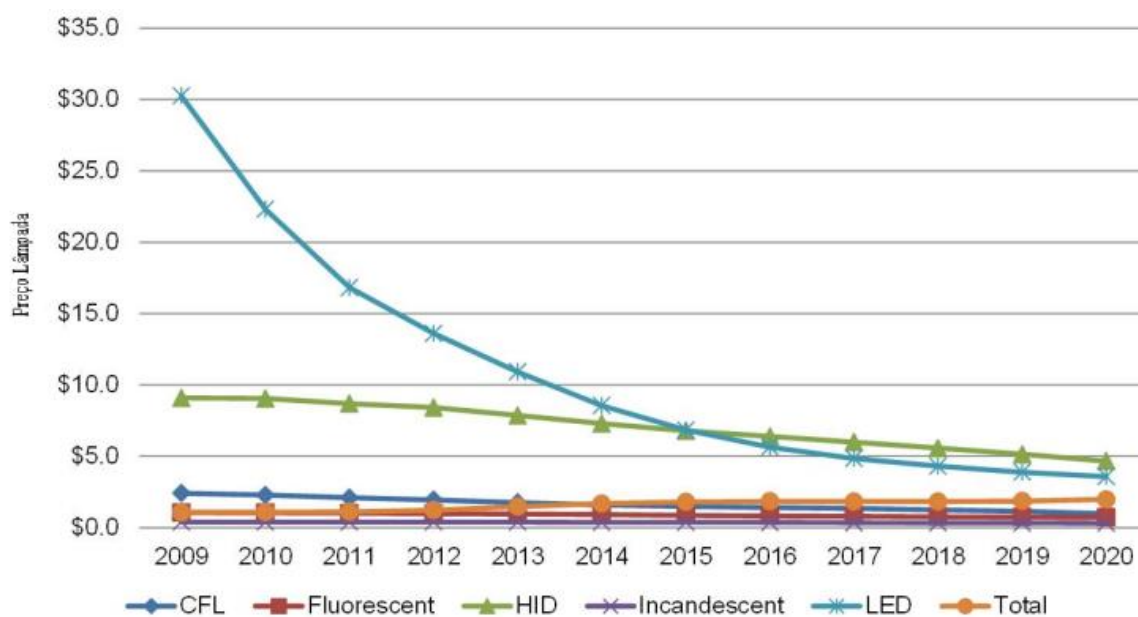


Figura 11-Variação do preço do LED (13)

Capítulo 3

3 ILUMINAÇÃO DE ESTADO SÓLIDO

Os LED's (diodos emissores de luz), inventados na década de 1960, são componentes eletrônicos semicondutores que têm a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Ao contrário das lâmpadas convencionais, os LED's não possuem filamentos, eletrodos ou tubos de descarga e se apresentam como componentes de minúsculas dimensões. Nos LED's, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamado de estado sólido (14).

Esse tipo de iluminação pode ser descrito como o terceiro estágio na evolução da lâmpada elétrica. O primeiro, representado pela lâmpada incandescente desenvolvida pelo americano Thomas Edison, pouco mudou nos últimos 128 anos. O mesmo filamento incandescente continua a ser utilizado até hoje. A segunda fase, iniciada nos anos 30, é a do uso das fluorescentes. Estas geram luz a partir de uma mistura de gases num tubo revestido de fósforo. Mais econômicas, elas já substituíram as incandescentes em grandes ambientes e também, de modo crescente, nas residências.

Os sistemas de iluminação com LED's ainda custam mais caro, apesar de seu preço cair pela metade a cada dois anos (16). Essa tecnologia não está se tornando apenas mais barata, está também mais eficiente, iluminando mais com a mesma quantidade de energia. Uma lâmpada incandescente converte em luz apenas 4% da energia elétrica que consome, enquanto as lâmpadas LED convertem até 40%. Essa diminuição no desperdício de energia traz benefícios evidentes ao meio ambiente. Nos países em que a eletricidade é produzida a partir da queima de combustíveis fósseis, essa economia significa nove vezes menos gases do efeito estufa na atmosfera. Se metade de toda a iluminação mundial fosse convertida para a tecnologia LED até 2024, seria possível economizar 120 gigawatts de eletricidade (o equivalente a quase dez usinas de Itaipu). Isso reduziria as emissões de dióxido de carbono em 340 milhões de toneladas por ano (15)

3.1 Funcionamento

Os LEDs são dispositivos de baixa tensão, formados por meio da junção de dois cristais semicondutores “dopados” com materiais distintos, sendo que um deles contém elétrons em excesso (semicondutor do tipo N) e, o outro, lacunas em excesso (semicondutor do tipo P). Em condições normais, os elétrons livres do semicondutor do tipo N preenchem as lacunas do material do tipo P, criando uma banda de isolamento entre os dois materiais, denominada banda proibida, conforme mostrado na Figura 12

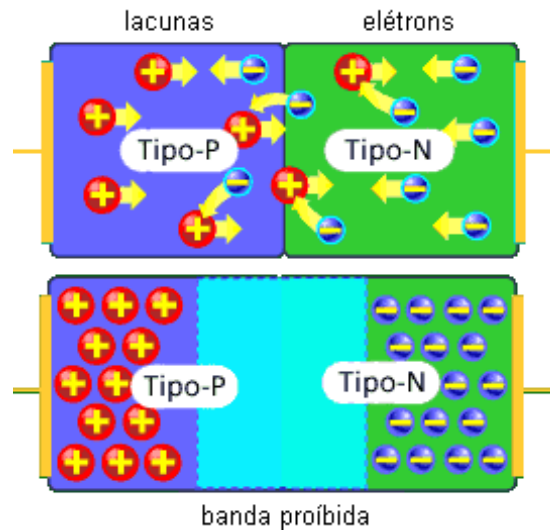


Figura 12- Junção pn e banda proibida (9)

Fonte: HowStuffWork (Adaptado)

Aplicando-se uma tensão nos terminais da junção p-n, a banda proibida se desfaz, surgindo uma corrente elétrica que flui através da junção, com os elétrons movendo-se num sentido e as lacunas em sentido contrário. Os elétrons livres possuem níveis de energia mais elevados que os das lacunas e, por isto, a combinação de um elétron com uma lacuna resulta na liberação de uma quantidade de energia emitida como radiação luminosa na forma de uma partícula sem massa (8), denominada fóton, conforme ilustrado na Figura 13

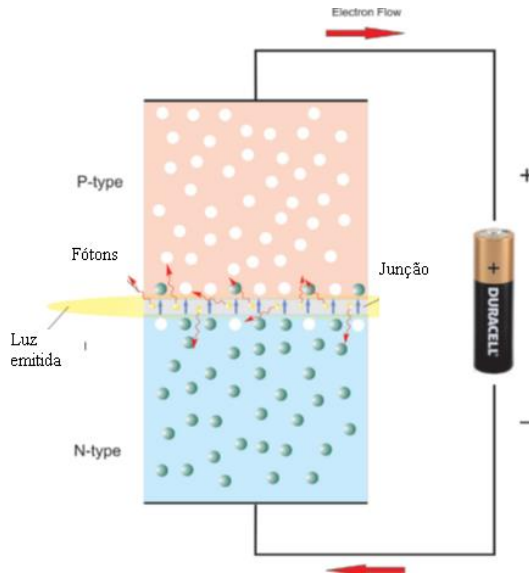


Figura 13–Liberação do foton (17)

Fonte: HowStuffWork (Adaptado)

3.2 Características

A energia gerada em um LED é dissipada como luz e calor. A luz é emitida a partir do chip semiconductor e irradiada em todas as direções, porém, não irradiam calor como em uma lâmpada convencional. O calor gerado é retido no interior do LED e deve ser eliminado através do dissipador de calor evitando falhas no mesmo. Os LED's não emitem radiação IV (Infravermelho) ou UV (Ultra-Violeta) na luz visível.

Um LED de potência apresenta uma construção mais complexa que o modelo convencional, garantindo um melhor desempenho em aplicações que necessitam de maior confiabilidade. Seu principal componente é o chip semiconductor, fixado a uma base de silício através de conexão por solda e encapsulado em silicone.

Além destes componentes, possui também fios de ouro para condução da corrente elétrica, aleta de dissipação de calor e terminais anodo e catodo.

Todo o conjunto é envolvido por uma lente plástica, que pode ser observado na Figura 14.

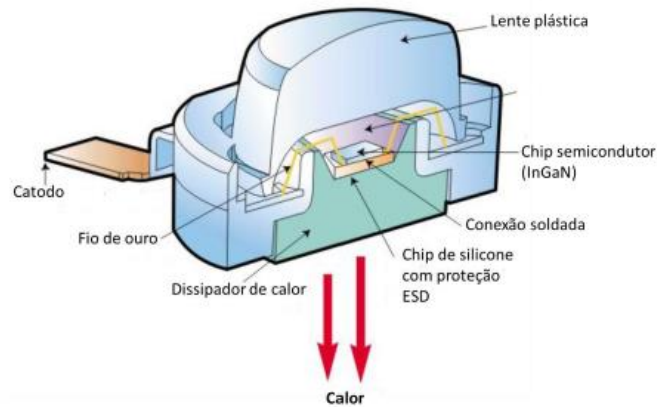


Figura 14-Componentes do LED

Fonte: LEDs na Iluminação Arquitetural (18)

Os materiais semicondutores utilizados para a construção dos LED's são Gálio (Ga), Arsênio (As), Índio (In), Fósforo (P), Alumínio (Al) e Nitrogênio (N) que combinados, produzem luz de diferentes cores e eficiências. As principais combinações de materiais são: AlInGaP (fosforeto de alumínio-índio-gálio) que produzem as cores vermelha e âmbar, e InGaN (nitreto de índio-gálio) que produzem as cores azul, verde e ciano. A radiação eletromagnética em comprimentos de onda é o que caracteriza a cor da luz emitida: comprimentos a partir de 380nm a 770nm são visíveis ao olho humano, como mostrado na Figura 15.

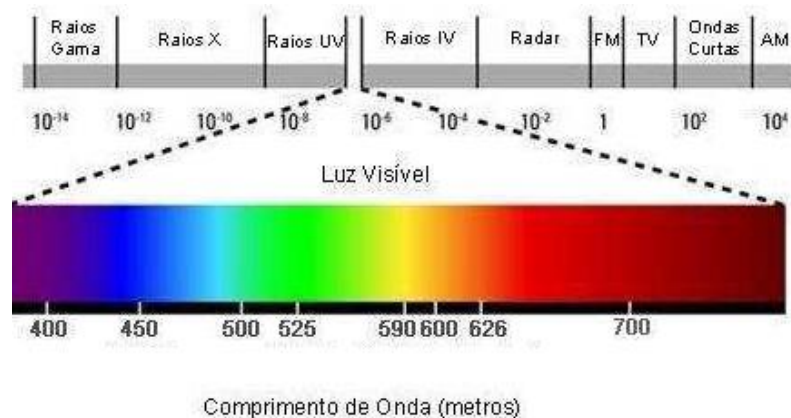


Figura 15-Espectro de luz visível (4)

3.3 LED de Luz Branca

Quando os LED's eram usados apenas como indicadores em equipamentos eletrônicos, uma palheta de cores com verde e vermelho era suficiente. E não era necessário que as cores de um indicador para outro fossem exatamente consistentes, mas com a adoção do LED para aplicações de iluminação, a precisão de cores se tornou algo fundamental.

Atualmente, projetistas de sistemas de iluminação para uso comercial e residencial têm que ser capazes de precisar a cor de determinada fonte luminosa e estarem seguros de que a cor é consistente com a de outra fonte luminosa.

Ao contrário de incandescentes e fluorescentes, o LED não é uma fonte de luz branca. Pelo contrário, emitem luz monocromática, fazendo com que sejam altamente eficientes em aplicações como sinais de trânsito e sinais de saída de emergência. Contudo, para ser usado em iluminação geral, é necessária a produção de luz branca, que pode ser obtida por meio de dois métodos mais utilizados.

O primeiro método (RGB-LED), possui múltiplos chips de cada LED que emite um comprimento de onda diferente nas proximidades, para formar o amplo espectro de luz branca. A vantagem deste método é que a intensidade de cada LED pode ser ajustado para "afinar" o caráter da luz emitida. A maior desvantagem é o custo de produção elevado. (19) Como pode ser visto na Figura 16 abaixo.

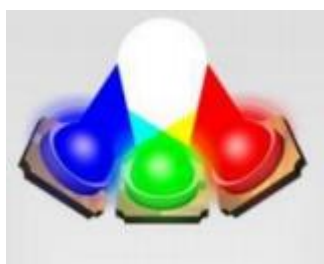


Figura 16- Método (RGB-LED) para criação de luz branca

O segundo método, LEDs de fósforo convertido (pcLEDs) usa um diodo emissor de ondas curtas (geralmente azul ou ultravioleta) em combinação com um fósforo, que absorve uma parte da luz azul e emite um amplo espectro de luz branca. O mecanismo é semelhante à

maneira como uma lâmpada fluorescente emite luz branca a partir de um fósforo aceso UV. A grande vantagem aqui é o baixo custo de produção e alto IRC (índice de reprodução de cor), enquanto que a desvantagem é a incapacidade de alterar dinamicamente o caráter da luz e do fato de que a conversão de fósforo reduz a eficiência do dispositivo, como pode ser visto na Figura 17 abaixo.

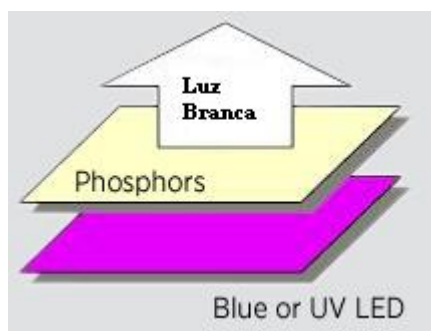


Figura 17- Método de obtenção de luz branca com uso de fósforo convertido e LED azul ou UV (20)

3.4 Vantagens

Assim como tudo que envolve tecnologias emergentes, encontramos dois grupos de usuários: os que resistem bravamente e buscam manter certa distância e os que rompem a barreira da “zona de conforto” e descobrem novas e poderosas ferramentas a serem exploradas.

Com o LED acontece o mesmo. Muitos ainda desconfiam de seu uso, mesmo admitindo que possui uma emissão de luz contagiante, e os que já descobriram que seu uso pode ser uma porta para novas oportunidades, agregando valor aos seus produtos/serviços com tecnologia e sustentabilidade ambiental. A seguir serão mostradas diversas vantagens de se adotar a tecnologia do LED, bem como algumas desvantagens que existem hoje em dia, mas que a cada dia estão se tornando menores.

3.4.1 Alto Rendimento Luminoso

O fluxo direcional das lâmpadas LED permite dirigir a luz à área desejada, incrementando consideravelmente a uniformidade lumínica e reduzindo manchas ou pontos escuros e a perda de iluminação entre as fontes de luz. Em consequência, se otimiza o uso da luz emitida, reduzindo-se o consumo de energia e a contaminação lumínica.

As lâmpadas LED têm um maior Rendimento Luminoso Útil (expresso em porcentagem de lumens por watt) do que as lâmpadas “economizadoras de energia” (CFL) ou as lâmpadas de vapor de sódio (HPS), tradicionalmente utilizadas nos sistemas de iluminação pública. Adicionalmente, as lâmpadas LED oferecem oito vezes mais iluminação que as obsoletas lâmpadas incandescentes.

3.4.2 Economia de Energia Extraordinária

As lâmpadas LED são extremamente eficientes e permitem economizar entre 60 e 90% se comparadas às lâmpadas incandescentes convencionais e de 10 a 20% se comparada às fluorescentes.

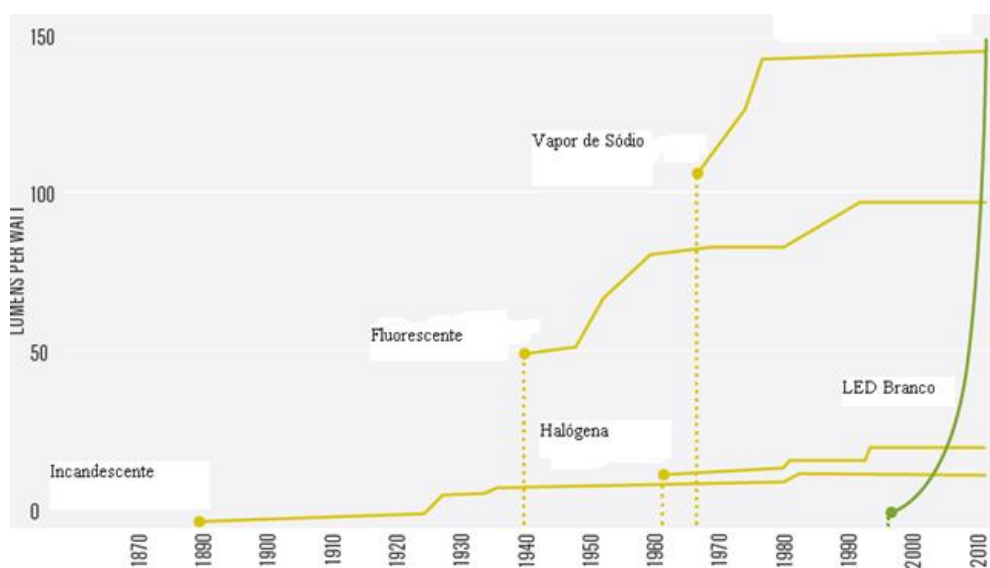


Figura 18-Eficiência das fontes luminosas atuais (21) Adaptado

3.4.3 Custo Mínimo de Manutenção

As lâmpadas LED, por motivo de sua longa vida, evitam interrupções do serviço, prejuízos e substituições constantes, oferecendo uma economia excepcional na manutenção. As lâmpadas LED resultam enormemente práticas naquelas aplicações em que é complicado ou custoso instalar e manter as luminárias, como por exemplo: as pontes, as estruturas de grande altura ou a iluminação de segurança. Apesar do custo inicial mais elevado, ao longo da vida útil temos um gasto menor do que incandescentes e fluorescentes que necessitam de manutenção e troca constante.

3.4.4 Grande Economia em Novas Instalações

As instalações novas se beneficiam de uma economia substancial no custo do fio de cobre, cuja espessura (diâmetro) é apenas uma fração do requerido por instalações de lâmpadas tradicionais (sódio ou vapor metálico), uma vez que a corrente necessária é menor.

3.4.5 Longa Vida Útil

As lâmpadas LED têm uma vida útil de mais de 40.000 horas (uma lâmpada ligada em média 8 horas diárias tem uma vida de 17 anos).



Figura 19-Comparação da vida útil das lâmpadas existentes no mercado (22)

3.4.6 Maior Segurança na Instalação e Operação

As luzes LED operam a baixa voltagem (<32 V) e geram um calor mínimo proporcionando segurança aos usuários durante sua instalação e operação, visto que a corrente solicitada é menor e a superfície da lâmpada é fria sendo que a parte quente fica atrás no seu dissipador de calor.

3.4.7 Maior Confiabilidade e Resistência Mecânica (ao impacto)

As luzes LED resistem a grandes variações de temperatura e a vibração, o que assegura a continuidade de operação. As lâmpadas LED não são frágeis e dificilmente se quebram, ao contrário de todas as outras lâmpadas convencionais, incandescentes, fluorescentes (econômicas), ou de descarga de alta intensidade, devido ao fato de não apresentarem filamentos, vidro e nem outras partes fáceis de serem quebradas.

3.4.8 Descarte ao final da vida útil

Luminárias e lâmpadas LED não contêm produtos químicos perigosos e cumprem integralmente as diretrizes de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS), o que limita o uso de chumbo, mercúrio e outros materiais perigosos em eletrônicos. Em contraste com lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas incandescentes podem liberar gases químicos perigosos quando quebrados, LEDs quebrados não representam nenhum risco particular para as pessoas ao seu redor. LEDs contêm traços de alguns metais diferentes, incluindo o cobre, chumbo, níquel e prata, mas não o suficiente para representar uma ameaça séria em contato. Pela presença de alguns metais não se recomenda descartar LED como lixo comum. Pode-se levar o LED quebrado ou desgastado para um centro de reciclagem ou de eliminação de eletrônicos, onde os componentes do LEDs serão reutilizados. Com uma vida útil de 50.000 horas, não haverá tempo para trocar as suas lâmpadas de LED para os próximos anos. Descobrir como eliminá-los de forma segura não é um problema imediato ou constante como é com a iluminação convencional. (25)

3.4.9 Alta Qualidade da Cor

As lâmpadas LED vêm numa ampla versatilidade de cores (reais), com um alto (IRC) Índice de Reprodução de Cores ($IRC > 80$). Adicionalmente, as luzes LED oferecem cores vivas, já que não precisam de filtros para criar luz de cor; como resultado, geram cores mais puras e profundas, sem desperdício de energia, como pode ser visto na Figura 20.

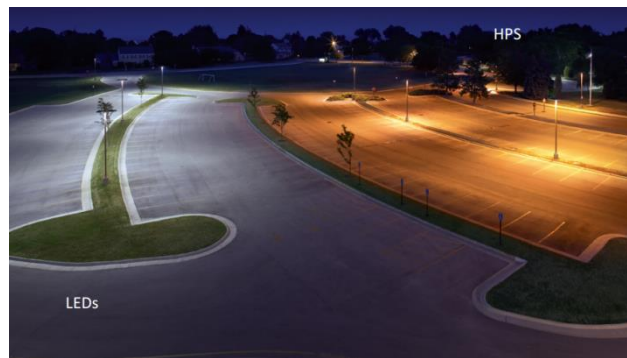


Figura 20-Diferença de cor entre Vapor de Sódio e LED (23)

3.4.10 Aplicações Gerais

Utilizada originalmente apenas em aplicações muito específicas (sinais luminosos), atualmente, a tecnologia e os sistemas de iluminação LED penetraram praticamente na totalidade do mercado mundial de iluminação geral, substituindo as tradicionais lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

3.4.11 Sistemas de Iluminação Inteligentes

A tecnologia LED é muito superior a todas as outras com respeito ao desenho de sistemas de iluminação inteligentes, para interiores e exteriores. De fato as luzes LED são ideais em aplicações que requerem reguladores de intensidade luminosa (dimmers), sensores volumétricos, timer, etc. A variação da intensidade luminosa, além de economizar energia, ao contrário de outras fontes de luz, favorece no aumento da vida útil dos LEDs. Os LEDs também oferecem a possibilidade de liga/desliga ilimitada, sem afetar seu desempenho e funcionamento.

3.4.12 Desenhos Fotométricos Inovadores

Os sistemas de iluminação LED para exteriores ou espaços abertos podem proporcionar um padrão regular do feixe de luz, com uma luminosidade uniforme. Também não produzem resplendor nem um efeito estroboscópico. Os LEDs oferecem extensas possibilidades de desenhos inovadores, luminárias que maximizam o rendimento dos sistemas de iluminação, graças ao tamanho reduzido e a sua geometria. Assim mesmo, por ser uma fonte de luz monocromática, sem geração de radiações ultravioletas ou infravermelhas, alcança uma saturação de cor e brilho maior que as lâmpadas convencionais.

3.4.13 Ligado Instantaneamente

Ao contrário das lâmpadas fluorescentes (econômicas) ou de sódio, as de LED têm um arranque rápido e não apresentam um atraso para alcançar um nível ótimo de iluminação e de temperatura da cor (inclusive com temperaturas de até -30 °C). Pelo qual, possibilitam a criação de efeitos tipo ‘flash’ (flashing).

3.4.14 Proteção do Patrimônio e da Natureza

Como as luzes LED produzem um calor mínimo, e não emitem raios ultravioleta ou infravermelho, podem ser usadas perfeitamente para iluminar prédios históricos, obras de arte ou vegetações sem risco de ocasionar danos.

3.4.15 Proteção do Meio-Ambiente

As lâmpadas LED são recicláveis e não contaminam o meio-ambiente. As lâmpadas fluorescentes e as de sódio contêm mercúrio; além do que as fluorescentes emitem ondas eletromagnéticas nocivas à saúde a uma curta distância (lâmpadas de escritório ou de cabeceira).

3.5 Desvantagens

3.5.1 Dependência de componentes importados

Apesar de já contar no Brasil com várias empresas que fabricam luminárias com LED, tais como, Philips, Sylvania entre outras, ainda dependemos da importação de diversos componentes que integram a lâmpada, como o chip semicondutor.

3.5.2 Investimento e retorno em curto prazo

Se compararmos de forma imediatista certamente o preço de uma luminária de LED pode desmotivar a sua compra. Porém, o investimento se paga em médio prazo como será mostrado mais a frente no Capítulo 6.

3.5.3 Adaptação de luminárias já existentes

Nem sempre a substituição imediata de uma lâmpada convencional por uma solução de LED é direta. No mercado encontram-se algumas soluções de “retrofit”, mas o ideal é quando é possível ajustar a solução de forma a conseguir um resultado final com o efeito desejado a um preço mais acessível.

3.5.4 Gerenciamento térmico

Os LEDs são sensíveis ao calor, porém altamente eficazes em ambientes frios, diferentemente das fluorescentes que perdem em durabilidade se mantidas em locais de baixa temperatura. Além disso os LEDs aquecem muito e precisam de um dissipador térmico para liberar o calor gerado no dispositivo. Apesar disso, eles não chegam a esquentar o ambiente. O desempenho do LED depende muito da temperatura de operação do conjunto, pois quando a temperatura aumenta no LED ocorre redução da saída de luz, redução da vida útil e alteração da temperatura de cor. Portanto, a dissipação térmica é o fator mais importante a ser estudado e desenvolvido para que o LED possa ter mais potência e fluxo luminoso sem diminuir sua durabilidade

3.6 Lei de Haitz

A lei de Haitz, nomeada em homenagem a Dr. Roland Haitz cientista aposentado da *Agilent Technologies*, diz que a cada década o custo por lúmen cai por um fator de 10 e a quantidade de luz produzida pelo LED aumenta por um fator de 20, como visto na Figura 21 para um determinado comprimento de onda. A Lei de Haitz pode ser comparada com a Lei de Moore, que diz que o número de transistores em circuitos integrados duplica a cada 18-24 meses.

Baseado na Lei de Haitz, os LED's irão se tornar a tecnologia predominante ganhando o espaço de outras fontes de iluminação tradicionais.

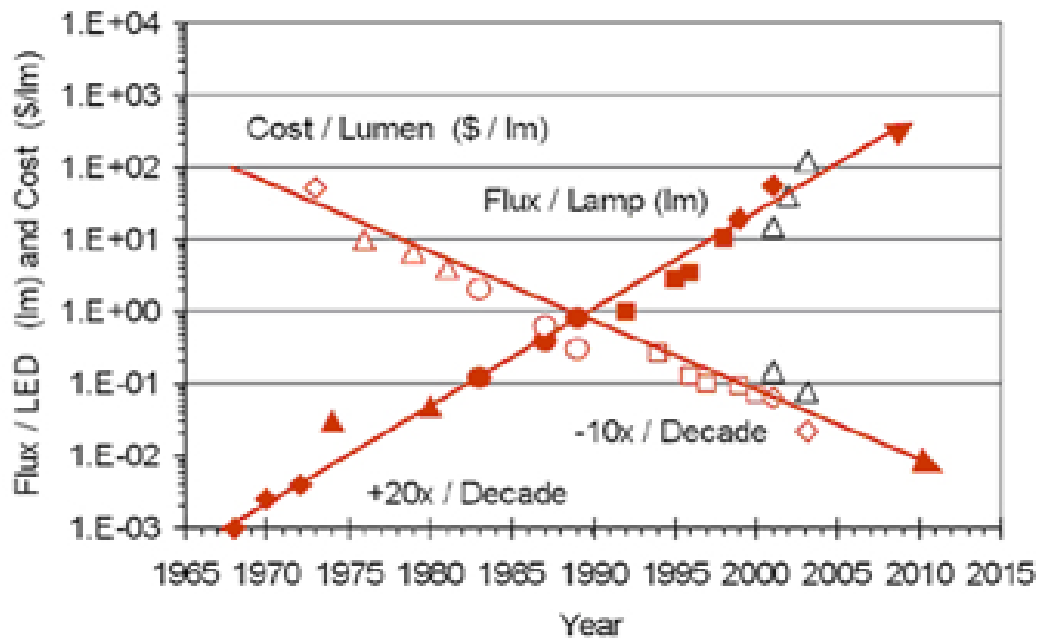


Figura 21 Lei de Haitz (24)

Em suma, isso fará com que os dispositivos com LED tornem-se cada vez mais eficientes, mais baratos, mais brilhantes e operem mais frios que os atuais.

3.7 Tipos de LED e suas aplicações (25)

Atualmente, os LEDs podem ser divididos em três categorias: LEDs de alto brilho LEDs indicativos e LEDs de potência.

Os LEDs indicativos são os mais antigos presentes no mercado e frequentemente usados nos aparelhos eletrônicos para sinalizar se está ligado ou desligado. Eles possuem um invólucro

colorido que tem a função de filtro óptico, ou seja, a cor do invólucro corresponde à cor da luz emitida pelo LED.

Os LEDs de alto brilho também conhecidos como HB-LEDs apresentam um fluxo luminoso e uma eficácia maior que a dos LEDs indicadores. Possuem um encapsulamento transparente, ou seja, não precisam de um filtro óptico devido ao fato de emitirem a luz com um comprimento de onda específico da cor desejada. São empregados em semáforos, letreiros de ônibus dentre outras possibilidades, substituindo as convencionais lâmpadas incandescentes.

Já os LEDs de potência trabalham com correntes superiores à dos LEDs indicadores e de alto brilho, além de operarem com potências iguais ou superiores a 1 W, o que torna necessária a utilização de um dissipador de calor. Apresentam um alto fluxo luminoso que contribui para a sua utilização em iluminação de interiores e decoração arquitetônica entre outras aplicações.



Figura 22-Tipos de LED na atualidade (25)

3.8 Outras Tecnologias de Iluminação (26)

3.8.1 OLED

Diodo orgânico emissor de luz ou fotoemissor (Organic Light-Emitting Diode, em inglês) é uma tecnologia criada pela Kodak em 1980 e que promete telas planas muito mais finas, leves

e baratas que as atuais telas de LCD. A ideia é usar diodos orgânicos, compostos por moléculas de carbono que emitem luz ao receberem uma carga elétrica. A vantagem é que ao contrário dos diodos tradicionais, essas moléculas podem ser diretamente aplicadas sobre a superfície da tela, usando um método de impressão. Acrescentados os filamentos metálicos que conduzem os impulsos elétricos a cada célula, está pronta uma tela a um custo extremamente baixo.

Uma das principais características da tela orgânica é que ela possui luz própria. Com isto não necessita de luz de fundo ou luz lateral (*backlight* ou *sidelight*) e ocupa menos espaço, dois fatores que tornam a tecnologia muito interessante para uso em computadores de mão e notebooks.

Além destas vantagens as telas OLED possuem baixos tempos de resposta (uma das principais desvantagens do LCD), podem ser visualizadas de diversos ângulos (até 180°), têm contraste muito melhor (de 1000:1 contra 100:1 das telas LCD no escuro), suportam melhor o calor e o frio, além de serem produzidas de forma mais simplificada e usando menos materiais do que os LCDs.

Alguns fabricantes preferem chamar a tecnologia OLED de OEL (*Organic Eletro-Luminescence*). Também usam o termo AMOLED para telas OLED de matriz ativa (*Active Matrix Organic Light-Emitting Diode*).

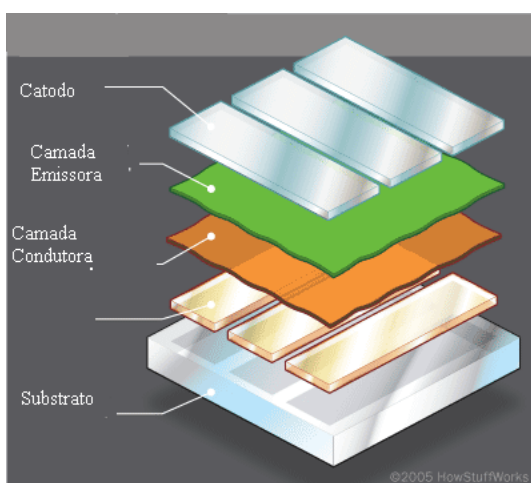


Figura 23-Estrutura de um OLED

Fonte: HowStuffWorks (9)

3.8.2 QDLED

Displays de nano cristal é um novo tipo de display experimental que usa nano partículas fluorescentes embutidas numa matriz polimérica. Um laser é então usado para irradiar luz branca através das nano partículas e, através do ângulo de deflexão, emitir luz no comprimento de onda correspondente às três cores primárias (verde, vermelho e azul).

A tecnologia de nano cristais está sendo estudada tanto para aplicação em telas convencionais (de televisores e laptops, por exemplo) quanto no desenvolvimento de uma "tela 3D", que possa exibir imagens volumétricas. (26)

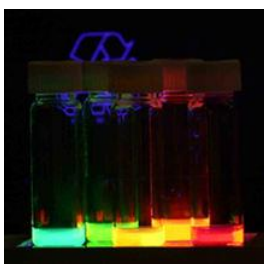


Figura 24-QLED (26)

3.8.3 FIPEL

O polímero eletroluminescente induzido por campo elétrico (FIPEL na sigla em inglês), também chamado de lâmpada de plástico, é um novo polímero desenvolvido por uma equipe encabeçada pelo cientista David Carroll, professor de física da Wake Forest University (Carolina do Norte), cuja principal característica é a de emitir luz quando atravessado por uma corrente elétrica alternada.

Outras vantagens deste material são a flexibilidade, a durabilidade (até 10 anos, de acordo com seu inventor) e o fato de produzir luz num espectro luminoso próximo ao do sol, ao contrário das lâmpadas fluorescentes convencionais que produzem uma luz azulada.

O material é produzido pela deposição em três camadas de um polímero plástico emissor de luz misturado a pequenas quantidades de nano material que brilha quando estimulado eletricamente.

Ao adicionar nano tubos de carbono à mistura, conseguiu-se otimizar a emissão de luz, em consequência da elevada condutividade elétrica deste material. Pode-se variar livremente os materiais dopantes de forma a conseguir luz de qualquer cor desejada (13).



Figura 25-Fipel no Laboratório (26)

Capítulo 4

4 O Mercado do LED e suas Projeções

O mercado de iluminação está passando por mudanças radicais, impulsionado pelo crescimento urbano exponencial esperado para as próximas décadas e direcionado cada vez mais para lâmpadas mais eficientes.

Esse mercado é impactado por diversos fatores sendo três deles particularmente importantes. O primeiro, a situação macroeconômica que tem influenciado novas construções e o número de novas instalações para iluminação. Segundo, as regulamentações de eficiência energética e uma maior consciência dos consumidores têm mudado o portfólio de lâmpadas atualmente. Por último, ações governamentais, que têm visado limitar certas fontes de energia, estando a nuclear em xeque após o desastre de Fukushima, bem como o banimento de lâmpadas incandescentes. Compreender esses fatores é fundamental para entender o mercado atual e possíveis mudanças no mercado de iluminação.

Os três maiores setores em iluminação são: iluminação geral, automotiva e *backlighting*. Sendo o primeiro deles o maior e podendo ser dividido em sete aplicações: residencial, escritórios, lojas, hospedagem (pousadas e hotéis), industrial, iluminação exterior e arquitetônica. O mercado de iluminação tem como projeção em 2020 ter um valor de mercado de mais de 100 bilhões de Euros com um crescimento anual de 4% de 2011 a 2016 e de 3% de 2016 a 2020 e o LED caminha pra se tornar o seu maior representante (27).

4.1 Iluminação Geral

Nesse trabalho será contemplado apenas o setor de iluminação geral, pois esse é o mais representativo, sendo o maior mercado de iluminação. Foi responsável por 44 bilhões de Euros em 2011, representando um total de quase 74% da participação do mercado de iluminação. Espera-se que em 2020 esse mercado atinja um valor de 88 bilhões de Euros e uma participação de 80%.

O mercado de iluminação geral tem dois propulsores principais: o forte crescimento de construções em países emergentes é um deles e o outro é uma maior penetração de fontes de iluminação mais caras, incluindo LED, que aumenta a média dos preços dos produtos do setor.

4.1.1 Iluminação arquitetônica

Esse setor representa a iluminação de prédios com integração artística de fontes de luz e elementos de arquitetura, podendo ser tanto funcional como decorativa e tanto exterior como interior. O primeiro segmento a adotar a tecnologia LED, sendo o setor onde o LED tem a maior participação, estimada em 46% em 2012 e com projeções de 74% em 2016 e cerca de 90% em 2020. (27)

4.1.2 Iluminação residencial

Representa o maior mercado de iluminação geral representando quase 40% do mercado. A participação do LED nesse nicho representou 13% em 2012 e espera-se uma participação de quase 40% em 2016, crescendo para mais de 70% em 2020. Esse crescimento acelerado se dá principalmente devido a um tempo de retorno de investimento mais rápido fruto da queda acentuada dos preços do LED. Espera-se que em alguns países, o preço do LED se torne competitivo com as Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC) já em 2014 (Departamento de Energia dos EUA), o que irá acelerar a transição para os LEDs. Além disso, regulamentações para banir fontes de luz ineficientes também irão contribuir para uma maior participação do LED no mercado de iluminação residencial. A previsão do mercado de iluminação residencial é de EUR 28 bi de euros em 2016 e EUR 32 bi em 2020 (27).

4.1.3 Iluminação de escritórios

O segundo maior segmento do mercado de iluminação geral representou cerca de 14% do mercado em 2011. Sendo a participação do LED de aproximadamente 11% em 2012. A previsão é de uma participação de mercado de 29% em 2016 e perto de 40% em 2020. Contudo, a entrada dos LEDs nesse segmento tem encontrado algumas barreiras, como o fato do setor ter uma grande quantidade de LFCs que já apresentam alta eficácia, logo os LEDs não podem assegurar a mesma economia que no setor residencial que conta com um grande número ainda de lâmpadas ineficientes como incandescentes. (27)

4.1.4 Iluminação exterior

O terceiro maior setor de iluminação geral representando mais de 12% em 2011. Ao contrário de outros setores, o de iluminação exterior está mais ligado a decisões governamentais e intervenções de políticas públicas. A participação do LED nesse mercado foi estimada em 9% em 2012, com projeções de 43% em 2016 e 74% em 2020. (27)

4.1.5 Iluminação em lojas

Esse setor consiste na iluminação de demonstração em lojas, decoração e iluminação de shoppings. A ampla variedade de produtos nesse setor requer diferentes tipos de iluminação. A participação do LED foi de 14% em 2012 com projeções de 44% em 2016 e 68% em 2020. (27)

4.1.6 Iluminação em hospedagem

Esse setor representa a iluminação de hotéis, bares, restaurantes e cinemas. Sendo o segundo que mais adota a tecnologia LED, seguido apenas do setor arquitetônico, com uma participação de 14% em 2012 e projeções de 43% em 2016 e 80% em 2020. (27)

4.1.7 Iluminação industrial

O segmento industrial é onde temos a adoção mais lenta do LED, estando em 6% em 2012. Espera-se um aumento na participação mais lenta que nos outros segmentos com projeções de 19% em 2016 e quase 40% em 2020. Como no setor de escritórios, a presença de lâmpadas relativamente eficientes dificulta a adoção do LED, porém algumas aplicações, onde as instalações sejam difíceis de alcançar e a manutenção seja cara, irão abrir caminho para uma maior adoção do LED. (27)

Na Figura 26 abaixo é possível ver a participação do LED nos diversos setores de iluminação geral e sua expectativa de crescimento.

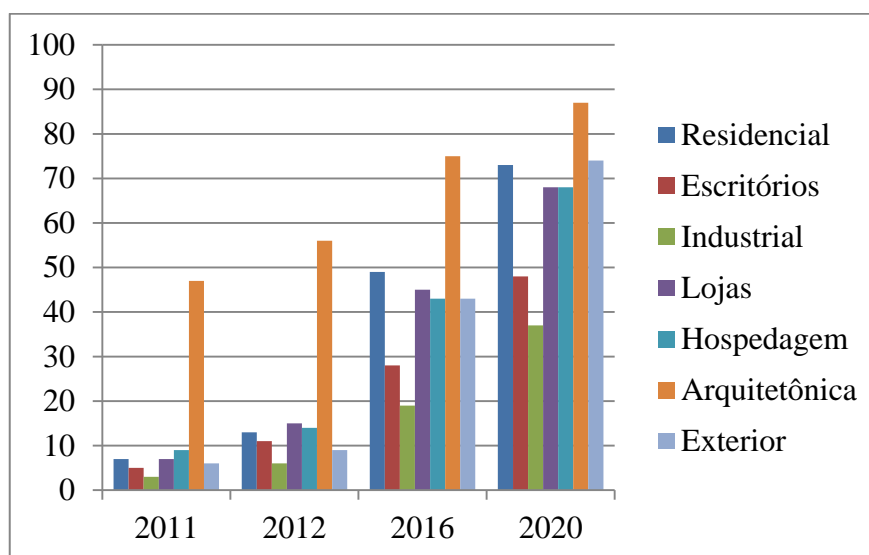


Figura 26-Participação do LED nos setores de iluminação geral no período 2011-2020

(27)

Fonte:McKinsey

4.2 Mercado do LED

4.2.1 Projeção do preço dos LEDs

O desenvolvimento do mercado de LED dependerá primordialmente da evolução dos preços. O custo do LED caiu substancialmente ao longo da última década enquanto o seu fluxo luminoso e sua eficiência têm subido. O preço do LED é normalmente medido em termos do custo por unidade do fluxo luminoso ou em reais por mil lumens. Pesquisas recentes mostram que o preço do LED de luz branca fria caiu de US\$13 para US\$6 por mil lumens de 2010 para 2011, uma queda de mais de 40%. (27)

Espera-se que os preços continuem caindo ao longo dos próximos cinco anos, ao passo que a demanda e a produção aumentem e inovações saiam dos laboratórios para as linhas de produção. O preço esperado em 2014 é de US\$2 por mil lumens [DOE], uma queda de 84% dos preços de 2010. Uma queda ainda mais acentuada nos preços é esperada para os LED de luz branca quente como pode ser visto na Tabela 2 abaixo. O preço dos dispositivos LED é somente uma parcela do preço total da lâmpada temos também os drivers eletrônicos e outros componentes mecânicos, óticos e elétricos para se levar em consideração. Mesmo assim a queda no preço da tecnologia LED fará com que seu preço esteja em paridade com outras tecnologias entre 2014 e 2020 (28)

Embora caindo rapidamente o custo inicial das lâmpadas e luminárias LED ainda é alto se comparado a outras lâmpadas convencionais. Estima-se que o preço de uma lâmpada LED seja 12 vezes maior do que de uma incandescente e 3 vezes maior que uma fluorescente numa comparação de lumens por watt. Esse preço inicial elevado é uma barreira para a adoção em massa do LED em tempos de crise econômica. Porém é o custo total ao longo da vida que determina os benefícios econômicos ao usuário, quando se leva em conta a economia ao longo da vida útil do produto, o LED já é competitivo em diversas áreas. Uma política governamental de apoio em nível nacional, municipal e estadual é de suma importância para que o LED consiga atingir preços altamente competitivos e torne sua adoção em massa possível. Tecnologias novas têm custos elevados, pois não são produzidos em escala e pela falta de apoio. Mecanismos de agregação de mercado e políticas de subsídios têm sido

adotados com sucesso em países como EUA, China, Canada, Japão e também na Europa, o que tem ajudado o LED a se tornar competitivo.

Tabela 2- Preço e eficiência do LED atual e sua projeção para os próximos anos (28)

Tipo de LED	2010	2012	2015	2020
Eficácia LED Branco Frio(lm/watt)	134	176	224	258
Preço LED Frio(US\$/klm)	\$13	\$6	\$2	\$1
Eficácia do LED de Branco Quente(lm/watt)	96	141	202	253
Preço do LED de Branco Quente(US\$/klm)	\$18	\$7.5	\$2.2	\$1

Atualmente, nas lâmpadas LED, o maior custo é proveniente do pacote LED, porém é estimada uma queda de mais de 70%, chegando a US\$2.14 nos próximos anos, o que representará 19% do custo total dos bulbos, ao contrário dos 35% de hoje (29). Contudo, para assegurar preços menores e uma adoção em massa em um mercado ainda dominado por lâmpadas incandescentes e fluorescentes, é necessário que os preços de outras partes do LED também caiam, como é o caso dos drivers e dos dissipadores de calor.

Atualmente, o mercado do LED é de aproximadamente US\$13 bilhões, sendo seus maiores representantes o setor de iluminação geral e de *backlighting* (televisores, celulares, notebooks, etc.), com previsão do crescimento do setor de iluminação que representará mais de 70% do mercado do LED e com uma queda acentuada do setor de *backlighting* devido à maior utilização da tecnologia OLED nesse setor, como pode ser visto na Figura 27.

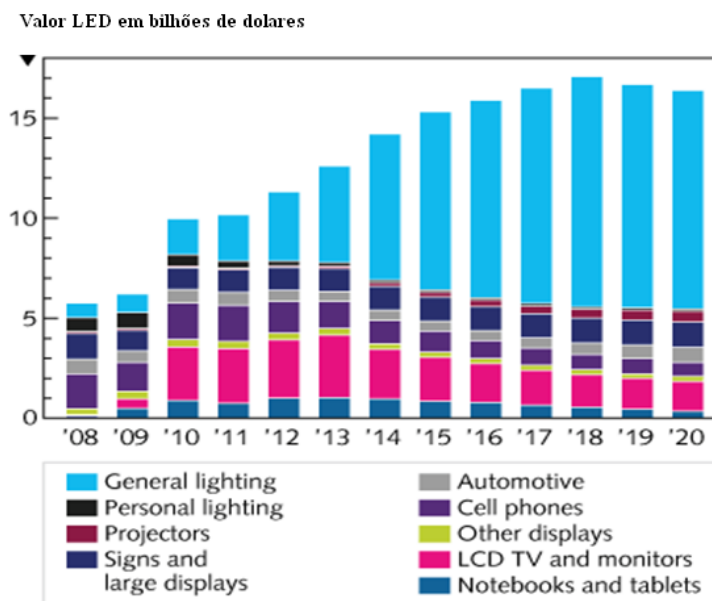


Figura 27- Evolução do mercado de led

Fonte: Yolé Development

4.2.2 Preço das lâmpadas fluorescentes

Em 2010, o governo chinês deu um susto no mundo. Sem aviso, restringiu as exportações de terras-raras, impondo cotas e elevando impostos. O país argumentou que queria proteger o meio ambiente e poupar um recurso natural finito. Na realidade, a ideia era favorecer sua própria indústria de tecnologia. É mais lucrativo vender aparelhos de alta tecnologia (que contêm terras-raras processadas), do que exportar a matéria-prima bruta. Com a procura em alta e a oferta em baixa, o preço disparou, como pode ser visto na Figura 28.



Figura 28-Aumento dos preços do metais de terra-rara (30)

Com a crise iniciada em 2010, diversos países se mobilizaram para ressuscitar a exploração local de terras-raras. Entre outras medidas, ofereceram incentivos financeiros às mineradoras e relaxaram as exigências para a concessão das licenças ambientais. Os americanos e os australianos foram os mais ágeis.

Os EUA reativaram uma gigantesca mina na Califórnia, depois de uma década abandonada. A produção americana, nula em 2011, chegou a 7 mil toneladas em 2012. Na Austrália, entre um ano e outro, a extração pulou de 2.200 para 4 mil toneladas. Como comparação, a China chegou a 100 mil toneladas no ano passado. Em outra frente, o governo do Japão deu estímulos para que sua indústria automobilística criasse formas de reciclar terras-raras.

O Brasil também sentiu os efeitos da política restritiva da China. As dificuldades para obter a matéria-prima chegaram a ameaçar a fabricação nacional de catalisadores para refino de petróleo — o petróleo é um dos grandes motores da economia brasileira. Foi então que o governo se mobilizou.

Ao elaborar o Plano Nacional de Mineração 2030, o Ministério de Minas e Energia incluiu as terras-raras entre as prioridades do país para as próximas duas décadas. O Serviço Geológico do Brasil, que é ligado ao ministério, recebeu a ordem de localizar novas jazidas.

Atualmente, a China lidera a produção mundial, com 87% do mercado. O Brasil, que já foi líder global neste setor, produz apenas 0,28%. Diante da hegemonia chinesa e dos entraves à

exportação impostos pelo país no ano passado, outras nações, como Estados Unidos, Austrália e Índia, voltaram a investir na exploração desses elementos.



Figura 29-Produção de minerais de terra-rara no mundo (30)

Esse aumento no preço dos minerais de terra rara pode fazer com que o LED ganhe espaço mais rapidamente devido ao aumento do preço das lâmpadas fluorescentes.

4.3 Mercado de iluminação brasileiro

O início da retirada das lâmpadas incandescentes do mercado no início do segundo semestre deste ano, cujo desfecho está previsto para acontecer em dezembro de 2016, marca o encerramento de um episódio da história da iluminação no Brasil. Mais do que uma discussão com enfoque tecnológico, ela reflete uma mudança de comportamento do homem frente aos recursos naturais, que tem forçado as indústrias a redefinirem seu direcionamento de negócios e ações para atender a demanda de um consumidor cada vez mais consciente de seu papel na preservação do planeta.

No caso específico do valor que era atribuído à lâmpada incandescente, poderíamos questionar se o seu domínio absoluto do mercado nacional teria sido mais longo, se não tivéssemos passado pelo episódio do apagão de 2001. O Brasil, ao contrário de muitos países, apresenta um maior número de lâmpadas fluorescentes em comparação ao número de incandescentes o que pode ser entendido pelo episódio mencionado acima do racionamento em 2001. Na Figura 30, é possível ver a distribuição das lâmpadas no mercado brasileiro. O

problema estrutural enfrentado pelo país na ocasião, talvez, antecedeu o que viria se tornar uma tendência mundial. Os fóruns mundiais que começaram a colocar na pauta do dia a preocupação com a preservação do meio ambiente afetaram todos os tipos de negócios e as formas de geri-los. Os segmentos ligados ao consumo de recursos naturais, obviamente, foram os mais afetados e, no caso dos fabricantes de lâmpadas, a temática teve ainda mais abrangência por afetar diretamente a vida das pessoas e a manutenção de seus lares.

Após o debate em torno da entrada das lâmpadas fluorescentes compactas no mercado, que passaram a ser conhecidas como lâmpadas econômicas – numa nítida atribuição de valor, que tinha como referência a obsolescência da incandescente e o crescimento de consumo das mesmas em torno de 20% ao ano nos últimos 11 anos, assistimos consolidar uma nova forma de comportamento do consumidor. Mais consciente, este já não questiona se é mesmo necessário substituir as incandescentes, mas quer saber quais as alternativas tecnológicas que oferecem mais vantagens econômicas, o que é melhor para o meio ambiente, o que valoriza seus espaço e o tipo de uso que se faz do mesmo.

Esta mudança de comportamento é refletida no varejo, que teve de se reinventar para se adaptar às demandas deste consumidor mais consciente. Nas lojas de material elétrico e de construção nunca se deu tanto espaço às lâmpadas. Estes fatores talvez expliquem o sucesso que a tecnologia LED vem fazendo junto ao consumidor. Isto porque o consumidor já tem interiorizado os valores despertados pelo apagão. (31)

Na Figura 31 é possível a projeção das lâmpadas para o mercado brasileiro para o ano de 2020.

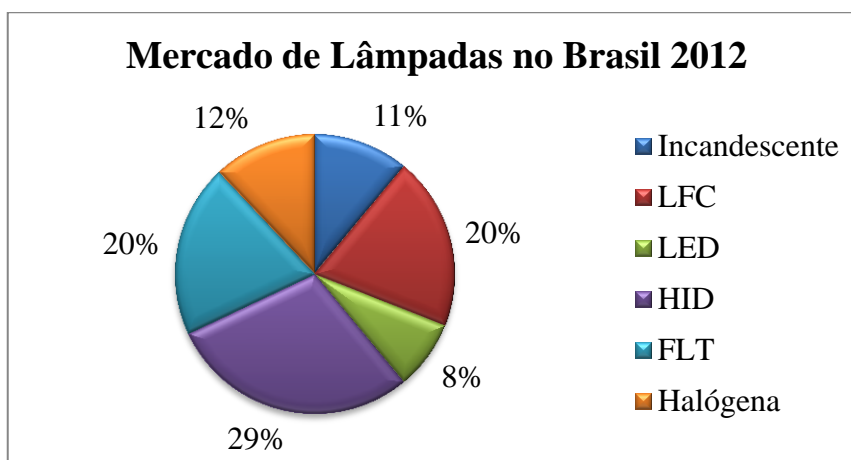


Figura 30- Distribuição dos tipos de lâmpada no Brasil (2012) (Adaptado) (27)

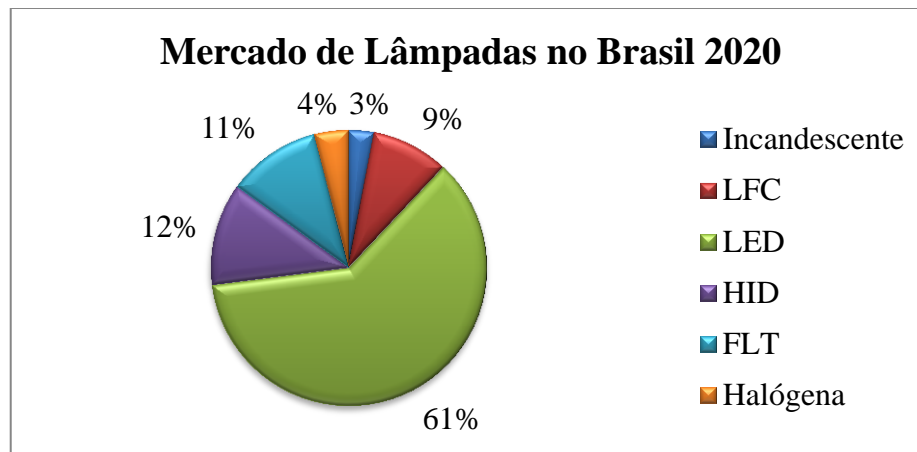


Figura 31- Distribuição dos tipos de lâmpada no Brasil (2020)(Adaptado) (27)

Vemos então, que as projeções são bem otimistas para o LED, que responderá por mais de 60% de toda a iluminação do Brasil. Destaca-se também, a queda acentuada das lâmpadas incandescentes, halógenas e de descarga.

Capítulo 5

5 Avaliação do ciclo de vida da lâmpada LED e suas principais concorrentes

Nesse capítulo será feita uma avaliação do ciclo de vida para as lâmpadas LED, LFC e incandescentes mostrando um comparativo do impacto ambiental causado por cada uma ao longo de seu ciclo de vida. Como no Brasil existe uma carência de fontes relativas a esse tema será utilizado como base um estudo realizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

5.1 Estudo do ciclo de vida

Avaliação do ciclo de vida (ACV) ou "análise ambiental do ciclo de vida" é uma técnica que permite a quantificação das emissões ambientais ou a análise do impacto ambiental de um produto, sistema, ou processo. Essa avaliação é feita sobre toda a "vida" do produto ou processo, desde o seu início (por exemplo, desde a extração das matérias-primas no caso de um produto) até o final da vida (quando o produto deixa de ter uso e é descartado como resíduo), passando por todas as etapas intermediárias (manufatura, transporte, uso). O procedimento geral para conduzir uma análise de ciclo de vida de acordo com as regras da série ISO (*International Organization for Standards*) 14000. As fases principais de uma ACV são: definição do escopo e objetivo, análise de inventário de ciclo de vida (*Life cycle inventory* - LCI), avaliação do impacto de ciclo de vida (*Life cycle impact assessment* - LCIA) e interpretação dos resultados.

5.2 Visão geral de uma ACV

As quatro fases primárias de uma ACV envolvem iterações de interpretação e revisão. O diagrama abaixo ilustra esses aspectos fundamentais do processo e uma breve descrição de cada um deles é dada abaixo.

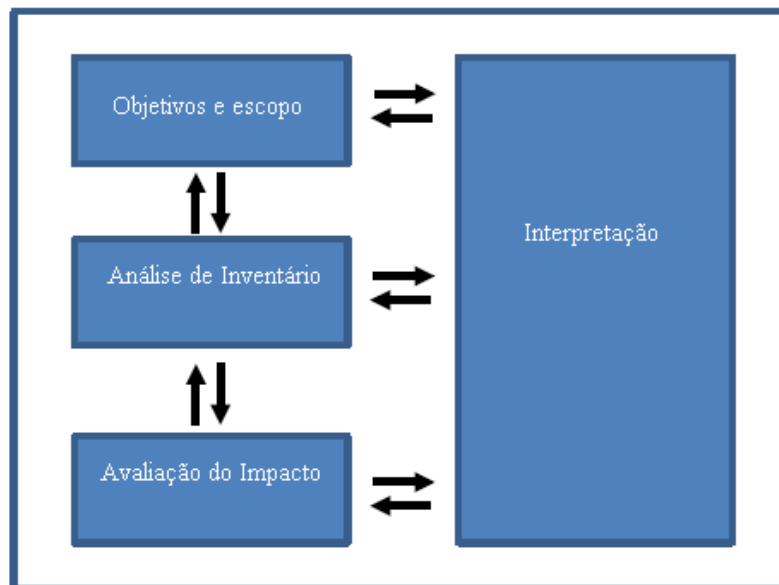


Figura 32-Diagrama de uma ISO (Adaptado)

Fonte: ISO 14044:2006 (31)

5.2.1 Definição do escopo e objetivo

Essa primeira fase de uma ACV se resume em especificar o objetivo e o escopo do estudo. O objetivo tem quatro aspectos essenciais: (1) a aplicação pretendida do estudo (por exemplo, marketing, desenvolvimento de produtos, planejamento estratégico); (2) o propósito do estudo (ser publicado ou usado internamente); (3) o público alvo, incluindo acionistas, executivos, consumidores; e (4) uso como uma análise comparativa, onde os resultados da ACV são usados em comparação a outros produtos.

5.2.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)[(33)]

Dentro da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é uma fase na qual efeitos ou cargas ambientais gerados por um produto ou atividade durante o ciclo de vida são identificados e avaliados, quantificando-se as entradas e saídas para o ambiente do sistema de produto investigado.

5.2.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Essa etapa é dirigida ao entendimento e à compreensão da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do ciclo de vida do produto

5.2.4 Interpretação

Fase da ACV na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são avaliadas com relação ao objetivo e escopo definidos a fim de se chegar a conclusões e recomendações.

5.3 Indicadores do impacto no ciclo de vida

Nesta seção serão demonstrados os indicadores que foram utilizados nesse estudo. Num total de 15 que podem ser vistos na Tabela 3 abaixo. Após a tabela, será dada uma breve descrição de cada um deles. Esses impactos foram divididos em: impacto no ar/clima, água, solo e impacto nos recursos.

Tabela 3-Indicadores de impacto do ciclo de vida (28)(Adaptado)

Abreviação	Nome	Indicador	Unidade
PAG	Potencial de Aquecimento Global	Emissão de Gases do Efeito Estufa	kg CO2-eq
PA	Potencial de Acidificação	Poluição do Ar	kg SO2-eq
PCFO	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio	Poluição do Ar	kg O3 formado
PDCO	Potencial de Destruição da Camada de Ozônio	Poluição do Ar	kg CFC11-eq
PTH	Potencial de Toxicidade Humana	Toxicidade	kg 1,4-DCB-eq
PEA	Potencial de Ecotoxicidade da Água	Poluição da Água	kg 1,4-DCB-eq
PEVM	Potencial de Ecotoxicidade da Vida Marinha	Poluição da Água	kg 1,4-DCB-eq
PE	Potencial de Eutrofização	Poluição da Água	kg PO4-eq
UT	Uso da Terra	Uso da Terra	m ² a
PDE	Potencial de Dano ao Ecossistema	Impactos na Biodiversidade	pontos
PET	Potencial de Ecotoxicidade Terrestre	Degradação\contaminação do solo	kg 1,4-DCB-eq
DA	Depleção Abiótica	Depleção dos Recursos	Kg Sb-eq
RLNP	Resíduos de Lixo Não Perigoso	Lixo não-perigoso	Kg de lixo
RLR	Resíduos de Lixo Radioativo	Lixo Contaminado	Kg de lixo
RLP	Resíduos de lixo Perigoso	Lixo Contaminado	Kg de lixo

Na Tabela 3, a coluna mais a direita mostra as unidades desses indicadores ambientais. A abreviação ‘eq’ significa equivalente e é usado quando mais de um poluente puder causar um efeito particular. Por exemplo, o aquecimento global é atribuído a vários gases, incluindo dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), contudo as emissões são dadas em kg de CO₂

equivalentes. Nessa base, o CO₂ tem um potencial de efeito global de 1, porém um quilo de metano tem um potencial de 24, o que mostra que o metano tem um potencial de 24kg de CO₂. Usar valores equivalentes simplifica as comparações em uma ACV.

Os 15 indicadores usados para avaliar o impacto das lâmpadas ao meio ambiente serão brevemente resumidos abaixo. (28)

5.3.1 Potencial de Aquecimento Global

Esse indicador é uma medida das atividades associadas com o ciclo de vida do produto que altera a composição química da atmosfera através do acúmulo de gases do efeito estufa, principalmente dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Ao passo que a concentração desses gases aumenta, a sua propriedade de reter calor da atmosfera terrestre também aumenta levando a uma mudança no clima e impactos ambientais associados.

5.3.2 Potencial de Acidificação

Esse indicador é a medida da poluição do ar, principalmente amônia, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio que é causado pela ação de produtos que contribuem para o depósito de substâncias ácidas.

5.3.3 Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio

Esse é um indicador da quantidade de *smog* gerado durante o ciclo de vida do produto. Algumas fontes incluem motores de combustão interna de automóveis, a maior utilização de combustíveis fósseis para aquecimento, a indústria e transporte. Essas atividades levam a emissão de dois poluentes primários principais: compostos orgânicos voláteis (COV) e óxidos de nitrogênio. Quando interagem com a luz solar esses poluentes se convertem em vários compostos químicos perigosos conhecidos como poluentes secundários – peróxido de acetil

nitrato e ozônio troposférico. Esses poluentes secundários geram o que é conhecido como *smog* urbano.

5.3.4 Potencial de Destruição da Camada de Ozônio

Esse indicador se refere ao potencial de destruição da camada de ozônio. Embora ozônio ao nível do solo (troposférico) seja um poluente, o ozônio estratosférico é benéfico, protegendo a terra de quantidades excessivas de luz ultravioleta. A camada estratosférica de ozônio é atacada por radicais livres, alguns produzidos pelo homem como os clorofluorcarbonos (CFC) que eram muito utilizados em aerossóis e como fluídos refrigerantes.

5.3.5 Potencial de Toxicidade Humana

Esse indicador tem como função tentar quantificar as emissões no ar, solo e na água que possam ser prejudiciais a saúde humana. Os fatores toxicológicos são calculados usando estimativas científicas de níveis diários aceitáveis/toleráveis de substâncias tóxicas. Sua unidade é o 1,4 diclorobenzeno uma substância cancerígena.

5.3.6 Potencial de Ecotoxicidade da Água

Similar ao indicador de toxicidade humana, porém associado as concentrações de diferentes substâncias tóxicas no ecossistema aquático.

5.3.7 Potencial de Ecotoxicidade da Vida Marinha

Análogo ao indicador acima, porém relativo a vida marinha.

5.3.8 Potencial de Eutrofização

Embora nitratos e fosfatos sejam essenciais a vida humana , grandes concentrações podem levar a um crescimento excessivo de algas, reduzindo o oxigênio disponível na água danificando o ecossistema. Esse fenômeno recebe o nome de eutrofização.

5.3.9 Uso da Terra

A utilização da terra é uma atividade econômica que traz grandes benefícios à sociedade, mas que também leva a impactos no meio ambiente. Esse indicador demonstra o impacto tanto na área envolvida como também o número de anos ao longo dessa ocupação.

5.3.10 Potencial de Dano ao Ecossistema

A biodiversidade tem sido influenciada negativamente pela intensa utilização da agricultura, desmatamento e pelo aumento das áreas urbanas e infraestrutura. Esse indicador tenta mostrar em números esse impacto.

5.3.11 Potencial de Ecotoxicidade Terrestre

Muito similar ao anterior, porém mostra as concentrações máximas toleráveis de diferentes substâncias tóxicas para organismos terrestres.

5.3.12 Depleção Abiótica

É sabido que os níveis atuais de consumo de recursos é insustentável. Recursos abióticos são naturais e são limitados, recurso como minério de ferro, óleo cru e gás natural, ao contrário de

fontes renováveis como biomassa. Sua unidade é dada em quilograma equivalente de antimônio que é um elemento relativamente escasso.

5.3.13 Resíduos de Lixo Não Perigoso, Resíduos de Lixo Radioativo e Resíduos de lixo Perigoso

Todos esses indicadores visam quantificar a quantidade de material mandada para o lixo divididos em três categorias: lixo não perigoso, perigoso e radioativo.

5.4 Avaliação dos Resultados

Será avaliado qual estágio do ciclo de vida das lâmpadas são significantes no que tange os impactos ambientais e quais podem ser desprezados. Para cada tipo de lâmpada os impactos são calculados separadamente para as fases de extração de matéria prima, manufatura, transporte, o consumo durante sua vida útil e por último o seu descarte no fim de sua vida. As figuras e tabelas a seguir mostrarão os resultados da ACV para cada tipo de lâmpada , evidenciando o gasto em cada estágio de sua vida. Os valores estão normalizados para representar um consumo de 20 milhões de megalumen-horas de luz que corresponde a uma lâmpada LED de 12.4W ao longo de sua vida útil.

5.4.1 Incandescente

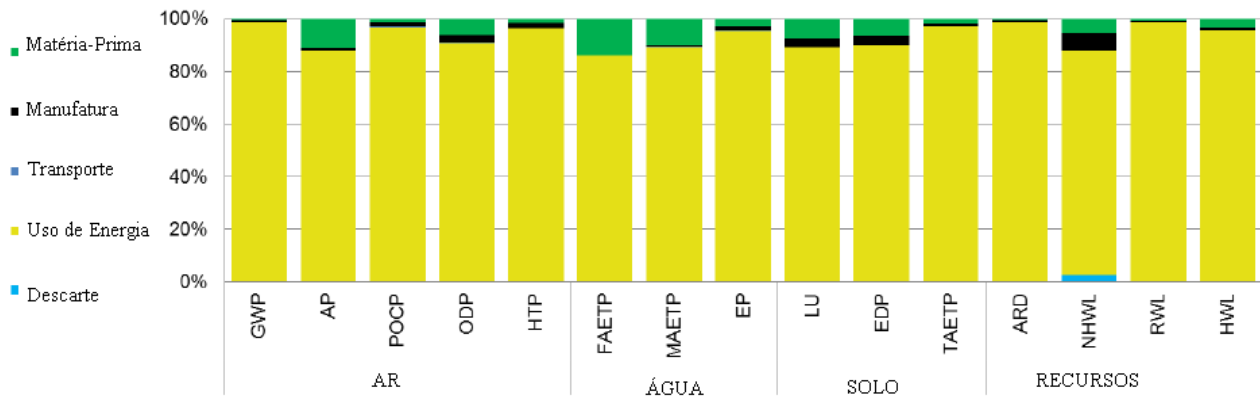


Figura 33-Distribuição dos impactos ambientais da incandescente de 60W (28)

5.4.2 Fluorescente compacta

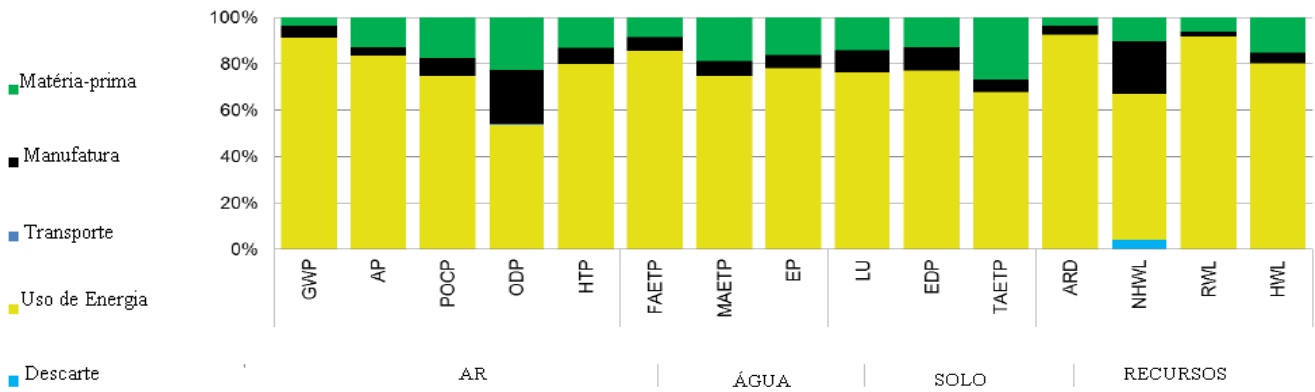


Figura 34- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada fluorescente compacta (28)

5.4.3 Lâmpada LED 2012

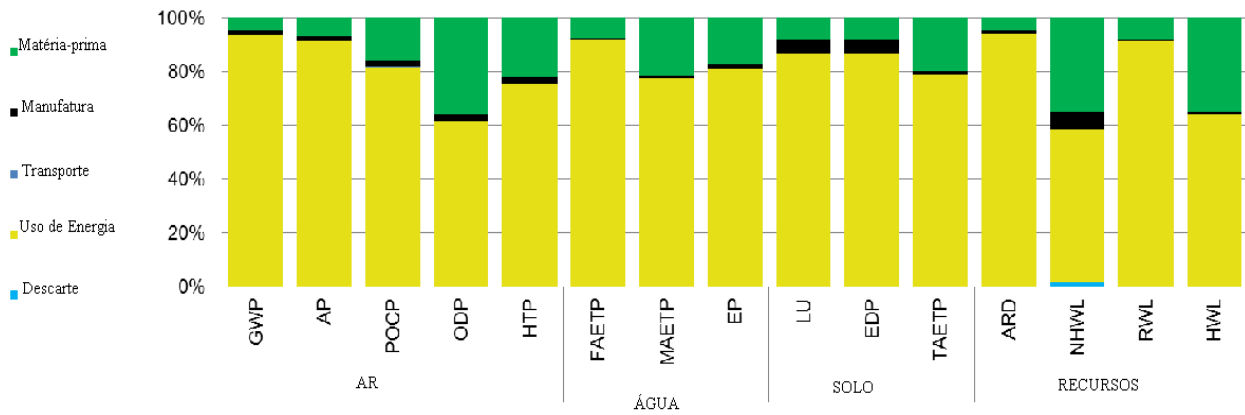


Figura 35- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada LED (2012) (28)

5.4.4 Lâmpada LED 2017

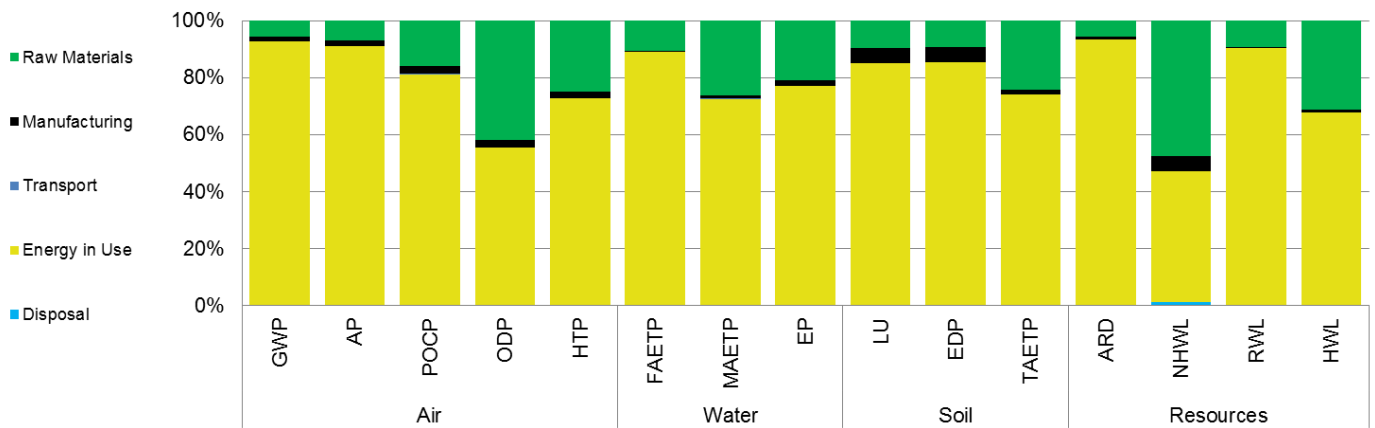


Figura 36- Distribuição dos impactos ambientais da lâmpada LED (2017) (28)

5.5 Discussão sobre o resultado da ACV

Os resultados das 4 análises anteriores nos mostra claramente que o fator que domina a maioria dos indicadores considerados é ‘a energia em uso’, que é representado pelas colunas amarelas nas figuras acima. A proporção do impacto atribuído a energia em uso é particularmente alto para a lâmpada incandescente de 60 watts, onde representa 93% do 15 impactos ao longo da vida da lâmpada. O próximo estágio que mais afeta o meio ambiente é o da extração de matérias-primas que constitui quase 5% do impacto total. Manufatura é o terceiro mais significativo representando quase 2% do total. Os outros dois fatores –descarte e transporte , constituem 0.2% e 0.1% respectivamente, sendo praticamente desprezíveis.

Para simplificar o que foi mostrado nesse capítulo serão mostrados dois gráficos tipo aranha, onde cada linha radial representa um indicador de impacto ambiental e esses impactos estão divididos em 4 categorias : ar (laranja), água (azul), solo (verde) e recursos (amarelo). Para cada impacto , a lâmpada que tiver o maior impacto será plotada na circunferência externa e as outras lâmpadas serão normalizadas para esse impacto. Portanto, a distância do centro do gráfico representa a severidade do impacto relativo a pior lâmpada. Logo quanto mais perto do centro menor o impacto.

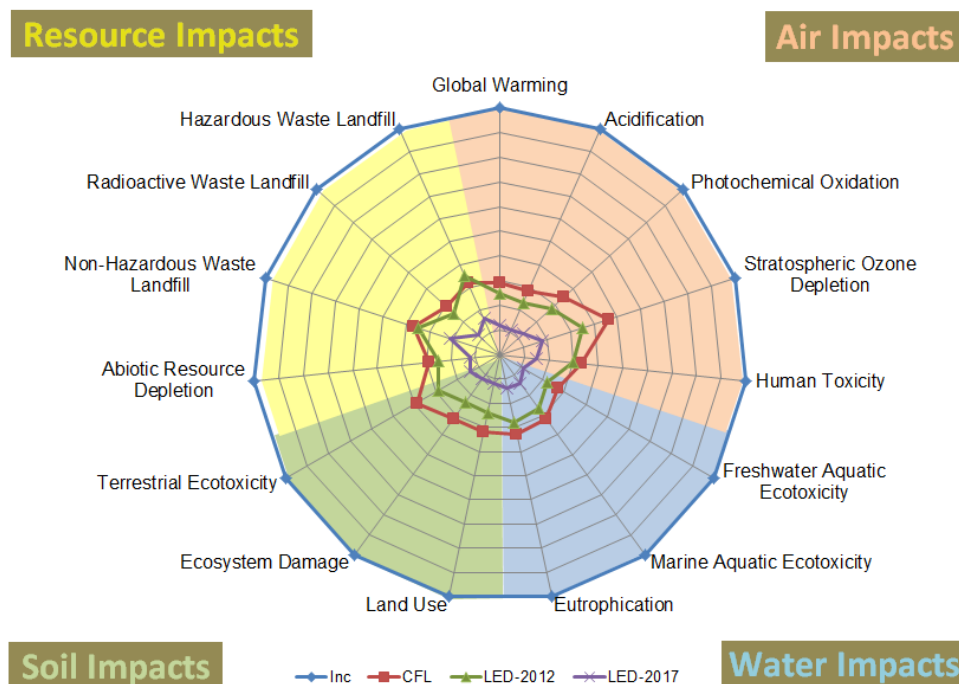


Figura 37-Gráfico comparativo dos impactos normalizado pela incandescente (28)

Fica claro da Figura 37 que a lâmpada incandescente apresenta o maior impacto de todas as lâmpadas consideradas (ocupa todos os pontos mais externos do gráfico). Este resultado é intuitivo, pois esta lâmpada possui a menor eficácia de todas consideradas e o uso de energia já havia sido identificado como o indicador mais significativo de impacto ambiental. Em todos os indicadores, com exceção de um (resíduo de lixo perigoso), a segunda pior lâmpada é a fluorescente, seguida pela LED em 2012 e pela LED 2017.

A Figura 38 a seguir, mostra uma comparação entre a fluorescente e as LEDs, tendo a incandescente sido removida. O gráfico agora está normalizado de acordo com a fluorescente compacta.

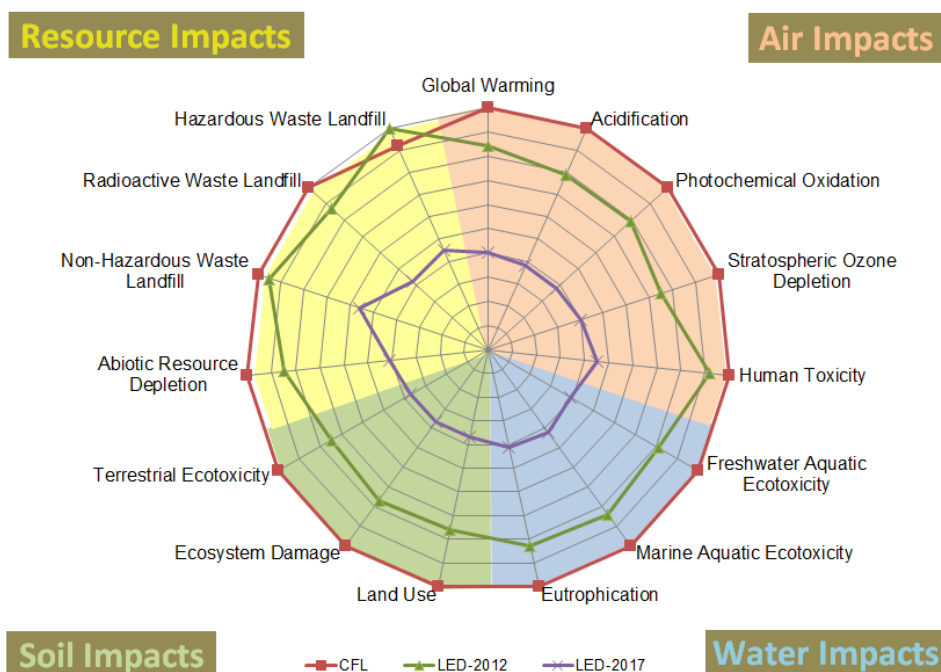


Figura 38-Gráfico comparativo dos impactos normalizado pela fluorescente (28)

No geral, os impactos da lâmpada LED em 2017 são significativamente menores que os da incandescente e cerca de 70% menores que a FLC e aproximadamente 50% menor que a lâmpada LED em 2012. O importante desses gráficos não é necessariamente as pequenas diferenças entre a LFC e a LED, mas sim a grande redução dos impactos ambientais que resultaria da troca das incandescente. Reduções da ordem de 3 a 10 vezes são possíveis se lâmpadas mais eficientes como a FLC e LED forem adotadas. Essas reduções são em grande parte dadas pela redução na energia em uso. A Figura 39 abaixo mostra o consumo de energia

para 20 milhões de lúmens-horas de luz para cada uma das fontes de luz estudadas nesse capítulo, mostrando mais uma vez que a lâmpada incandescente perde para a fluorescente e para a LED.

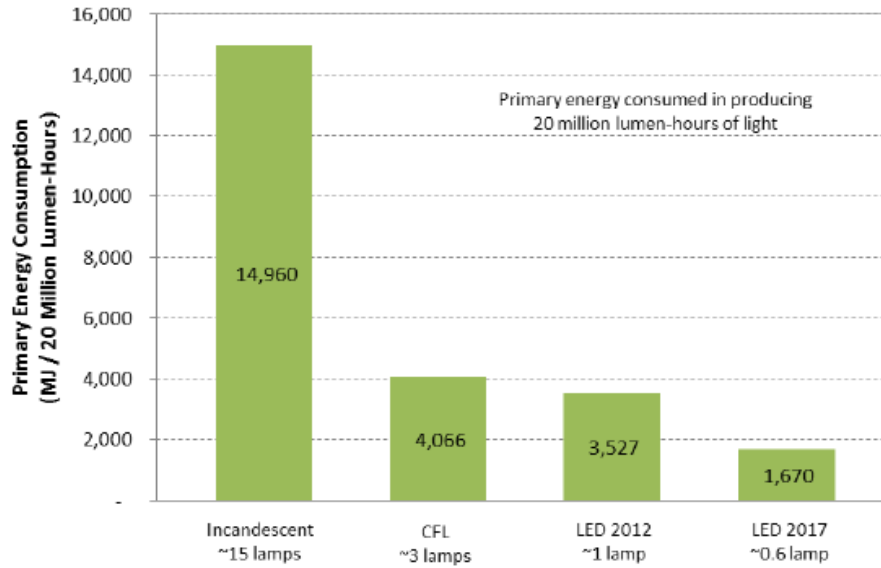


Figura 39-Consumo de energia das lâmpadas estudadas (28)

Capítulo 6

6 Impactos econômicos do LED na iluminação

6.1 Iluminação

Estima-se que a iluminação seja responsável por aproximadamente 20% do consumo de energia elétrica no Brasil, logo é imperativo que se opte por usar as formas de energia mais baratas para seu uso, especialmente em países em desenvolvimento, onde a demanda está crescendo num ritmo acelerado, como resultado de um desenvolvimento econômico. Quanto menos usinas forem construídas para suprir a demanda por iluminação, menores serão as emissões de CO₂ na atmosfera e mais capital estará disponível para outros investimentos. Assim, com base no que foi exposto nos últimos capítulos os quais mostraram as diversas vantagens de se optar pela tecnologia de estado sólido. Nesse capítulo serão apresentados cálculos, para mostrar que o LED em seu estado atual, com preço e qualidade atuais, já pode ser implantado e por se tratar de uma tecnologia que está evoluindo muito rapidamente, a cada ano que passa, será ainda mais vantajosa. Podemos ainda destacar os setores que tem maior participação sendo eles: residencial, comercial e iluminação pública que são os setores que apresentam a maior possibilidade de economia com a utilização do LED e que serão alvos de estudo nesse capítulo.

6.2 Comparação do LED com outras fontes de iluminação

Serão apresentadas diversas tabelas, mostrando a comparação da LED com diversas outras lâmpadas como forma de demonstrar que o LED já tem capacidade de ser usado como iluminação nos principais setores. Primeiramente, temos um quadro comparativo de aspectos qualitativos de diversas lâmpadas existentes hoje no mercado, como pode ser visto na Tabela 4. Em seguida será feito um estudo mostrando a economia de se utilizar o LED tanto em situações residenciais, em escritórios e em iluminação pública.

Tabela 4-Tabela comparativa de aspectos qualitativos das lâmpadas atuais (Autor)

	Incandescente	FLC	LED	VSAP	Vapor Metálico
Vida Útil(horas)	1000	10000	50000	20000	12000
IRC	≈100	50-75	70-95	20-25	65
TCC	2.700 a 3000	2700 a 6500	2500-6500	2700	3000-5000
Eficiência	30-150	40-100	10-35	50-140	50-110
Liga instantaneamente	Sim	Não	Sim	Não (alguns minutos)	Não (alguns minutos)

Como o mundo atual é muito dinâmico, considerar uma vida útil de 50.000 horas (mais de 20 anos) às vezes não se traduz como uma vantagem, visto que, é raro hoje, encontrar pessoas e/ou empresas que permaneçam tanto tempo em um mesmo lugar. Devido a isso, serão feito dois estudos para cada setor, utilizando-se dois cenários distintos. Um deles considerando um período de 50.000 horas que é a vida útil do LED atual e um cenário considerando um tempo mais limitado de 10.000 horas, que é a vida útil de uma lâmpada fluorescente compacta hoje, bem como uma boa aproximação de quanto tempo uma empresa fica aberta hoje no Brasil, segundo dados do SEBRAE e do IBGE. Será estudada então a viabilidade do LED nesses dois cenários.

6.3 Iluminação Residencial

Nesta seção, será mostrada uma tabela comparativa entre as fontes de luz atuais usadas em residências para mostrar a superioridade da LED e quanto se pode economizar optando por esta tecnologia e que, apesar de seu custo inicial ser elevado, o retorno de investimento se dá em pouco tempo. Todas as lâmpadas possuem o mesmo soquete E27 não sendo necessário nenhum material adicional para sua instalação.

Antes de fazermos uma análise do LED com outras fontes de iluminação, será feita uma comparação da incandescente com a fluorescente compacta, mostrando que de fato, as incandescentes já não possuem mais espaço no mercado nacional. Todos os dados para o setor residencial serão feitos considerando-se uma utilização diária de 5 horas por lâmpada (ELETROBRÁS).

6.3.1 Comparação entre Incandescente e Fluorescente Compacta

Lembrando que para uma comparação entre duas fontes de luz devemos ter os seus parâmetros o mais próximo possível, para uma comparação adequada, logo serão usadas lâmpadas com TCC e IRC iguais, quando possível, e potência equivalente. As lâmpadas escolhidas podem ser vistas na Tabela abaixo:

Tabela 5- Comparação qualitativa entre Incandescente e Fluorescente (Autor)

	Modelo	Potência (W)	IRC	TCC	Vida Útil (horas)	Custo Unitário (R\$)
Incandescente	Standard	60	100	2700K	1.000	1.80
Fluorescente	Genie Plus	14	82	2700K	8.000	8.50

Para avaliar o retorno financeiro, é feito o cálculo do tempo de retorno de investimento (TRI), que pode ser entendido segundo a fórmula abaixo:

$$TRI = \frac{Investimento_{FLC} - Investimento_{Inc}}{CustoMensal_{INC} - CustoMensal_{FLC}}$$

E, sabendo que:

$$\text{Custo Mensal} = \frac{n^{\circ} \text{lâmpadas} \times \text{potência}(W) \times \text{preço do KWh} \times n^{\circ} \text{ horas. mes}}{1000}$$

Tabela 6- Comparação econômica entre Incandescente e Fluorescente (Autor)

	FLC	Incandescente
Vida útil (horas)	8.000	1.000
Watts por bulbo (equiv. 60 watts)	14	60
Custo por bulbo	R\$8,50	\$1,80
KWh de eletricidade usado ao longo de 8,000 horas	112	480
Custo da eletricidade 8.000 horas (0.48 por KWh)	R\$53.76	R\$230.40
Bulbos necessários para 8k horas de uso	1	8
Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas	\$8,50	\$14,40
Custo Mensal (5 horas diárias)	R\$1,01	R\$4,32
Custo para 8k horas (unidade)	R\$62,26	R\$244,80

Logo, como pode ser visto da Tabela acima, o tempo de retorno investimento para a LFC em relação a incandescente é:

$$TRI = \frac{8,5-1,8}{4,32-1,01} \approx 2$$

Chega-se a conclusão que mesmo custando quase cinco vezes mais que a incandescente, o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 2 meses, ou seja é muito vantajosa a substituição das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes compactas. Isso mostra que já não há mais espaço para as lâmpadas incandescentes no mercado, sendo que estas ficarão relegadas apenas a usos especiais.

6.3.2 Comparação entre LED e FLC para 50.000 horas

Agora serão comparadas as lâmpadas fluorescentes e LED, visto que a lâmpada incandescente já foi descartada anteriormente, para o setor residencial tendo como base a vida útil da mais longa, ou seja a do LED que é de 50.000 horas.

Tabela 7-Comparação econômica entre lâmpadas no uso residencial (Autor)

	LED	FLC
Vida útil	50,000 horas	10,000 horas
Watts por bulbo (equiv. 60 watts)	8	15
Custo por bulbo	R\$25,00	R\$9,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 50,000 horas	400	750
Custo da eletricidade 50.000horas (0.48 por KWh)	R\$192	R\$360
Bulbos necessários para 50k horas de uso	1	5
Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas	\$25,00	\$45,00
Custo Mensal (5 horas diárias)	RS0,57	R\$1,08
Custo para 50k horas (unidade)	R\$217,00	R\$405
Economia Anual De Eletricidade	R\$6,12	--
Economia em 50.000 horas	R\$170,00	--
Investimento Inicial	R\$25,00	R\$9,00
Economia Líquida Final (Economia em Eletricidade + Economia em lâmpadas)	170 + (45 - 25) = R\$ 190,00	

Logo para o LED em relação a FLC, temos um *TRI* de:

$$TRI = \frac{25-9}{1,08-0,57} \approx 31$$

O retorno de investimento é de aproximadamente 32 meses um pouco menos de 3 anos. É possível ver então, que a lâmpada LED trará retorno um pouco demorado, porém trará consigo outras vantagens como não possuir mercúrio, não ser susceptível a liga/desliga de lâmpadas (o que diminui a vida útil) e seu IRC mais elevado. O investimento inicial é de R\$ 25,00 frente a R\$ 9,00, porém ao longo das 50.000 horas a lâmpada fluorescente teria que realizar reposições elevando seu valor para R\$ 45,00, sendo mais cara que a LED ao longo dessas 50.000 horas. Ao final das 50.000 horas então, teríamos uma economia líquida de R\$190,00, o que representaria uma economia mensal de R\$0,57 o que não seria uma grande vantagem, sendo assim recomendado o uso da lâmpada fluorescente.

6.3.3 Comparação entre LED e FLC para 10.000 horas

O setor residencial hoje no Brasil, vive um período incomum, onde vem sofrendo com preços elevados de imóveis, assim como o preço dos aluguéis que vem subindo a cada ano. Estima-se que o tempo médio que o brasileiro fica em um imóvel gire em torno de 3 a 5 anos (17). Aqui não será mais tratado da lâmpada incandescente, pois essa já não tem mais espaço na iluminação brasileira por ser uma fonte de luz muito ineficiente. O tempo de retorno de investimento é o mesmo do calculado para o cenário de 50.000 horas, visto que é apenas baseado no investimento inicial e no custo mensal, fatores esses que não mudaram.

Nesse cenário o tempo de retorno de investimento é de :

$$TRI = \frac{25-9}{1,08-0,57} \approx 31 \text{ meses}$$

Logo, para haver um retorno, demoraria aproximadamente 31 meses dos 67 meses do período avaliado, ainda assim é considerado um bom investimento, mesmo em um intervalo de tempo mais curto. A Tabela abaixo demonstra alguns números que corroboram essa ideia. Será avaliado o quanto é economizado ao final dessas 10.000 horas, quanto isso representa por mês e se esse valor seria representativo na economia de uma família.

Tabela 8-Comparação econômica entre LED e FLC para 10.000 horas (Autor)

	LED	Fluorescente
Vida útil	50,000 horas	10,000 horas
Watts por bulbo (equiv. 60 watts)	8	15
Custo por bulbo	R\$25,00	R\$9,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 10,000 horas	80	150
Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$38,40	R\$72,00
Bulbos necessários para 10k horas de uso	1	1
Custo Mensal (5 horas diárias)	R\$0,57	R\$1,08
Custo para 10k horas	R\$63,40	R\$81,00
Economia Anual De Eletricidade	R\$6,12	--
Economia em 10.000 horas	R\$34,00	--
Investimento Inicial	R\$25,00	R\$9,00
Economia Líquida Final	34,00 + (9 -25) = R\$ 18,00	

Portanto, ao final de 10.000 horas, aproximadamente cinco anos e meio, haveria uma economia líquida de R\$18,00 para cada lâmpada instalada ou de aproximadamente R\$ 0,27 por mês, o que não representa uma grande vantagem. Nesse caso, recomenda-se o uso das lâmpadas fluorescentes até o preço do LED atingir a marca dos R\$10,00 onde, segundo especialistas, atingirá uma grande parcela do mercado sendo a fonte de iluminação predominante. Lembrando que nesse estudo o preço da energia foi mantido constante ao longo do período de tempo estudado. Vemos então, que o LED se mostra mais vantajoso quando se leva em conta períodos muito grandes, como no primeiro cenário de 50.000 horas, pois em períodos mais elevados existe a necessidade de reposição por parte das lâmpadas fluorescentes o que acaba aumentando a economia da lâmpada LED.

6.4 Iluminação Escritórios

Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 50.000 horas

Nessa seção será feita uma comparação do LED com as lâmpadas fluorescentes tubulares que são a maioria em escritórios e empresas no geral por serem consideradas bastante eficientes e por virem sendo usadas há bastante tempo. O tempo considerado aqui será de 12 horas, considerando-se o expediente de trabalho de aproximadamente 9 horas e levando em consideração que muitas vezes existem funcionários que chegam antes para realizar determinadas tarefas essenciais para o resto do expediente e outros que ficam até mais tarde.

Tabela 9-Comparação entre LED Tubular e Fluorescente Tubular (Autor)

	LED Tubular (T8)	Fluorescente Tubular (T8)
Vida útil	50,000 horas	10,000 horas
Watts por bulbo (equiv. 60 watts)	20	32
Watts do reator	----	6
Preço da luminária	R\$40,00	R\$120,00
Bulbos por luminária	2	2
Custo por bulbo	R\$130,00	R\$20,00
Preço total dos bulbos	R\$260,00	R\$40,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 50,000 horas (por luminária)	2000	3800
Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$ 960	R\$ 1824
Bulbos necessários para 50k horas de uso	2	10
Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas	R\$260,00	R\$200,00
Custo Mensal (12 horas diárias)	R\$6,91	R\$13,13
Economia Mensal	R\$6,22	
Economia Anual	R\$74,64	
Custo para 50k horas	R\$1260,00	R\$2144,00
Economia Final (Economia em eletricidade + (preço FLT - preço LED) ao longo de 50.000 horas)	R\$884,00 (864+(320-300))	

Da Tabela acima, pode-se inferir novamente que apesar do investimento inicial da lâmpada LED ainda ser maior que o da fluorescente, o consumo de energia ao longo de sua vida útil e o número de reposições necessário por parte da lâmpada fluorescente faz com que o LED gaste menos e seja mais vantajoso a longo prazo, sem contar a diminuição de mais de 50% das emissões de carbono e o fato de não conterem vapor de mercúrio. Não foram considerados custos de manutenção e de descarte por partes das fluorescentes, pois mesmo

sem incluí-los, a LED já se mostrou mais vantajosa. Nesse caso o tempo de retorno de investimento da LED seria:

$$TRI = \frac{300-160}{13,13-6,91} \approx 22,5$$

Desse modo, teríamos um retorno de aproximadamente dois anos. O investimento inicial de R\$300,00 frente a apenas R\$160,00 mostrou-se válido, uma vez que ao longo de 50.000 horas houve uma economia de quase R\$900,00. Na Tabela abaixo, podem ser vistas outras vantagens do sistema LED frente ao fluorescente tubular em escritórios.

Tabela 10-Comparação Qualitativa LED Tubular Vs Fluorescente Tubular (Autor)

	LED Tubular (T8)	Fluorescente Tubular (T8)
Potência	15	32-38
Vida útil	50.000	10.000
Necessidade de balastro	Não	Sim
Necessidade de starter	Não	Sim
Acionamento instantâneo	Sim	Não
Geração de calor	Não	Sim
Taxa de reciclagem	Não	Sim
Taxa de manutenção	Não	Sim
Poluição ambiental	Não	Sim

6.4.1 Estudo da viabilidade econômica do LED no setor de escritórios no cenário de 10.000 horas

Assim como no setor residencial, o tempo de retorno do investimento também não muda, sendo de 22,5 meses como calculado anteriormente. A Tabela abaixo mostra a economia do sistema LED em relação ao fluorescente tubular para instalação em escritórios.

Tabela 11 – Avaliação econômica LED tubular e fluorescente tubular para 10.000 horas**Fonte: (Autor)**

	LED Tubular (T8)	Fluorescente Tubular (T8)
Vida útil	50,000 horas	10,000 horas
Watts por bulbo (equiv. 60 watts)	20	32
Watts do reator	-----	6
Preço da luminária	R\$40,00	R\$120,00
Bulbos por luminária	2	2
Custo por bulbo	R\$130,00	R\$20,00
Preço total dos bulbos	R\$260,00	R\$40,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 10,000 horas (por luminária)	400	760
Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$ 192	R\$ 365
Bulbos necessários para 10k horas de uso	2	2
Preço dos bulbos necessários ao longo de 10k horas	R\$260,00	R\$40,00
Custo Mensal (12 horas diárias)	R\$6,91	R\$13,13
Custo para 10k horas	R\$492,00	R\$525,00
Economia anual de eletricidade	R\$74,64	
Economia de eletricidade em 10.000 horas	R\$173,00	
Economia Final (Economia em eletricidade + (preço FLT – preço LED) ao longo de 10.000 horas)	R\$33,00 (173 + (160-300))	

Analogamente ao setor residencial, ao final de 10.000 horas, teríamos uma economia líquida de R\$33,00 por luminária trocada ou ainda uma economia de aproximadamente R\$ 0,50 por mês por luminária. Considerando ainda, que o LED reduziria drasticamente a carga devida aos ares-condicionados e se for considerado que esse estudo representa apenas a troca de uma luminária, em um escritório que apresenta uma grande quantidade de luminárias, já seria recomendado a substituição das fluorescentes pela LED. Além de todas as vantagens

apresentadas, haveria também a vantagem de não possuírem vapor de mercúrio. Já que muitas empresas hoje buscam o rótulo de sustentáveis nada melhor que adotarem a tecnologia mais limpa que seria o LED. A mesma consideração feita anteriormente pode ser feita aqui para o setor de escritórios: com a queda dos preços do LED, esses cálculos tendem a melhorar cada vez mais, tornando-se ainda mais vantajosa a substituição pela tecnologia de estado sólido.

6.5 Iluminação Pública

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.

Além de estar diretamente ligada à segurança pública no tráfego, a iluminação pública previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população.

A iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3,0% do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano. (1)

O Governo Federal, através da Eletrobrás, criou em junho de 2000, o PROCEL RELUZ com o objetivo de promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública, bem como a valorização noturna dos espaços públicos urbanos, contribuindo para redução do consumo de energia elétrica, melhoria das condições de segurança pública e a qualidade de vida nas cidades brasileiras

Em relação aos tipos e quantidades de lâmpadas instaladas no Brasil, temos a seguinte distribuição, como pode ser visto na Figura 40.

Tipo de Lâmpada	Quantidade	
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84%
Mista	328.427	2,22%
Incandescente	210.417	1,42%
Fluorescente	119.535	0,81%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,73%
Outras	5.134	0,03%
TOTAL	14.769.309	100%

Figura 40 - Distribuição de lâmpadas na iluminação pública no Brasil

Fonte: Eletrobrás (1)

Já na cidade do Rio de Janeiro, a Figura 41 abaixo mostra a distribuição do número de lâmpadas.

DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	
TIPO	Quantidade
MISTA	6.020
M V M	29.363
VAPOR DE MERCURIO	90.947
VAPOR DE SÓDIO	303.113
OUTROS	3.638
TOTAL	433.081

Figura 41 - Distribuição de lâmpadas na iluminação pública no Rio de Janeiro

Fonte: Rioluz (35)

Vemos então uma possibilidade de redução tanto no consumo em eletricidade como nas emissões de gases do efeito estufa pela simples troca das lâmpadas existentes pela tecnologia LED. Será feito um estudo comparativo onde será demonstrada a viabilidade do LED na iluminação pública.

6.5.1 Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 50.000 horas

Nessa seção será feita uma comparação do LED com as lâmpadas de vapor de sódio que são a maioria na iluminação pública tanto da cidade do Rio de Janeiro como no Brasil. Existem lâmpadas de diversas potências, logo por uma questão de simplificação nos cálculos será usada uma média de 250W. Aqui não serão considerados os gastos em manutenção visto que a prefeitura do Rio de Janeiro possui uma empresa especializada em trocas de lâmpadas que é a Riolut, vale ressaltar que o efetivo usado nessas trocas poderia ser mais bem utilizado caso essa manutenção não fosse realizada como no caso de se optar pelo LED.

Tabela 12-Comparação LED vs VSAP para 50.000 horas (Autor)

	120w LED (18)	250w VSAP
Vida útil	50,000 horas	18,000 horas
Watts por bulbo	120	250
Watts do reator	----	30
Custo luminária completa	R\$750,00	R\$220,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 50,000 horas (por luminária)	6000	14000
Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$2880,00	R\$6720,00
Bulbos necessários para 50k horas de uso	1	3
Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas	----	R\$100
Custo Mensal (12 horas diárias)	RS17,25	R\$48,36
Custo para 50k horas (unidade)	R\$3.630,00	R\$7.040,00
Economia Mensal de Eletricidade	R\$31,11	
Economia Anual de Eletricidade	R\$ 373,32	

Economia de Eletricidade em 50.000 horas	R\$ 4320,00
Investimento ao longo de 50.000 horas	R\$ 750 LED R\$ 320 VSAP
Economia Final (Economia Eletricidade + (preço VSAP-preço LED))	4320 + (320-750) = R\$ 3890
Economia por mês ao fim de 50.000 horas	R\$28,00

Temos então um retorno de investimento de:

$$TRI = \frac{227334750 - 66.684.860}{14665819 - 5.237.792} \approx 17$$

O tempo de retorno de investimento é de 17, o que se mostra um excelente tempo de retorno do investimento, ainda temos uma economia de R\$3890 ao final de 50.000 horas, ou R\$28,00 por mês o que representa uma economia considerável. Trazendo outras vantagens como: menor emissão de gás carbônico, maior IRC (vapor de sódio tem IRC de apenas 20, já o LED mais de 70), zero grama de mercúrio e ainda a tecnologia do LED traz a vantagem de não ter que fazer manutenção ao longo de 50.000 horas. Se considerássemos a substituição de todas as lâmpada de vapor de sódio da cidade do Rio de Janeiro, ao final das 50.000 horas teríamos uma economia de 2,42 GWh, ou 48,5 MW ou ainda se considerarmos o consumo anual médio das residências do Brasil sendo 1920 Kwh/ano (160 Kwh/mês) (17), essa economia seria suficiente para abastecer aproximadamente 1,25 milhão de residências. Esses cálculos foram feitos de forma simplificada, considerando uma média das lâmpadas instaladas, visto que se tornaria um problema muito complexo discriminar cada lâmpada e sua respectiva potência, porém isso é algo que pode ser feito por parte do município e/ou do Estado. Lembrando ainda que se fosse feito esse cálculo para outras cidades do país, somadas teríamos uma economia enorme de energia, portanto é essencial um estudo detalhado por parte dos governos federal, estadual e municipal nesse aspecto.

6.5.2 Estudo da viabilidade econômica do LED na iluminação pública no cenário de 10.000 horas

Tabela 13 – Avaliação econômica na iluminação pública para 10.000 horas (Autor)

	120w LED (18)	250w VSAP
Vida útil	50,000 horas	18,000 horas
Watts por bulbo	120	250
Watts do reator	-----	30
Custo da luminária completa	R\$750,00	R\$220,00
KWh de eletricidade usado ao longo de 10,000 horas (por luminária)	1200	2800
Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$576,00	R\$1382,00
Bulbos necessários para 10k horas de uso	1	1
Preço dos bulbos necessários ao longo de 10k horas	-----	-----
Custo Mensal (10 horas diárias e 303.113 lâmpadas)	RS17,25	R\$48,36
Custo para 10k horas (unidade)	R\$1326,00	R\$1602,00
Economia Anual De Eletricidade	R\$ 373,32	
Economia de Eletricidade em 10.000 horas	R\$ 864,17	
Investimento ao longo de 10.000 horas	LED R\$750 VSAP R\$ 220	
(Economia Eletricidade + (Investimento VSAP – Investimento LED))	864 + (220-750)= R\$ 334	
Economia por mês ao final de 50.000 horas	R\$12,02	

Para um cenário limitado de 10.000, a substituição da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão pela LED também se mostrou válida, pois o tempo de investimento de retorno é

menor que o período de 10.000 horas, logo houve economia, que nesse caso foi de R\$ 334 por lâmpada substituída, ou ainda uma economia de R\$12,02 por mês. Mostrando então, que é altamente recomendado para o setor de iluminação pública a substituição das lâmpadas atuais pela tecnologia LED.

6.6 Iluminação industrial

Dados do Balanço Energético Nacional realizado pelo Ministério de Minas e Energia mostram que apesar de ser o setor de maior consumo no Brasil, a parcela referente a iluminação no setor industrial é muito pequena, aproximadamente 2%, por isso não será considerada aqui, visto que a possibilidade de economia não é tão grande como no setor residencial, de iluminação pública etc.

6.6.1 Iluminação Comercial

A iluminação é um dos principais fatores para o sucesso de uma instalação comercial. Esse tipo de iluminação encontra-se predominantemente em lojas, bancos etc. Esse tipo de iluminação tem por objetivo os seguintes aspectos: criar ambiente agradável, chamar atenção, valorizar produtos e gerar interesse por parte do cliente. Não será realizado aqui um estudo, pois é usual que lojas gastem com lâmpadas mais novas e mais eficientes, pois além de estarem sempre ligadas às últimas tendências querem mostrar uma imagem de empresa sustentável. Não pensam apenas em economizar, querem, no entanto valorizar seus produtos buscando sempre lucros maiores.

6.7 Impacto econômico em uma residência de uma família classe média

Será avaliado aqui o impacto na economia de uma residência de dois quartos, quanto seria possível economizar e o que isso representaria em termos da renda familiar. Essa habitação é composta de dois quartos, uma sala de estar, um banheiro, uma cozinha e uma parte externa.

Na Tabela 14 é possível ver a descrição da quantidade de lâmpadas de cada cômodo, assim como a economia ao mensal, anual e total do conjunto de lâmpadas LED. Será considerado que as lâmpadas ficarão ligadas 5 horas por dia que é um número de referência para o setor residencial (19).

Tabela 14 – Avaliação econômica do LED para residência classe média (Autor)

		LED	Fluorescente
	Vida útil (horas)	50.000	10.000
Sala de Estar	Quantidade	3	3
	Watts por bulbo	10	15
Cozinha	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Quarto 1	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Quarto 2	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Banheiro	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Área Externa	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Tota Lâmpadas		13	13
	Custo por bulbo (R\$)	25,00	8,00
	Investimento Inicial	R\$ 325	R\$ 104
	KWh de eletricidade usado ao longo de 50,000 horas	6500	9750
	Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$3120	R\$4680
	Bulbos necessários para 50k horas de uso	13	65
	Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas (R\$)	325	520
	Custo Mensal (5 horas diárias)	R\$ 9,36	R\$ 14,04
	Custo para 50k horas	R\$3475	R\$5200

	Economia Mensal	R\$ 4,68
	Economia Anual De Eletricidade	R\$ 56,16

Baseado na tabela acima, se chega a conclusão de que adotando o LED seria possível uma economia mensal de aproximadamente R\$4,70 por mês, frente a um investimento inicial mais caro aproximadamente R\$220,00. Conclui-se então, que a melhor alternativa nesse caso seria a adoção da lâmpada fluorescente, pois a economia mensal é muito baixa, mesmo para famílias de baixa renda essa economia de R\$4,70 por mês não seria algo representativo no orçamento familiar, somando-se ainda o fato de o investimento inicial ainda ser muito alto. Recomenda-se o LED então, quando este estiver com preço próximo da fluorescente, o que deve ocorrer nos próximos anos, como mostrado nos capítulos anteriores e que será tratado na próxima seção.

6.8 Impacto em uma residência de classe média considerando o LED com preço estabilizado

Conforme citado diversas vezes anteriormente, os especialistas em LED projetam que o preço do LED deve se estabilizar em R\$ 10,00 nos próximos cinco anos, portanto, será demonstrado aqui como o LED se sairia em comparação a fluorescente neste cenário. Será considerado também, que o preço da fluorescente se manterá o mesmo, o que pode não ser verdade, pois caso a LED venha a dominar o mercado, a tendência é que o preço da fluorescente suba, porém para esse estudo o preço da fluorescente será mantido constante.

Tabela 15 – Avaliação econômica do LED com preço estabilizado (Autor)

		LED	Fluorescente
	Vida útil (horas)	50.000	10.000
Sala de Estar	Quantidade	3	3
	Watts por bulbo	10	15
Cozinha	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Quarto 1	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Quarto 2	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Banheiro	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Área Externa	Quantidade	2	2
	Watts por bulbo	10	15
Total Lâmpadas		13	13
	Custo por bulbo (R\$)	10,00	8,00
	Investimento Inicial	R\$130	R\$ 104
	KWh de eletricidade usado ao longo de 50,000 horas	6500	9750
	Custo da eletricidade (0.48 por KWh)	R\$3120	R\$ 4680
	Bulbos necessários para 50k horas de uso	13	65
	Preço dos bulbos necessários ao longo de 50k horas (R\$)	130	520
	Custo Mensal (5 horas diárias)	R\$9,36	R\$ 14,04
	Custo para 50k horas	R\$3250	R\$5200
	Economia Mensal	R\$ 4,68	
	Economia de Eletricidade ao longo de 50.000 horas	R\$1560	
	Economia em lâmpadas	R\$390,00	
	Economia Final	R\$1950	

Com o preço do LED a R\$10,00, temos que é altamente recomendada a substituição das fluorescentes pela tecnologia de estado sólido, visto que com um investimento inicial de apenas R\$26,00 a mais, teríamos um tempo de retorno de menos de seis meses, ainda teríamos ao longo de 50.000 horas, menor investimento em lâmpadas LED se comparado à fluorescente e uma economia de R\$1560 em eletricidade, o que se somado para milhões de residências no Brasil poderia acarretar uma grande diminuição da carga atual e seria possível utilizar essa energia para áreas ainda carentes do país, bem como evitaria a construção de novas usinas, que hoje são grandes alvos por parte de ambientalistas e parte da sociedade.

6.9 Políticas Governamentais para implementação do LED no Brasil

De acordo com as expectativas de crescimento econômico no Brasil, nos próximos anos serão necessários maiores investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A construção de novas usinas além do grande investimento financeiro implica em alterações ambientais (inundação e desapropriação de grandes áreas para usinas hidrelétricas, aumento na emissão de CO₂ para usinas termoeletricas). A simples mudança na tecnologia em iluminação já quebra vários paradigmas na forma de consumo de energia elétrica. Desta forma é possível investir menos na construção de novas usinas e priorizar os recursos financeiros em outras áreas carentes da sociedade brasileira. No Brasil não existe nenhuma patente depositada na área de LEDs, o que é preocupante já que o Brasil está entre os maiores consumidores de energia elétrica no mundo, isto demonstra que ocorrerá uma grande dependência de fornecedores estrangeiros para fornecimento de LEDs para iluminação e para equipamentos eletrônicos. (20)

Diante do exposto neste Capítulo, vemos que a economia referente a substituição do LED tanto na Iluminação Pública, como nos setores residencial e de escritório, se somadas, gerará uma grande diminuição da carga do sistema. Para que isso ocorra serão necessárias determinadas ações por parte do Governo tais como:

- Promover estudo de viabilidade de criação da indústria nacional de LEDs de alta potência para aplicação na iluminação pública e demais setores

- Criar normas brasileiras de ensaios com a tecnologia LED e especificação de requisitos mínimos de desempenho e vida útil.
- Estudar possibilidade de oferecer incentivos fiscais aos equipamentos de iluminação com selo PROCEL
- Criar programas de divulgação do PROCEL RELUZ para as concessionárias de energia elétrica e unidades da federação
- Criar programas de divulgação da eficiência energética de fontes de luz como LED e fluorescente.
- Estudar a possibilidade de fornecer lâmpadas gratuitamente para pessoas e empresas visando diminuição da carga instala e necessidade de novas usinas.

6.10 Conclusão

Ao fim desse capítulo, pode-se notar baseados nos cálculos expostos que adotar o LED gera uma economia em médio prazo, porém se consideramos a vida útil do LED de 50.000 horas vê-se que ela pode durar mais de 20 anos o que é um fator que tem sido mostrado como grande vantagem do LED, mas que não se demonstra na prática. Na situação econômica atual, o tempo médio de um comércio na faixa de cinco anos, ou seja, a lâmpada duraria mais que a instalação e quando outra pessoa adquirisse esse estabelecimento, provavelmente iria refazer toda a iluminação para personaliza-lo, logo recomenda-se o LED em ocasiões onde serão feitas reformas visando a permanência por muitos anos. Esse argumento também é válido para o setor residencial, pois com a atual inflação dos aluguéis e esse *boom* no setor de imóveis, pessoas têm hoje cumprido contratos de 3 anos e depois indo para outros lugares. O LED então se mostraria de grande utilidade nesses setores apenas como luz decorativa ou então para aqueles que realmente se importam com o meio ambiente e não estão dispostos a usar de fontes de luz prejudiciais ao meio ambiente, como incandescentes e fluorescentes. Restaria ao LED então o setor de iluminação pública (IP) que não seria afetado por essa vida útil tão elevada e se beneficiaria também pelo custo ínfimo de manutenção ao longo desses anos. Portanto, no cenário atual o maior beneficiado pelo uso do LED sem dúvida alguma seria o setor de IP trazendo enormes economias após o tempo de retorno do investimento. Recomenda-se também o LED, para pessoas de classes com maior renda no setor residencial, visto que já existe retorno financeiro, mas este ainda é pequeno e o investimento inicial ainda é elevado o que prejudicaria sua aquisição pelas classes mais baixas. Já para as classes de

renda mediana recomenda-se a substituição gradativa das lâmpadas. Para o cenário onde os especialistas acreditam que o preço do LED deve se estabilizar em R\$10,00, a substituição da tecnologia fluorescente pela de estado sólido se mostrou altamente recomendável para o setor residencial.

Capítulo 7

7 Conclusão

Por meio deste trabalho foi possível mostrar algumas características básicas das fontes atuais de iluminação, bem como da tecnologia LED que vem surgindo como alternativa às fontes de luz ineficientes que dominam o mercado brasileiro há mais de 100 anos. Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica do LED, mostrando seu funcionamento e suas principais vantagens para depois ser feito um estudo dos impactos econômicos e ambientais do mesmo.

Foi possível mostrar também o atual estado do LED no mercado brasileiro e mundial e sua expectativa de crescimento, mostrando também seu valor de mercado e projeções da participação de mercado para os próximos anos, mostrando que as previsões são bem otimistas em relação à tecnologia de estado sólido que se acredita irá dominar o mercado de iluminação num futuro bem próximo.

Foi mostrado também um estudo comparativo entre lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED que mostrou os impactos ambientais das três, onde foram destacados diversos indicadores ambientais e em todos, o LED se mostrou superior às alternativas incandescente e fluorescente. Foi possível ver que o LED em seu estado atual já é menos agressivo ao meio ambiente que as outras lâmpadas e tende a se tornar cada vez melhor, uma vez que está em constante evolução, ao passo que incandescentes e fluorescentes têm se mostrado estagnadas no tempo, apresentando pouco ou nenhum avanço.

Por último, fez-se um estudo econômico para os setores residencial, de escritório e de iluminação pública, onde se constatou que apesar do custo inicial alto se comparado às outras lâmpadas, o LED se paga dentro de poucos anos, sendo que no pior cenário esse tempo de retorno ficou abaixo dos três anos. Ficou evidente que, antes de uma disputa entre fluorescente e LED, temos que a incandescente já não possui mais espaço no mercado nacional por ser considerada muito ineficiente, será relegada apenas a usos especiais. O LED ainda não se mostra muito vantajoso no setor residencial sendo recomendado seu uso apenas

com aspecto decorativo e apenas pelas classes com renda elevada. Contudo, de acordo com as previsões, quando o preço do LED se estabilizar e acredita-se que se estabilizará por volta dos R\$10,00, será altamente recomendada a sua implementação no setor residencial. Para o setor de escritório o LED se mostra uma boa escolha se considerarmos períodos de tempo elevados, como o cenário estudado de 50.000 horas, portanto para períodos curtos recomenda-se o uso das lâmpadas fluorescentes tubulares. Já para o setor de iluminação pública, o LED é altamente econômico, sendo recomendada a sua implementação.

Assim, é possível concluir que o LED tem grandes possibilidades de se tornar a base da iluminação do futuro. Aliado a incentivos fiscais por parte do governo, é possível que em pouco tempo, o LED alcance o preço das lâmpadas fluorescentes que têm visto seu preço crescer nos últimos anos. Além disso, o LED traz consigo a vantagem de não apresentar produtos tóxicos em sua composição, como o mercúrio, que tem feito com que as lâmpadas fluorescentes, antes vistas como salvação, serem condenadas.

7.1 Trabalhos Futuros

Por ser uma tecnologia que está evoluindo rapidamente, recomenda-se a atualização deste trabalho a cada ano, para mantermos uma base de dados atualizada. Outro ponto interessante de estudo seria a relação entre a temperatura da junção do LED e sua vida útil, pois esta temperatura se apresenta como fator crucial para a eficiência e durabilidade do LED, sendo hoje fonte de muito estudo por parte de todas as empresas que fabricam o LED.

Seria interessante se em trabalhos futuros fossem realizados outros estudos importantes para validação do LED como fonte de luz alternativa às atuais, tais como: estudo sobre a qualidade da energia do LED, criação de normas e padronização para utilização no país, possibilidade do uso do LED associado a outras fontes alternativas como, por exemplo, painéis solares.

Finalmente, recomenda-se um estudo mais detalhado do LED no Brasil, uma vez que atualmente ainda há poucos dados sobre o LED no país e à medida que este ganhe espaço, será adotado por mais consumidores e empresas, gerando assim um banco de dados possibilitando um estudo mais aprofundado.

Bibliografia

1. [Online] [Citado em: 27 de Abril de 2013.] www.eletronbras.com.
2. **Uberlândia, Universidade Federal de.** Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas.
3. [Online] Philips. [Citado em: 10 de July de 2013.] http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_conceitos_de_iluminacao.wpd.
4. **Inc, Google.** www.google.com. *Google Images*. [Online] [Citado em: 25 de May de 2013.]
5. [Online] [Citado em: 25 de Maio de 2013.] http://alternativorg.wdhouseDNS.com.br/18_-_Iluminacao_parte_1.pdf.
6. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul.* [Online] [Citado em: 28 de Maio de 2013.] http://www.ufrgs.br/labcon/Iluminacao_artificial.pdf.
7. **Philips.** *Philips - Brasil*. [Online] [Citado em: 13 de Junho de 2013.] <http://www.philips.com.br/>.
8. [Online] [Citado em: 02 de Agosto de 2013.] <http://www.ecocidades.com/2011/01/06/adeus-lampadas-incandescentes/>.
9. **Windmolle, Junior &.** 2006.
10. *HowStuffWorks - como tudo funciona.* [Online] [Citado em: 15 de Junho de 2013.] www.hsw.uol.com.br.
11. **FREITAS, Paula Campos.** *Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas*. s.l. : Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia.
12. *Setor Elétrico.* [Online] [Citado em: 15 de 05 de 2013.] <http://www.osetoelettrico.com.br/>.
13. **Goeking, Weruska.** Lâmpadas e Leds - Revista O Setor Elétrico. [Online] [Citado em: 28 de Maio de 2013.] www.osetoelettrico.com.br/web/.../article/.../176-lampadas-e-leds.html.
14. IMS Research - Electronics market research & consultancy. [Online] [Citado em: 6 de Julho de 2013.] http://www.imsresearch.com/blog/Does_LED_Lighting_Have_A_Tipping_Point_270/167/cat.
15. [Online] [Citado em: 31 de 05 de 2013.] www.uniled.com.br.
16. **Haitz.** 2000.
17. ALPER. [Online] [Citado em: 22 de Julho de 2013.] http://www.alper.com.br/alper/Portals/0/UserFiles/LED/Files/Downloads/alp-003-p-ct-2011_web-port.pdf.
18. **HAWKING, STEPHEN.** Uma Nova Historia Do Tempo. s.l. : POCKET OURO, 2008.

19. s.l. : Once Innovations.
20. **GÓIS, Alexandre.** LEDs na Iluminação Arquitetural. [Online] [Citado em: 14 de Julho de 2013.] <http://www.lightingnow.com.br/>.
21. [Online] [Citado em: 19 de Julho de 2013.] http://ligaltda.com.br/tecnologia_led.htm.
22. [Online] [Citado em: 22 de Julho de 2013 .] http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/sslbasics_ledbasics.html.
23. **Narukawa, Y.** *White light emitting diodes with super-high luminous efficacy*. 2010.
24. MUNDO LED. [Online] [Citado em: 17 de Julho de 2013.] <http://www.luzconled.com/index.php/mundo-led>.
25. O descarte de LEDs requerem precauções especiais. *Revoled- Tecnologia em iluminação*. [Online] [Citado em: 09 de Julho de 2013.] <http://www.revoled.com.br/faq/descarte-LEDs#axzz2dSGvYCo7>.
26. Reasons to use LED lighting. [Online] [Citado em: 11 de Junho de 2013.] <http://www.empvisualsolutions.com/Products/Outdoor-LED-Lighting/Why-Choose-LED-Lighting>.
27. [Online] [Citado em: 02 de 06 de 2013.] <http://www.elementaled.com>.
28. **Dias, Marcelo.** [Online] [Citado em: 02 de 06 de 2013.]
29. *Wikipedia*. [Online] [Citado em: 04 de Junho de 2013.] <http://www.wikipedia.org>.
30. [Online] [Citado em: 09 de Junho de 2013.] <http://www.mckinsey.com/>.
31. **Energy, U.S Department of.** *US DOE (2011) Solid State Lighting Research and Development: Manufacturing R&D Roadmap*. [Online] 2011.
32. **Research, Lux.** 2011.
33. **Senado, Jornal do.** Senado Brasileiro. *pais-entra-na-corrída-pelo-mineral-do-tablet*. [Online] 2013. [Citado em: 15 de Julho de 2013.] <http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2013/04/15/pais-entra-na-corrída-pelo-mineral-do-tablet>.
34. **CRICCI, Ricardo.** iluminando um mundo melhor. [Online] 2013. [Citado em: 26 de Julho de 2013.] <http://www.golden.blog.br/1277/da-luz-incandescente-a-luz-em-estado-solido/>.
35. **ISO.** *Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines*. [Online] 2006. [Citado em: 26 de Junho de 2013.] www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498.
36. **Tassia, Moretti.** *Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros*. s.l. : UTFPR, 2011.
37. **IBGE.** 2011.
38. [Online] 2013. [Citado em: 08 de Junho de 2013.] http://obras.rio.rj.gov.br/index.cfm?arquivo_estatico=1552.htm.

39. [Online] [Citado em: 15 de Agosto de 2013.]
<http://zdeg.gmc.globalmarket.com/products/details/120w-cree-led-street-light-us-306-00-240405.html>.
40. CEMIG. [Online] [Citado em: 12 de Agosto de 2013.]
http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/publicacoes/Documents/Cartilhas/Cartilha_Aprovada_17_07_2013.pdf.
41. **de Novoa, Laura Martinez, Prof.Dr. Jorge Tomioka.** *Estudo da Estrutura do White Light Emitting Diode – White*. Santo Andre : Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC.
42. **Silvestre.** 2008.
43. [Online] [Citado em: 25 de 05 de 2013.] wikis.lib.ncsu.edu.
44. [Online] Wikipedia. [Citado em: 04 de 06 de 2013.] <http://www.wikipedia.org>.
45. *Info Money*. [Online] [Citado em: 07 de Agosto de 2013.] <http://www.infomoney.com.br/minhas-financas/noticia/1953247/consumo-medio-energia-nas-residencias-brasileiras-foi-157-kwh-por>.
46. *Empresa de Pesquisa Energética (EPE)*. [Online] [Citado em: 07 de Agosto de 2013.]
www.epe.gov.br.
47. Nascimento, Simaia Roberta. *Avaliação técnica e econômica do estado da arte da iluminação a LED*. **Departamento de Engenharia Elétrica Da Universidade Federal do Rio de Janeiro**