

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETROTÉCNICA
GESTÃO COMERCIAL ELÉTRICA

VALQUÍRIA APARECIDA ALCANTARA LIMA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADA COM LED DE
ALTA POTÊNCIA E LÂMPADAS COMUNS, CONSIDERANDO
A VIABILIDADE ECONÔMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

VALQUÍRIA APARECIDA ALCANTARA LIMA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADA COM LED DE
ALTA POTÊNCIA E LÂMPADAS COMUNS, CONSIDERANDO
A VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica ênfase em Gestão Comercial Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT– da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior.

CURITIBA

2013

VALQUÍRIA APARECIDA ALCANTARA LIMA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADA COM LED
DE ALTA POTÊNCIA E LÂMPADAS COMUNS,
CONSIDERANDO A VIABILIDADE ECONÔMICA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Eletrotécnica**, Modalidade Gestão Comercial, do **Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica, Modalidade Gestão Comercial Elétrica** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 23 de setembro de 2013

Prof. José da Silva Maia, M. Sc.
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, D. Sc.
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. José da Silva Maia, M. Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Jair Urbanetz, D. Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Júlio César Nitsch, M. Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Rubem Petry Carbente, M. Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Hoje, vivo uma realidade que parece um sonho, mas foi preciso muito esforço, determinação, paciência, perseverança, ousadia e maleabilidade para chegar até aqui, e nada disso eu conseguiria sozinha. Minha terna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Grata a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, sem Ele nada sou. Agradeço aos meus pais, Valter e Maria Cassilda, meus maiores exemplos. Obrigada por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto.

Ao meu marido, Anderson, por todo amor, carinho, paciência e compreensão que tem me dedicado. Aos meus irmãos, Valdecir e Valcides, por todo amor e carinho.

Ao professor Jair Urbanetz Junior que, com muita paciência e atenção, dedicou do seu valioso tempo para me orientar em cada passo deste trabalho. Aos professores do curso pela contribuição na minha vida acadêmica e por tanta influência na minha futura vida profissional.

Agradecimento ao Sr. Fabio Sanada que prontamente atendeu minha solicitação e disponibilizou os testes no LACTEC.

Aos meus amigos Juliana, Rafaela, Josué, Priscila e Klayton por todo apoio e cumplicidade. Porque mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida.

Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a Valquíria que sou hoje.

“Que todo o meu ser louve ao Senhor, e que eu não esqueça nenhuma das suas bênçãos!” Salmos 103:2.

RESUMO

LIMA, Valquíria Aparecida Alcantara. **Estudo comparativo entre lâmpada com LED de alta potência e lâmpadas comuns, considerando a viabilidade econômica.** 74f. Projeto de Pesquisa – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade Gestão Comercial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Os LED's de alta potência são dispositivos em grande ascensão no mercado de iluminação, estes dispositivos já apresentam condição de substituir as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Como principais características deste dispositivo destacam-se à vida útil e a economia de energia.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os benefícios na troca das lâmpadas comuns por LEDs de alta potência, através de medições de alguns parâmetros: de fotometria e consumo de energia elétrica e também da análise econômica. Pois a redução do consumo de energia elétrica é um assunto que vem tomando cada vez mais importância no Brasil tendo em vista que 14% do gasto do consumidor residencial é para iluminação (LIMBERGER; VASCONCELLOS, 2013).

Palavras-chave: LED de alta potência. Lâmpada LED. Super LED. Lâmpadas.

ABSTRACT

LIMA, Valquíria Aparecida Alcantara. **Estudo comparativo entre lâmpada com LED de alta potência e lâmpadas comuns, considerando a viabilidade econômica.** 74f. Projeto de Pesquisa – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade Gestão Comercial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

The high power LEDs are devices in large rise in the lighting market, these devices already demonstrate condition of replacing incandescent and fluorescent. As characteristics main of these device stand out the life cycle and the energy savings.

This study aims to present the benefits of the exchange bulbs for High Power LEDs, through measurements of some parameters: photometry and consumption of electricity and also the economic analysis. Because power consumption reduction is an issue that has been taking more and more importance in Brazil considering that 14% of consumer residential spending is for lighting (LIMBERGER; VASCONCELLOS, 2013).

Keywords: High power LED. LED lamp. Super power LED. Lamps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixa de Radiação Visível.....	25
Figura 2 - Intensidade Luminosa	26
Figura 3 - Curva de Distribuição de Intensidades Luminosas	27
Figura 4 - Fluxo Luminoso.....	27
Figura 5 - Eficiência Energética (lm/W)	28
Figura 6 - Iluminância.....	28
Figura 7 - Luminância.....	29
Figura 8 - Variação da Reprodução de Cor.....	30
Figura 9 - Temperatura de Cor.....	30
Figura 10 - Triângulo das Potências.....	32
Figura 11 - Lâmpada Incandescente.....	33
Figura 12 - Lâmpada Halógena.....	34
Figura 13 - Lâmpada Halógena Dicroica.....	35
Figura 14 - Lâmpada Fluorescente	37
Figura 15 - Lâmpada Vapor de Mercúrio.....	37
Figura 16 - Lâmpada Vapor Metálico	38
Figura 17 - Lâmpada de Sódio	39
Figura 18 - Lâmpada Mista.....	40
Figura 19 - Lâmpada LED	41
Figura 20 - Tipos de LEDs.....	43
Figura 21 - Junção P-N - Polarização Direta	44
Figura 22 - Conversor Buck.....	47
Figura 23 - Conversor Boost	48
Figura 24 – Conversor Buck-Boost	48
Figura 25 - Conversores: Cúk, Sepic e Zeta	49
Figura 26 - Conversor Flyback	50
Figura 27 - Bancada Criada para as Medições	56
Figura 28 - Wattímetro Alicata Minipa ET-4090.....	57
Figura 29 - Esfera Ulbricht	58
Figura 30 - Medições com o Wattímetro Alicata.....	60
Figura 31 – Medições com a Esfera de Ulbricht.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumos Setoriais de Energia Elétrica Referentes 2005	20
Gráfico 2 – Participação dos Equipamentos no Gasto de Energia Residencial	21
Gráfico 3 - Distribuição por Tipo de Lâmpada no Brasil 2007	21
Gráfico 4 – Parque Brasileiro de Lâmpadas.....	22
Gráfico 5 - Aplicação Lâmpada LED no Cenário Mundial	52
Gráfico 6 - Projeção de Vendas para as Lâmpadas LED	52
Gráfico 7 - Eficiência Luminosa Versus Fluxo Luminoso	53
Gráfico 8 - Previsão de Mercado para as Vendas de Produtos de Iluminação LED na Europa.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Topologias de Conversores DC-DC	46
Tabela 2 – Características das Lâmpadas: Incandescente, Fluorescente Compacta e LED	51
Tabela 3 - Características das Lâmpadas Utilizadas nas Medições	59
Tabela 4 - Resultado das Medições das Potências Ativa e Aparente e do Fator de Potência	60
Tabela 5 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da Lâmpada Incandescente	61
Tabela 6 - Tabela Inmetro - Eficiência Mínima	62
Tabela 7 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da Lâmpada Fluorescente Compacta	62
Tabela 8 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da lâmpada LED	63
Tabela 9 – Análise de Custos e Retorno do Investimento.....	65
Tabela 10 – Investimento na Poupança	66

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABILUMI	Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação
ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CC	Corrente contínua
CDL	Curva de distribuição luminosa
CELMA	Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires
CENELEC	Comité Européen de Normalização Electrotécnica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DC	Direct current
EEC	European Economic Community
EIA	Energy Information Administration
EISA	Energy Independence and Security Act
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileira
FP	Fator de potência
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IF	Infravermelho
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRC	Índice de reprodução de cor
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LED	Light-emitting diode
LFC	Lâmpada fluorescente compacta
LI	Lâmpada incandescente
MME	Ministério de Minas e Energia
PAS	Publicly Available Specifications
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	Pulse Width Modulation
SINPHA	Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo
THDi	Distorção harmônica Total de Corrente
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA.....	13
1.1.1	Delimitação do Tema.....	15
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA.....	17
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	SITUAÇÃO DA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL NO BRASIL	20
2.2	DISPOSITIVOS DE ILUMINAÇÃO	25
2.2.1	Luz.....	25
2.3	CONCEITOS LUMINOTÉCNICO	26
2.3.1	Intensidade Luminosa.....	26
2.3.2	Curva de Distribuição Luminosa.....	26
2.3.3	Fluxo Luminoso	27
2.3.4	Eficiência Luminosa.....	27
2.3.5	Iluminância ou Iluminamento	28
2.3.6	Luminância	29
2.3.7	Índice de Reprodução de Cor.....	29
2.3.8	Temperatura de Cor	30
2.3.9	Vida Útil, Vida Média e Vida Mediana.....	30

2.3.10	Distorção Harmônica Total	31
2.3.11	Potência Ativa, Aparente e Reativa	31
2.3.12	Fator de Potência	32
2.4	TIPOS DE LÂMPADAS	33
2.4.1	Lâmpada Incandescente	33
2.4.1.1	Lâmpada incandescente comum	33
2.4.1.2	Lâmpada halógena	34
2.4.1.3	Lâmpada halógena dicróica.....	35
2.4.2	Lâmpada de Descarga	35
2.4.2.1	Lâmpadas fluorescentes.....	36
2.4.2.2	Lâmpada vapor de mercúrio	37
2.4.2.3	Lâmpada vapor metálico	38
2.4.2.4	Lâmpada vapor de sódio	39
2.4.2.5	Lâmpada mista	40
2.4.3	Lâmpadas LEDs	40
2.4.3.1	Histórico do LED.....	41
2.4.3.2	Diodos emissores de luz.....	42
2.4.3.3	Princípio de funcionamento dos LEDs.....	43
2.4.3.4	Características elétricas do LED alta potência	44
2.4.4	Circuitos de Controle	45
2.4.4.1	Conversor buck.....	46
2.4.4.2	Conversor boost	47
2.4.4.3	Conversor buck-boost.....	48
2.4.4.4	Conversores cúk, sepic e zeta.....	48
2.4.4.5	Conversor flyback	50
2.4.5	Características das Principais Lâmpadas para Uso Residencial.....	50

2.5	MERCADO ESTABELECIDO EM OUTROS PAÍSES	52
3	METODOLOGIA APLICADA	55
3.1	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PESQUISA	55
3.2	INSTRUMENTOS DE PESQUISA.....	56
3.2.1	Pequena Bancada para Experimento	56
3.2.2	Wattímetro Alicata	56
3.2.3	Esfera de Ulbricht	57
4	ENSAIOS E ANÁLISE ECONÔMICA DAS LÂMPADAS: COM LED DE ALTA POTÊNCIA, INCANDESCENTE E FLUORESCENTE.....	59
4.1	RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE POTÊNCIA E DO FLUXO LUMINOSO.....	59
4.2	RESULTADO DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	64
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O aumento da utilização da energia elétrica, devido ao crescimento demográfico e o aumento do poder aquisitivo da população, tem provocado a construção de mais usinas hidrelétricas. Estas não poluem o ar, mas causam enormes impactos ambientais, devido à quantidade de água represada a fim de mover as turbinas na produção da energia elétrica.

Uma alternativa seria a construção de usinas nucleares, mas essa produz lixo radioativo que deve ser armazenado em locais remotos. São consideradas perigosas, pois já ocasionaram catástrofes de grandes proporções, por exemplo, o acontecido em Chernobyl e Fukushima.

O acidente de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986, liberou 400 vezes mais contaminação que a bomba lançada sobre Hiroshima. Este evento forçou a evacuação e reassentamento de aproximadamente 200 mil pessoas, uma cidade inteira foi abandonada. (LIMA, 2011).

O acidente em Fukushima, o mais grave desde a catástrofe em Chernobyl, na Ucrânia, em 1986, aconteceu após um terremoto de 9 graus de magnitude na escala Richter na região de Tohoku (nordeste japonês). O tremor desencadeou um tsunami em todo o litoral e uma onda de quase 15 metros de altura arrasou as instalações da central nuclear, afetando os sistemas de resfriamento dos reatores e geradores de emergência situados no subsolo. (VEJA, 2012)

A energia eólica vem sendo implantada, principalmente nas cidades litorâneas, pois é uma energia que usa a força dos ventos para produzir energia elétrica, sendo considerada uma energia pura mas, no entanto, muito limitada.

A energia solar não causa prejuízos ao meio ambiente, mas ainda o investimento para a implantação é considerado alto (RONCAGLIO; JANKE, 2012).

Também é preciso lembrar da energia obtida com materiais não renováveis como os derivados do petróleo e o carvão mineral que correspondem a 67% da produção de energia mundial, mas que trazem consequências gravíssimas ao meio ambiente e na qualidade de vida de muitas populações (EIA, 2011).

Em 2001, com a restrição no abastecimento de energia elétrica, o setor energético brasileiro despertou de forma mais intensa a preocupação com a conservação e o uso eficiente da energia elétrica. Para suprir o déficit energético ocasionado pela diferença entre a taxa de crescimento da oferta e a da demanda, foram criadas metas de economia de energia elétrica, responsáveis por uma redução de 24% no consumo energético nacional (BARDELIN, 2004).

Passaram onze anos desde a principal crise energética e o país ainda sofre com possibilidade de racionamento. Ao final de 2012 após uma grande escassez de chuva e a diminuição no nível de água nas principais hidrelétricas foi necessário ativar todas as termelétricas que operaram em carga plena para suprir a demanda (GASPAR, 2013).

Segundo Gaspar (2013) a falta de chuva e a má gestão do setor energético nacional fizeram o país chegar nesta situação limite. Por exemplo dos projetos de geração de energia previsto para 2014 cerca de 48% estão impedidos de entrar em operação e na área de transmissão dos 166 projetos previsto para 2013 cerca de 54% estão com obras atrasadas (ORDOÑEZ; ROSA, 2013).

A conjuntura atual do setor elétrico brasileiro está muito semelhante ao que existia em 2001, ou seja, naquele período existiu um crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema (ANEEL, 2002).

Por isso antigas tecnologias de iluminação estão perdendo espaço para produtos com alta eficiência energética. No Brasil era utilizado na iluminação residencial basicamente dois tipos de lâmpadas: as incandescentes e as fluorescente, mas o governo está promovendo uma mudança.

As lâmpadas incandescentes foram utilizadas durante muitos anos principalmente em iluminação de interiores. No entanto, este é um método pouco eficaz, pois a maior parte da energia elétrica consumida é convertida em calor (aproximadamente 92%), e apenas uma parcela reduzida (8%) é convertida em luz visível (INEE). Este fato faz com que a comercialização das lâmpadas esteja sendo abolida em alguns países. No Brasil já há uma política com relação a isto conforme portaria interministerial Nº 1.007 de 31/12/10 de Minas e Energia, Ciência e Tecnologia e Indústria e Comércio, publicada no Diário Oficial da União, as incandescente comuns devem ser retiradas do mercado até 2016.

Comparadas às incandescentes, as fluorescentes apresentam vida útil e eficácia luminosa superiores. Não produzem calor excessivo e tem maior eficiência. Porém, estas lâmpadas apresentam gases em sua composição que são prejudiciais ao meio ambiente quando descartadas de forma inadequada. Também necessitam de um circuito externo para acionamento, o reator, que contribui com o aumento do custo do sistema (SALVETTI, 2008).

As lâmpadas fluorescentes compactas também estão no foco do governo. A portaria interministerial Nº 1008 estabelece eficiência energética mínima para esta tecnologia.

O surgimento do light-emitting diode (LED) de alta potência, que possui um baixo consumo de energia, apareceu como um aliado a esta nova tendência. Já que as tecnologias utilizadas como: iluminação por filamento de incandescência e iluminação com recurso a descarga de gases possui baixa eficiência e a outra problemas ambientais devido ao descarte (BRANDÃO, 2011).

1.1.1 Delimitação do Tema

A energia e o desenvolvimento sempre vão estar interligados. Neste sentido é preciso levantar maneiras de equacionar todas as questões: desenvolvimento humano, desenvolvimento sustentável, suas fontes, seus impactos, seus recursos naturais no âmbito de um meio ambiente sustentável.

Tendo em vista as informações anteriores é necessário achar formas de diminuir o consumo. Como a iluminação é aproximadamente 14% do gasto do setor residencial e sendo o item mais próximo da população, são demonstradas formas de diminuir o consumo usando uma nova tecnologia que é o LED de alta potência. Desta forma busca-se ter uma iluminação eficiente, sem danos ambientais e principalmente com baixo consumo de energia.

Os sistemas de iluminação, que representam, em média, 14% do consumo energético residencial, variando de 8% na região Sul a 19% na região Sudeste. No setor comercial alimentado por alta tensão, o consumo dos sistemas de iluminação representa 22% de seu consumo total, enquanto no setor de público, 23% do consumo é destinado a esse fim. Isso evidencia que a iluminação elétrica é o quarto maior consumidor de energia

nas residências do país o que nos dias de hoje corresponde a algo em torno de 15 mil GWh/ano (LIMBERGER; VASCONCELLOS, 2013).

E para o entendimento serão abordados os LEDs de alta potência, os sistemas de controle, uma breve explanação sobre outras tecnologias e a realização de um estudo comparativo visando a viabilidade econômica em substituir lâmpadas comuns por as de LED.

Para a comparação dos aspectos físicos serão utilizadas as lâmpadas: incandescente, fluorescente compacta e LED juntamente com os instrumentos de medições do laboratório da UTFPR e do LACTEC. Serão realizadas as medições: da potência ativa e aparente, do fator de potência, distorção harmônica total da corrente, eficiência luminosa e do fluxo luminoso. Os resultados alocados em planilha para posterior análise.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os três principais problemas encontrados, e que objetivaram o trabalho, foram:

1. Aumento do consumo de energia elétrica devido ao crescimento demográfico em contrapartida: diminuição dos recursos não renováveis, impactos ambientais provocados por algumas fontes de energia e má gestão dos sistema energético.
2. A falta de eficiência de algumas lâmpadas e a poluição no descarte.
3. A crescente participação da lâmpada LED no mercado e a falta de regulamentação para determinação da qualidade.

Em decorrência dos três problemas citados, existem os impactos ambientais devido: ao aumento de consumo de derivados de petróleo e carvão mineral, construção de hidrelétricas, de usinas nucleares, no descarte das lâmpadas. E o não aproveitamento da nova tecnologia por escolha de produtos não eficientes.

Logo: sendo o LED de alta potência uma solução para diminuição do consumo de energia elétrica é possível obter este benefício atuando diretamente na forma de iluminação, ou seja, com a troca das lâmpadas comuns por esta nova tecnologia?

Com a utilização do LED de alta potência, acredita-se que é possível diminuir o percentual de consumo de energia residencial. Além de ter uma vida útil maior que as demais lâmpadas.

O LED de alta potência ainda não foi amplamente divulgado e nem é fácil a sua aquisição. Isto pode representar um empecilho para a ampla utilização e mudança de cultura dos brasileiros, além da retirada do mercado das lâmpadas incandescente até 2016, e a preocupação quanto ao descarte da lâmpada fluorescente devido ao mercúrio, componente tóxico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 **Objetivo Geral**

Comparar a lâmpada com LED de alta potência com as convencionais considerando alguns parâmetros físicos e a viabilidade econômica.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

- Levantar dados bibliográficos sobre o consumo dos sistemas de iluminação, o mercado e o cenário nacional.
- Levantar as tecnologias de iluminação utilizadas atualmente e as suas características.
- Verificar o cenário atual das lâmpadas LED.
- Realizar medições e análise de alguns parâmetros para estudo comparativo entre as lâmpadas comuns e as de LED de alta potência
- Analisar a viabilidade econômicas das tecnologias apresentadas.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo dados da empresa Philips (2009) 19% de consumo energético global são utilizados em iluminação. Perante este cenário, o LED oferece ao mundo

melhor eficiência energética ao se comparar com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, e ao mesmo tempo, não apresenta o mercúrio ou outros componentes químicos tóxicos das lâmpadas fluorescentes ou de vapor de mercúrio.

Os LEDs já estão sendo utilizados em algumas aplicações específicas como projetos arquitetônicos e painéis luminosos. Mas um grande mercado está se abrindo que é o uso para iluminação residencial. Apresenta um elevado tempo de vida em torno de 50 mil horas o que reduz o custo da sua implantação no longo prazo.

Essa nova tecnologia pode ser uma aliada na redução do consumo de energia elétrica com iluminação residencial. Por isso pretende-se abordar esse tema, mostrando as qualidades desta nova tecnologia.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Classifica-se o estudo proposto como de natureza científica aplicada, devido ao fato de existir um problema claro (impacto ambiental com as fontes de energia, apagões pelo alto consumo, problemas com descarte da tecnologia existente na iluminação e falta de eficiência de alguns equipamentos) e uma proposta de solução (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

Pesquisa é a construção de conhecimento original de acordo com certas exigências científicas. Para que seu estudo seja considerado científico você deve obedecer aos critérios de coerência, consistência, originalidade e objetivação. É desejável que uma pesquisa científica preencha os seguintes requisitos: “a) a existência de uma pergunta que se deseja responder; b) a elaboração de um conjunto de passos que permitam chegar à resposta; c) a indicação do grau de confiabilidade na resposta obtida” (GOLDEMBERG, 1999).

Em relação ao objetivo macro a pesquisa enquadra-se como sendo uma pesquisa descritiva-experimental e bibliográfica. Pesquisa bibliográfica por buscar maiores informações sobre uma realidade ou tema em particular.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer

trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002).

Este tipo de pesquisa decorre da necessidade do aprofundamento na teoria do tema procurando possíveis soluções. Por este motivo será necessário buscar assuntos que contribuam para o desenvolvimento do trabalho seja por meio de: livros, artigos, monografias de graduação e mestrado e teses de doutorado de maneira a abranger os estudos dos seguintes temas: descrição das lâmpadas incandescentes, fluorescente e LED, o funcionamento desta nova tecnologia e dados fotométricos.

Pesquisa descritiva-experimental porque, segundo Medeiros (2003), existe uma necessidade de registro dos dados coletados na pesquisa, interpretação destes dados e análise por parte dos pesquisadores, sem interferência no ambiente pesquisado.

É quando o projeto busca, por exemplo, interferir no objeto de estudo. “[...] Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo”. (GIL, 2002).

Serão realizadas pesquisas e testes em campo observando o processo de coleta dos dados, estabelecendo comparativos entre as tecnologias utilizadas atualmente com a de LED de alta potência.

A metodologia é de grande relevância numa pesquisa científica, uma vez que é uma etapa preponderante para alcançarem-se os objetivos propostos.

O foco deste trabalho é analisar as lâmpadas com LED de alta potência e propiciar informações que possam sugerir a economia e os benefícios da utilização desta nova tecnologia em substituição das existentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SITUAÇÃO DA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL NO BRASIL

Verificação da Situação da Iluminação Segundo os Órgãos do Governo

O investimento no setor elétrico no Brasil tem sido insuficiente e o papel da geração de energia a partir do gás natural permanece incerto, no entanto, o uso da energia tem sido intensivo e crescente.

A energia elétrica é essencial e, muitas vezes, indispensável para o funcionamento dos mais diversos setores e atividades da sociedade. Dela depende o funcionamento da maior parte dos equipamentos de edificações residenciais, comerciais e públicas (LAMBERTS et al., 2010).

A partir de dados referentes ao ano de 2005, verifica-se que 22,2% do consumo de eletricidade são das edificações residenciais conforme é possível verificar na gráfico 1.

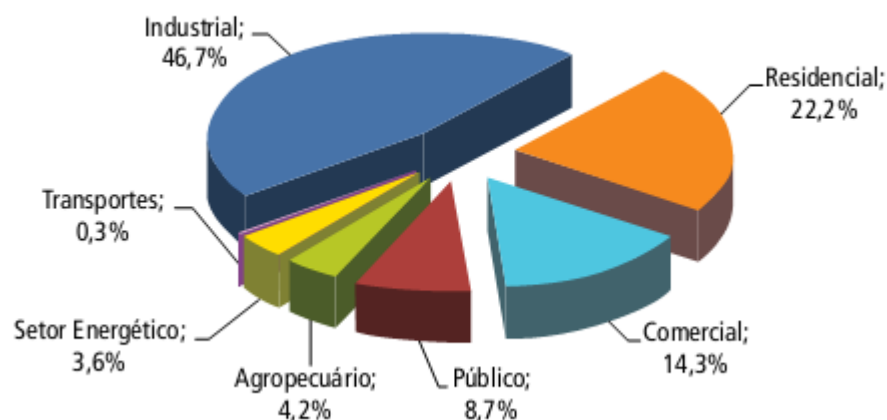


Gráfico 1 - Consumos Setoriais de Energia Elétrica Referentes 2005
Fonte: ELETROBRAS; PROCEL (2007).

Esta energia atende vários equipamentos que incluem sistema de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos é dividida conforme mostrado na gráfico 2. Nele é possível verificar que 14% do gasto deve-se a iluminação.

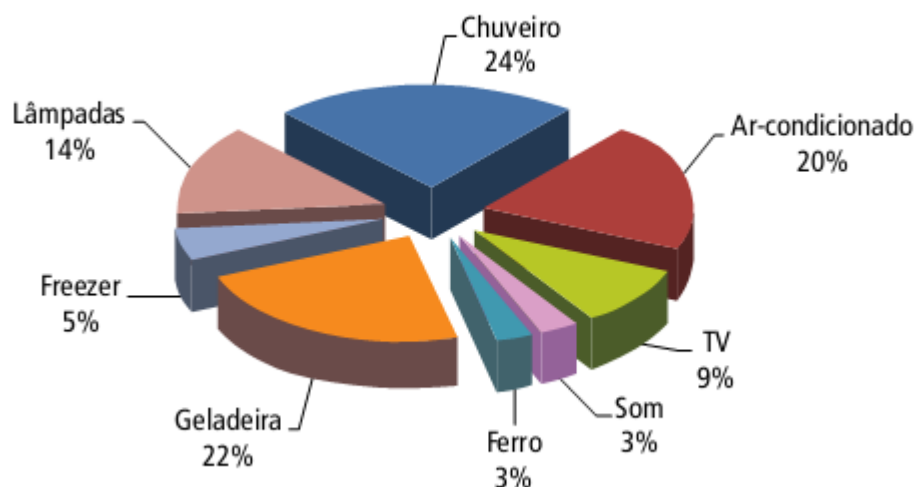


Gráfico 2 – Participação dos Equipamentos no Gasto de Energia Residencial
 Fonte: ELETROBRAS; PROCEL (2007).

Em 2005 a lâmpada mais utilizada era a incandescente de 60W com um percentual de 37,1%, conforme dados do SINPHA (Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos). No gráfico 3 é possível observar que as incandescentes eram 49,5% contra 47,5% das lâmpadas fluorescentes (ABILUMI, 2007).

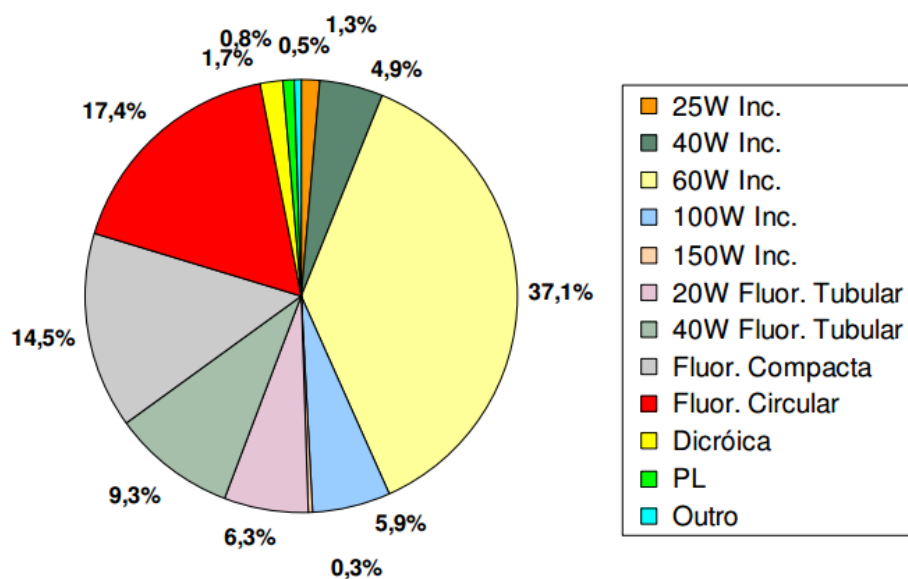
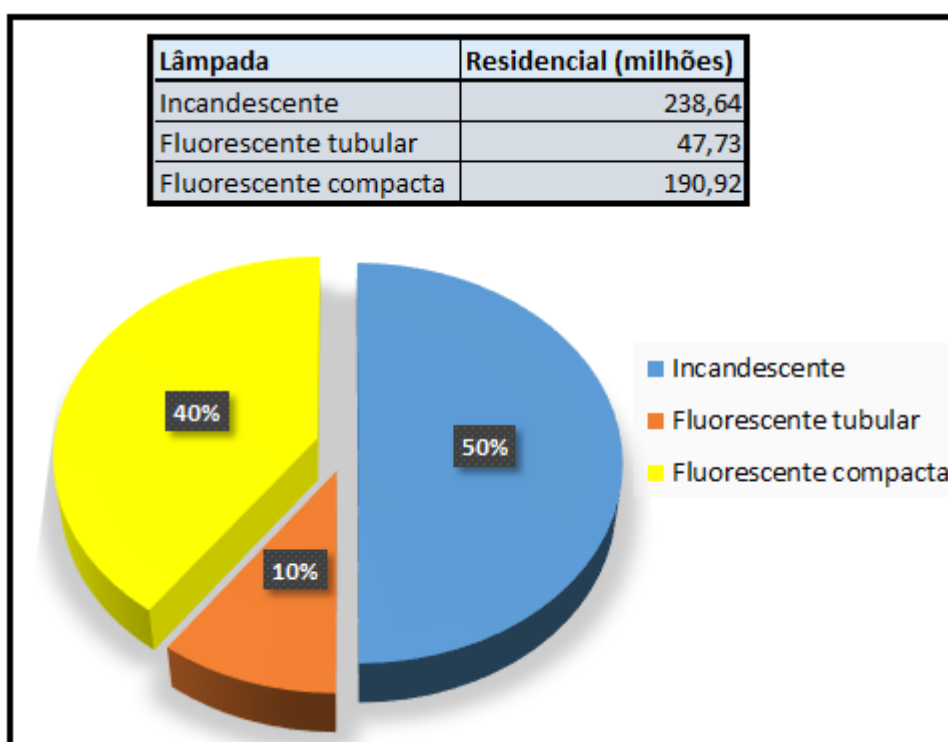


Gráfico 3 - Distribuição por Tipo de Lâmpada no Brasil 2007
 Fonte: ABILUMI (2007).

O faturamento em 2011 com setor de iluminação foi de R\$ 3,7 bilhões segundo dados Abilux (2012) - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. A quantidade de lâmpadas comercializadas no Brasil neste período: a incandescente 300 milhões, a fluorescente compacta 200 milhões, a fluorescente tubular 90 milhões e de LED 250 mil lâmpadas.

O parque brasileiro de lâmpadas de uso interno neste período (incandescentes, fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas) era estimado em 477,29 milhões de lâmpadas. Para formação do parque (gráfico 4) foram utilizados o número de unidades consumidoras residenciais disponibilizado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) anualmente na resenha mensal do mercado de energia elétrica e a posse média de lâmpadas fluorescentes ou incandescentes apresentada Eletrobras/Procel. (ELETROBRAS; PROCEL, 2012).



Ao mesmo tempo em que o aumento do poder de compra do brasileiro permite o acesso a produtos antes inacessíveis, no quesito lâmpada sua atitude vem mudando desde o apagão de 2001. Decorridos 10 anos da entrada das lâmpadas fluorescentes compactas no país, elas atualmente representam cerca de 200

milhões de unidades vendidas. Este mercado, que cresce cerca de 20% ao ano, apresenta na avaliação de Cricci “um índice muito pequeno quando comparado ao tamanho do mercado, visto que a lâmpada incandescente ainda deve ser responsável por aproximadamente 50% da iluminação residencial no Brasil”. Com a legislação que prevê a retirada gradual destas lâmpadas (superior a 40 watts) até 2016, este se apresenta como um mercado promissor para as empresas de iluminação (GOLDEN, 2011).

Segundo dados da Secretaria de Planejamento Energético (do Ministério de Minas e Energia) ainda são comercializadas cerca de 300 milhões de lâmpadas incandescentes no Brasil por ano. Esse montante deverá ser substituído futuramente por lâmpadas mais eficientes o que vai proporcionar uma economia, acredita-se em 10 milhões MWh/ano até 2030 (GOLDEN, 2011). O que representa cerca de 1% do consumo total do país ou 3,5% do consumo residencial (FERRO, 2011).

Para que isso possa acontecer o governo por meio de uma portaria nº 1007 de dezembro de 2010 sancionou a proibição de produção nacional e importação das lâmpadas de 150W e 200W já as de 60W, 75W e 100W a data limite de fabricação é de 30 junho de 2013 e a de comercialização a mesma data do ano de 2014. E as fluorescentes compactas segundo a portaria nº 1008 de dezembro de 2010 devem se adequar aos níveis mínimos de eficiência. (MME, 2012).

Uma preocupação com a substituição é das incandescente pela a fluorescente é o descarte, que não é realizado de forma controlada, pois a LFC possui entre 4 a 15mg de mercúrio (BULBOX, 2009), elemento tóxico para pessoas e animais. Se descartada sem cuidados, pode contaminar até 20 mil litros de água.

Neste contexto nasce a Lei Federal nº 12.305 publicada em 02 de agosto de 2010, que dispõe a respeito dos resíduos sólidos. Esta lei é regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e estabelece os princípios de responsabilidade compartilhada sobre a destinação dos produtos no fim de sua vida útil. A logística reversa é o instrumento previsto para através de ações, procedimentos e meios adequados viabiliza a coleta e restituição pós consumo dos resíduos, produtos aos setores empresariais para reaproveitamento ou destinações ambientalmente adequadas (ABDI, 2012).

A implantação da logística reversa em todo o País deverá ocorrer, no mínimo, em 2015, estima o secretário de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente, Nabil Bonduki (BRASIL, 2012).

Até o momento segundo responsáveis pelo sistema Bulbox (2009), a empresa Ambiensys Gestão Ambiental, apenas 5% das lâmpadas fluorescentes são recicladas.

E a tecnologia LED começa a ter o seu espaço no mercado nacional com a primeira fábrica da FLC. A inauguração que ocorreria em novembro de 2013 foi prorrogada para 2014. E a agência Investe São Paulo (2013) informa também o interesse de outras grandes empresas em atuarem neste segmento.

A brasileira FLC prevê inaugurar (...) sua primeira fábrica de LED no país, no bairro do Limão, em São Paulo, além de um Centro de Desenvolvimento e Inovação LED. A nova fábrica da FLC, porém, terá que concorrer com nomes de peso, como GE, Philips, Osram e Global Tech Led. A GE, por exemplo, estuda a instalação de uma fábrica de montagem de lâmpadas LED, mas com os componentes chineses. A Global Tech Led —, confirma as negociações com o governo de Santo Amaro da Imperatriz, na Grande Florianópolis (SC), para a implantação de fábrica de lâmpadas LED. A Philips, com seu recente investimento na sua fábrica em Varginha (MG), confirma seu interesse na tecnologia. Já a Osram, braço de iluminação do grupo alemão Siemens, tem investindo mundialmente em produtos considerados sustentáveis, como as lâmpadas LED. (INVESTE, 2013).

Motivado pela crescente participação dos produtos de LED no mercado e a falta de regulamentação para determinação da qualidade dos produtos, o Inmetro está priorizando a publicação de portarias para certificação das lâmpadas de LEDs em 2014. Com isso, espera-se que haja uma seleção de produtos de qualidade no mercado e o consumidor final possa comprar o produto de LED com garantia de um produto de longa vida e elevada eficiência. (IWASHITA, 2012).

Para tanto, as normas de produtos (lâmpadas, drivers e luminárias) estão sendo também priorizadas pelas comissões de estudo da ABNT (algumas normas já foram publicadas) e os laboratórios começam a se estruturar para realizar os ensaios específicos que serão exigidos pela norma (VARELA, 2013). Investimentos deverão ser necessários para a capacitação laboratorial, assim como será preciso definir os critérios de ensaios e amostragens.

2.2 DISPOSITIVOS DE ILUMINAÇÃO

2.2.1 Luz

A partir dos estudos de fenômenos elétricos e magnéticos, passou a considerar a luz como sendo formada por ondas eletromagnéticas que se propagam mesmo na ausência de matéria.

A luz visível refere-se ao conjunto de ondas capazes de provocar sensação visual num observador normal. (SALVETTI, 2008).

O sistema visual humano possui sensibilidade de recepção para uma faixa limitada das ondas eletromagnéticas, concebida como faixa visível. A porção correspondente a radiação eletromagnética visível tem comprimento de onda entre 380 e 750 nanômetros como é possível verificar na figura 1.

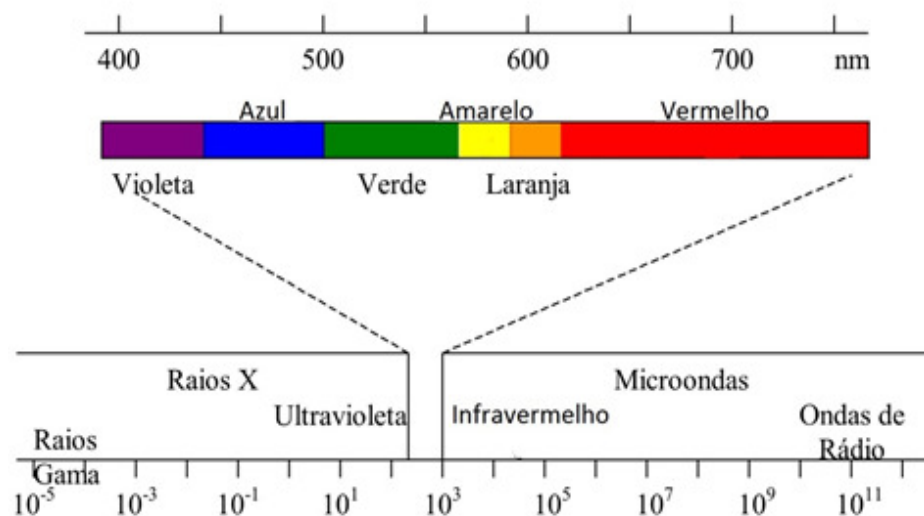


Figura 1 - Faixa de Radiação Visível

Fonte: ¹Curso de iluminação da UFSC.

¹ Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso_Iluminacao/07_cores/luz_01.htm>. Acesso em: 23 mai. 2013.

2.3 CONCEITOS LUMINOTÉCNICO

2.3.1 Intensidade Luminosa

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 lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujos comprimentos indicam as intensidades luminosas. Portanto, intensidade luminosa é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. (OSRAM, 2007). Símbolo (I) e a unidade candela (cd).

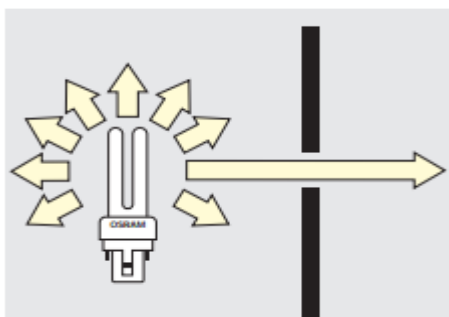


Figura 2 - Intensidade Luminosa
Fonte: OSRAM (2007).

2.3.2 Curva de Distribuição Luminosa

É a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. Considerando a fonte de luz reduzida à um ponto no centro de um diagrama e que todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a curva de distribuição luminosa (CDL). Para obter é preciso multiplicar o valor encontrado na CDL pelo fluxo luminoso da lâmpada e dividir o resultado por 1000lm. É comum encontrar nos catálogos dos fabricantes de lâmpadas e iluminárias (OSRAM, 2007). Símbolo CDL e a unidade (cd). A figura 3 mostra a curva da distribuição de intensidade luminosa no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (a) ou associada a um refletor (b).

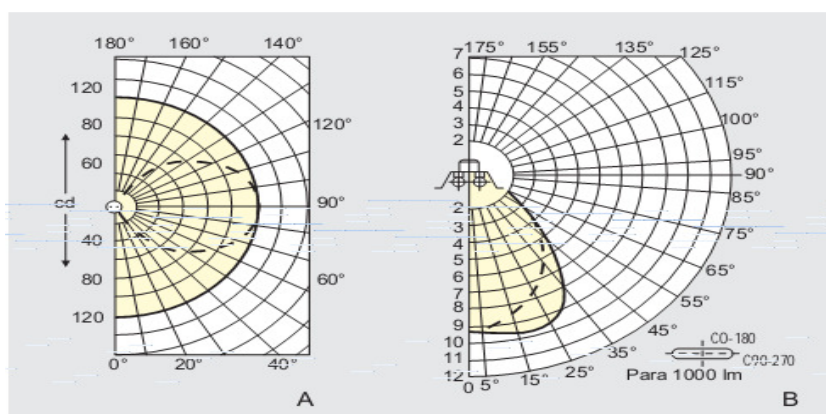


Figura 3 - Curva de Distribuição de Intensidades Luminosas
 Fonte: OSRAM (2007).

2.3.3 Fluxo Luminoso

É a radiação total emitida em todas as direções por uma fonte de luz. É uma das unidades fundamentais em engenharia de iluminação, dada como a quantidade total de luz emitida por uma fonte, em sua tensão nominal de funcionamento. (OSRAM, 2007). Símbolo (Φ) e a unidade lúmen (lm).



Figura 4 - Fluxo Luminoso
 Fonte: OSRAM (2007).

2.3.4 Eficiência Luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lumens são gerados por watt absorvido. Símbolo (η_w). Unidade lúmen/watt (lm/W). (OSRAM, ca. 2009).

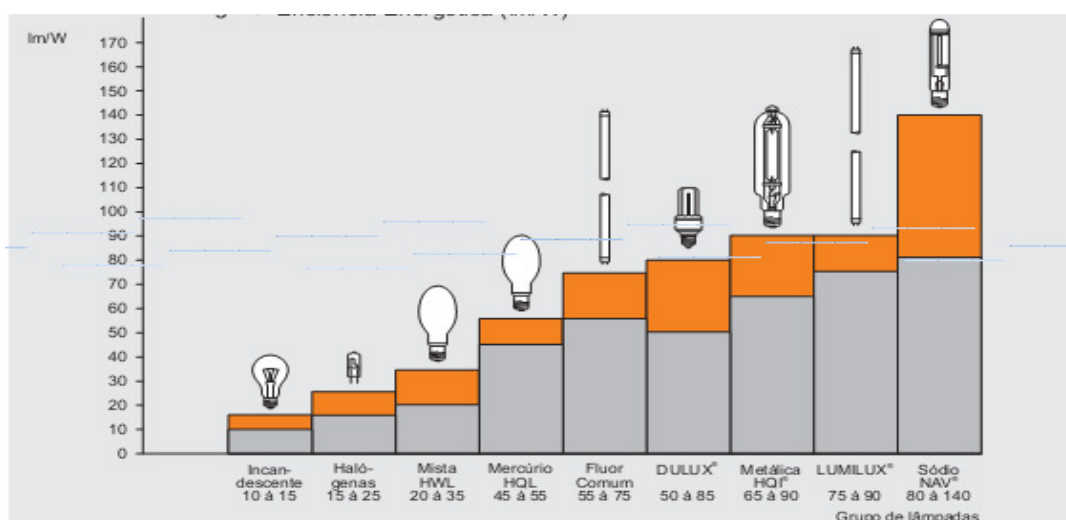


Figura 5 - Eficiência Energética (lm/W)
Fonte: OSRAM (2007).

2.3.5 Iluminância ou Iluminamento

A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define a iluminância. Expressa em lux, indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada à uma certa distância dessa fonte. Esta relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância (I/d^2). A iluminância pode ser medida através de um luxímetro. Símbolo (E) e a unidade lux (lx). (OSRAM, 2007).

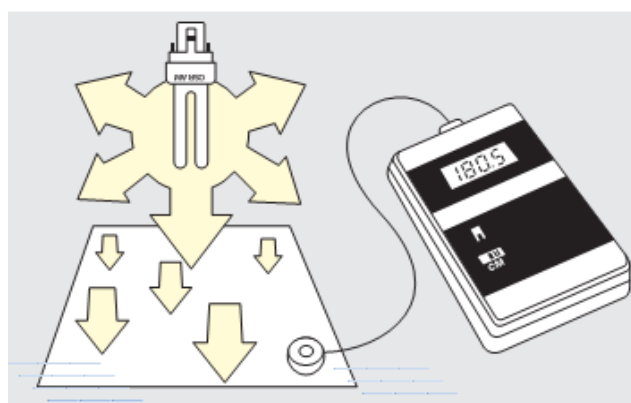


Figura 6 - Iluminância
Fonte: OSRAM (2007).

2.3.6 Luminância

É um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta, pois refere-se à intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. (OSRAM, 2007). A luminância refere-se à quantidade de potência luminosa que poderá ser percebida pelo olho humano quando este observa uma superfície a partir de um dado ângulo de visão. É desta forma um indicador do quão brilhante essa mesma superfície vai estar. Neste caso, o ângulo sólido de interesse corresponde ao ângulo sólido captado pela pupila do olho. Símbolo (L) e a unidade (cd/m^2).

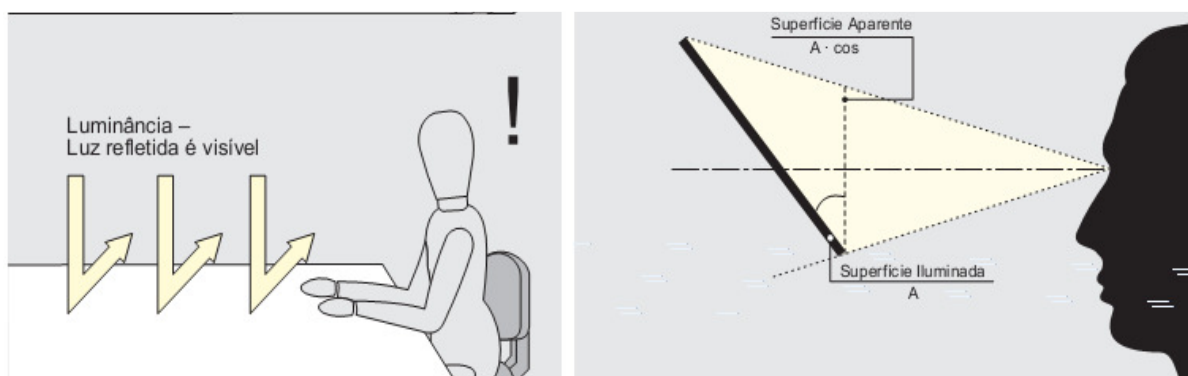


Figura 7 - Luminância
Fonte: Adaptado de OSRAM (2007).

2.3.7 Índice de Reprodução de Cor

É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural. Por exemplo, as lâmpadas com reprodução índice de reprodução 100 apresentam as cores com total fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. Símbolo (IRC) e unidade (R).

Na figura 8 ao lado esquerdo temos a iluminação com uma lâmpada incandescente e que apresenta uma IRC de 100 já no lado direito é realizado a iluminação por uma fluorescente tubular (3000K) que tem uma IRC de 85. (OSRAM, 2007).



Figura 8 - Variação da Reprodução de Cor
 Fonte: OSRAM (2007).

2.3.8 Temperatura de Cor

É a grandeza que expressa a aparência da cor da luz. Quanto mais alta temperatura de cor, mais branca é a cor da luz. A luz quente é a que tem aparência amarelada e a temperatura de cor baixa, 3000K ou menos. A luz fria, ao contrário, têm aparência azul-violeta com temperatura elevada, 6000K ou mais. A luz branca natural é aquela emitida pelo céu aberto ao meio dia, cuja temperatura de cor é de 5800K. Unidade Kelvin (K). (OSRAM, 2007).



Figura 9 - Temperatura de Cor
 Fonte: OSRAM (2007).

2.3.9 Vida Útil, Vida Média e Vida Mediana

Vida útil é o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada, somando ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período, ou seja, 30% de redução da quantidade de luz inicial. (OSRAM, ca. 2009).

Vida média é a média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada. (OSRAM, ca. 2009).

Vida mediana é o número de horas resultantes, em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas. Horas (h). (OSRAM, ca. 2009).

2.3.10 Distorção Harmônica Total

Termo usado para quantificar o nível de distorção da forma de onda de sinais de tensão ou de corrente em relação à forma de onda ideal senoidal à frequência fundamental (BRONZEADO et al., 1997).

A THDi é a distorção harmônica total da corrente absorvida por uma carga não linear (por exemplo lâmpada fluorescente) em relação à onda senoidal pura com frequência de 60Hz fornecida pela concessionária (COPEL, 2012).

2.3.11 Potência Ativa, Aparente e Reativa

Em corrente alternada encontramos três tipos de potência: ativa, reativa e aparente (SILVA, 2006).

A potência ativa é a que efetivamente produz trabalho ou energia como: luz, calor, movimento, entre outras. A unidade de medição é watt (W).

A potência reativa é aquela utilizada para produzir os campos elétricos e magnéticos necessários para o funcionamento dos motores, transformadores, geradores, reatores, entre outros. Tudo que exige energia reativa elevada causa baixo fator de potência, este vai ser discutido no item 2.3.12. A unidade de medida var (Volt Ampere reativo).

A aparente é a potência absorvida da rede. É o resultado da composição das potências ativa e reativa, também conhecida como potência total. A unidade de medida VA (Volt Ampere)

Uma forma de relacionar a potência ativa P, reativa Q, aparente S e o fator de potência (FP) de forma gráfica é através do triângulo das potências:

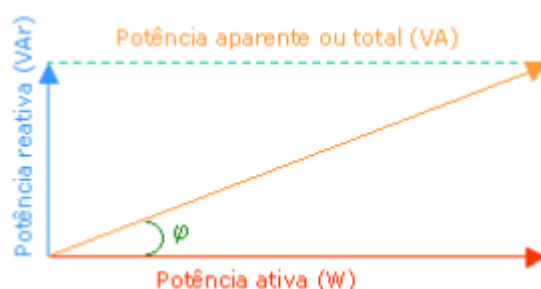


Figura 10 - Triângulo das Potências
Fonte: SILVA (2006).

Relações entre as potências:

$$FP = \cos \varphi = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad (1)$$

$\cos \varphi$ = co-seno do ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente.

$$\text{sen} \varphi = \frac{Q(\text{var})}{S(VA)} \quad (2)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (3)$$

2.3.12 Fator de Potência

O fator de potência é definido pela razão entre as potências ativa e aparente de um circuito como é possível verificar na equação (1), resultando em um número adimensional entre zero e um. Quanto mais próximo da unidade for o fator de potência, indica que a energia está sendo consumida de forma mais eficiente, visto que apenas a potência ativa realiza trabalho efetivamente. No entanto, quanto mais próximo a zero indica que maior parte da energia consumida é reativa, necessária para o funcionamento de elementos armazenadores de energia, como indutores e capacitores, mas que deve ser compensada, pois gera perdas e diversas perturbações no sistema elétrico. (COPEL, 2012).

Na maioria dos casos, as tensões e correntes do sistema elétrico podem ser consideradas senoidais puras, logo seus valores eficazes totais são iguais aos de suas componentes fundamentais. Assim a equação para o cálculo do fator de potência se resume ao cosseno do ângulo φ : $FP = \cos \varphi$.

No entanto, há situações no sistema elétrico em que as tensões e correntes não são senoidais puras. Para estes casos a equação geral para o cálculo do fator de potência deve ser utilizada. Nestes casos é utilizado a equação (4) que é

resultado da inserção do conceito da distorção harmônica da corrente, desprezando as possíveis distorções na forma de onda da tensão.

$$FP = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{(1+THDi^2)}} \quad (4)$$

É possível confirmar que se for uma senoidal pura, o THDi será nulo e o resultado da equação será apenas o cosseno do ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente.

2.4 TIPOS DE LÂMPADAS

2.4.1 Lâmpada Incandescente

2.4.1.1 Lâmpada incandescente comum

A lâmpada incandescente foi a primeira a ser desenvolvida e ainda hoje é uma das mais utilizadas. A luz é produzida por um filamento aquecido pela passagem de corrente elétrica alternada ou contínua (efeito joule). O filamento opera em uma temperatura elevada e luz é somente uma parcela da energia irradiada pela transição de elétrons excitados para órbitas de maior energia devido à vibração dos átomos.



Figura 11 - Lâmpada Incandescente
Fonte: ²Página da PHILIPS.

² Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd>. Acesso em: 06 jun. 2013.

Possuem um bulbo de vidro como podemos ver na figura 11, em cujo interior existe um filamento de tungstênio, enrolado uma, duas ou três vezes, o qual, pela passagem da corrente elétrica, fica incandescente.

Para que o filamento não se oxide, realiza-se o vácuo no interior do bulbo, ou nele se coloca um gás inerte, em geral o nitrogênio ou argônio (BRANDÃO et al., 2011). O bulbo, invólucro selado que encerra o elemento luminoso de uma lâmpada, pode ser transparente translúcido ou opalino, sendo este último é usado para reduzir a luminância ou o ofuscamento (luminância muito intensa).

O filamento, no entanto, se desgasta com o tempo e se rompe provocando sua “queima” e o que diminui seu desgaste prematuro é um gás inerte ou vácuo no interior do bulbo de vidro. O índice de reprodução de cores chega bem próximo aos 100 e podem ser facilmente dimerizadas. A eficiência energética é baixíssima, pois converte cerca de 8% da energia sob forma de luz, 81% por irradiação e 11% por calor por convecção (BRANDÃO et al., 2011).

2.4.1.2 Lâmpada halógena

Essa lâmpada possui gases halógenos no seu interior que, quando combinados com o filamento de tungstênio incandescente, promovem algumas vantagens, em comparação as incandescentes comuns: luz mais brilhante e uniforme, maior eficiência energética que (entre 15 e 25 lm/W), vida útil mais longa (2000 a 4000 horas) e menores dimensões. (OSRAM, 20--).



Figura 12 - Lâmpada Halógena
Fonte: 3 Página da PHILIPS.

³ Disponível em: <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/ecoclassic-1500h/63513/cat/?t1=ProductList>. Acesso em: 06 jun. 2013.

A vida útil mais longa é conseguida pelo ciclo regenerativo da halogênio que deposita novamente sobre o filamento, as partículas de tungstênio que foram desprendidas pelo aquecimento.

2.4.1.3 Lâmpada halógena dicróica

O termo “dicróico” vem do refletor, ou seja, a lâmpada halógena associada ao refletor dicróico. Com as mesmas vantagens das halógenas normais, as dicróicas possuem um refletor multifacetado que transmite para trás da lâmpada, cerca de 66% da radiação infravermelha emitida (calor) e permite um foco de luz direcionado e mais frio (OSRAM, 20--). Por este motivo é amplamente utilizado em iluminações de destaque: quadros, vitrines, objetos.



Figura 13 - Lâmpada Halógena Dicróica
Fonte: ⁴ Página da PHILIPS.

2.4.2 Lâmpada de Descarga

A luz de uma lâmpada de descarga não é produzida pelo aquecimento de um filamento, mas pela excitação de um gás (um vapor de metal ou uma mistura de diversos gases e vapores) dentro de um tubo de descarga, ou seja, o fluxo luminoso é gerado direta ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores.

⁴ Disponível em: <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/lampadas/lampadas-halogenas/refletores-de-alta-tensao/halogeno-par30s/42382/cat/>. Acesso em: 06 jun 2013.

2.4.2.1 Lâmpadas fluorescentes

Consistem de um bulbo cilíndrico de vidro, tendo em seu interior vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão e as paredes internas do tubo são recoberta por fósforo (LIGHTING NOW, 2013). Espirais de tungstênio, revestidas com uma substância emissora de elétrons, formam os eletrodos em cada uma das extremidades do tubo.

Quando uma diferença de potencial elétrico é aplicada, os elétrons passam de um eletrodo para o outro, criando um fluxo de corrente denominado de arco voltaico ou descarga elétrica. Esses elétrons chocam-se com os átomos de argônio, os quais, por sua vez, emitem mais elétrons. Os chocam-se com os átomos do vapor de mercúrio e os energizam, causando a emissão de radiação ultravioleta (UV). Quando os raios ultravioleta atingem a camada fosforosa, que reveste a parede do tubo, ocorre a fluorescência, emitindo radiação eletromagnética na região do visível.

Para esta lâmpada funcionar é necessário um equipamento auxiliar: os reatores. Eles servem para limitar a corrente e adequar as tensões para o perfeito funcionamento das lâmpadas. Os tipos de reatores encontrados no mercado são: eletromagnéticos e eletrônicos. (LIGHTING NOW, 2013).

Os reatores eletrônicos são fontes chaveadas em alta frequência, da ordem de kilohertz, que controlam a corrente de alimentação da lâmpada. Estes equipamentos, diferentemente dos reatores magnéticos, dispensam o uso ignitores e de grandes capacitores externos para a correção do fator de potência. Possibilitam também o controle de outros parâmetros elétricos da lâmpada, conferido maior rendimento em todo o conjunto. Contudo, devido ao alto custo e a menor robustez, se comparado ao magnético, ainda não foram amplamente empregados. (COPEL, 2012).

Os reatores magnéticos são indutores dimensionados para operarem na frequência da rede elétrica. Podem ser subdivididos em internos e externos, dependendo da aplicação. Os externos são geralmente fixados na estrutura de sustentação e se necessário possibilitam a conexão com os relés fotoelétricos. Junto com o indutor, no interior do reator são instalados o ignitor e um capacitor para correção do fator de potência. (COPEL, 2012).

Um fator muito importante na especificação dos reatores magnéticos é o seu rendimento, pois depende diretamente da qualidade da matéria-prima utilizada nos fios de cobre e chapas de ferro silício, do processo produtivo e da otimização do

projeto do indutor. O uso de reatores com baixo rendimento aumenta o consumo de energia do ponto de iluminação desnecessariamente.



Figura 14 - Lâmpada Fluorescente
Fonte: ⁵ Página da PHILIPS.

A correta aplicação dos reatores garante um melhor desempenho para os projetos elétricos e luminotécnico, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso e a vida útil da lâmpada.

2.4.2.2 Lâmpada vapor de mercúrio

A base construtiva destas lâmpadas é uma tubo de quartzo, contendo vapor de mercúrio em alta pressão, capaz de suportar elevadas temperaturas (PEREIRA; SOUZA, 2005), possuindo em cada extremidades um eletrodo principal e um eletrodo auxiliar.



Figura 15 - Lâmpada Vapor de Mercúrio
Fonte: ⁶ Página da AVAST.

⁵ Disponível em: http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd. Acesso em: 06 jun. 2013.

⁶ Disponível em: <http://www.avantsp.com.br/en/catalogo-de-produtos/lampadas-descarga/vapor-de-mercúrio>. Acesso em: 06 jun. 2013.

Em funcionamento, quando a tensão é aplicada à lâmpada cria-se um arco entre os dois eletrodos (PEREIRA; SOUZA, 2005). Esse arco gerado provoca um aquecimento que leva a ionização do gás e o aparecimento de vapor de mercúrio. Desta forma, a impedância elétrica é reduzida e como a do circuito de partida é elevada, devido à presença de uma resistência de arranque em série, a descarga passa a ser feita pelos eletrodos principais. A lâmpada leva em torno de 6 minutos a arrancar, e após ser desligada, o mercúrio não pode ser de novo ionizado até que a temperatura seja suficientemente baixa. Isto pode levar entre 3 a 10 minutos, dependendo da potência e das condições externas.

2.4.2.3 Lâmpada vapor metálico

Similar, em construção, a lâmpada de mercúrio mas formada de iodetos como o índio e o sódio. A luz é produzida pela excitação de átomos de aditivos metálicos em um tubo de arco de quartzo (RODRIGUES, 2002).

Além do reator, esta lâmpada necessita de uma tensão maior do que a fornecida pela rede para iniciar a descarga para isso utilizou um equipamento auxiliar de partida: o ignitor.



Figura 16 - Lâmpada Vapor Metálico
Fonte: ⁷ Página da AVAST.

⁷ Disponível em: <http://www.avantsp.com.br/en/catalogo-de-produtos/lampadas-descarga/multi-vapor-metalico>. Acesso em: 06 jun. 2013.

2.4.2.4 Lâmpada vapor de sódio

As lâmpadas de sódio são divididas em: baixa e alta pressão.

As primeiras são as fontes luminosas conhecidas com maior eficiência luminosa, isto porque todo o seu espectro é gerado numa gama de grande sensibilidade do olho humano, pois emitem num espectro muito estreito e a luz tem coloração amarela. O problema é o baixíssimo valor de IRC que apresentam. As lâmpadas de sódio de baixa pressão são constituídas por um invólucro de vidro, capaz de manter o vácuo, revestido interiormente por uma fina camada de material transparente para a luz visível, mas refletor para a gama de infravermelhos. Este invólucro permite manter a atmosfera extremamente rarefeita necessária à formação do plasma de vapor de sódio, permitindo a saída da luz visível mantendo a radiação infravermelha no seu interior. Existe no interior deste invólucro existe um fino tubo em forma de U, contendo sódio sólido e uma pequena quantidade de uma mistura gasosa de néon e árgon necessários no arranque da lâmpada. (ARAÚJO, 2007).



Figura 17 - Lâmpada de Sódio
Fonte: ⁸ Página da AVAST.

As lâmpadas de sódio de alta pressão conseguem, devido a introdução de mercúrio, ter um espectro mais alargado, permitindo uma melhor reprodução de cores. Estas são constituídas por um tubo de descarga de óxido de alumínio, encapsulado num invólucro de vidro. O tubo é preenchido por um composto de sódio e mercúrio, além de uma mistura gasosa de néon e árgon que serve para despoletar o arranque. A principal perda comparado com as lâmpadas de baixa pressão é o

⁸ Disponível em: <http://www.avantsp.com.br/en/catalogo-de-produtos/lampadas-descarga/vapor-de-sodio>. Acesso em: 06 jun. 2013.

fato de terem uma menor eficiência luminosa, contudo apresentam um IRC mais generoso. No geral, as lâmpadas de vapor de sódio, são as mais utilizadas na iluminação pública, a característica amarelada do fluxo luminoso é especialmente útil em locais com forte ocorrência de nevoeiro. (ARAÚJO, 2007).

2.4.2.5 Lâmpada mista

A lâmpada de luz mista são uma modificação das lâmpadas de mercúrio que utilizam em conjunto com o tubo de descarga, em ligação série, um filamento de lâmpada incandescente (RODRIGUES, 2002) que controla a corrente na lâmpada; isto permite que ela seja utilizada diretamente da rede elétrica de alimentação sem a necessidade de equipamento auxiliar. Sua eficiência é menor que as lâmpadas de vapor de mercúrio.

Sua distribuição espectral é boa proporcionando luz branca e suave.



Figura 18 - Lâmpada Mista
Fonte: ⁹ Página da FLC.

2.4.3 Lâmpadas LEDs

As lâmpadas LEDs estão vindo com a promessa de substituir as lâmpadas convencionais e em muitos casos já fazem isso muito bem. Os LEDs até pouco tempo eram utilizados para soluções de muito baixa potência e essencialmente para sinalização. Podem ser aplicadas nas mais diversas situações, pois devido ao seu

⁹ Disponível em: <http://www.flc.com.br/produto/80/9/5/Vapores-Mista-Mista#.UWC1cBe-pEA>. Acesso em: 06 jun. 2013.

tamanho reduzido permitem uma boa integração em termos de espaço requerido. Esta nova lâmpada não emite calor, raios ultravioleta (UV) nem infravermelho (PHILIPS, 2012) e converte apenas 5% da energia em calor o restante é transformado em luz. (RIBEIRO, 2010).

O seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização de díodos emissores de luz associados de forma a criar um fluxo luminoso elevado. A utilização dos LEDs para iluminação está sendo possível graças ao desenvolvimento de díodos brancos de alta potência e elevada eficiência.

Esta lâmpada é composta: por um bulbo, de LEDs dispostos em um dissipador de calor (pois a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura, por isso tem a necessidade deste dispositivo) e de um driver.



Figura 19 - Lâmpada LED
Fonte: ¹⁰ Página da PHILIPS.

2.4.3.1 Histórico do LED

A respeito da criação do LED e sua evolução, a primeira observação do fenômeno de emissão de luz a partir de um semicondutor foi em 1907 pelas mãos do engenheiro Henry Joseph Round que, ao realizar experimentos na área de rádio, descobriu o efeito da eletroluminescência. Ele publicou um artigo que indicava que o primeiro LED foi um diodo Schottky, em vez de um diodo junção PN (SCHUBERT, 2006).

¹⁰ Disponível em: <http://www.ecat.lighting.philips.com.br//master-ledlamps-dimtone/68201/cat/?t1=ProductList>. Acesso em: 06 jun. 2013.

Já em 1927 o técnico de rádio Oleg Losev criou o primeiro LED composto de óxido de zinco e carboneto de silício que quando ionizados, produziam luz. Losev não sabia da descoberta de Round e publicou detalhes de seu experimento em um jornal russo ainda em 1927. Ele continuou desenvolvendo sua descoberta e publicando os detalhes em revistas inglesas e alemãs até 1930, mas não conseguiu chamar a atenção da indústria luminotécnica da época (ZHELUDEV, 2007).

Em 1962, teria sido criado o primeiro LED indicador de luz vermelha (SERRADURA, 2010) de 10 microcandelas pelo pesquisador Nick Holonyak Jr, que chegou a afirmar para a edição de fevereiro de 1963 da Reader's Digest que a luz incandescente estava condenada. Outros especialistas conseguiram aumentar sua eficiência e, em 1971, surgiram no mercado as primeiras tonalidades de verde, amarelo e laranja. Em 1993, despontou o primeiro LED azul viável comercialmente criada pela empresa Nichia Corp.

De sua invenção até os tempos atuais, o maior marco de sua evolução foi a descoberta do LED de luz branca, em 1995, pelo pesquisador japonês Shuji Nakamura, o LED de luminescência branca consiste em LED ultravioleta com uma camada de fósforo. Esse material, em cima do semicondutor, converte a luz ultravioleta em luz branca, como ocorre na fluorescente. Sua temperatura de cor pode variar entre 2700 K e 6500 K.

O rendimento dos diodos em geral é de cerca de 90 lúmens por watt e duram até 50 mil horas, de acordo com o tipo de LED e a qualidade de sua fabricação. A maior parte dos diodos comercializados tem 5W, mas há tipos de 300W no mercado.

2.4.3.2 Diodos emissores de luz

O LED é um componente semicondutor (BULLOUG, 2003) que converte corrente elétrica em luz, por isso é chamado de Diodo Emissor de Luz – LED, a conversão de energia elétrica em luz é conhecida como eletroluminescência.

LED é uma partícula de material semicondutor, sendo montado com componentes ópticos usados para moldar o seu padrão de radiação e ajudar na reflexão da luz. Não possui filamento, eletrodos, gás ou tubo de descarga tendo

elevada resistência a impactos, pois não possui componentes mecânicos que possam ser danificados durante o manuseio para instalação e manutenção.

Os LEDs podem ser classificados em três categorias: indicativos, de alto brilho e de potência. A figura 20 mostra um exemplo de cada grupo.

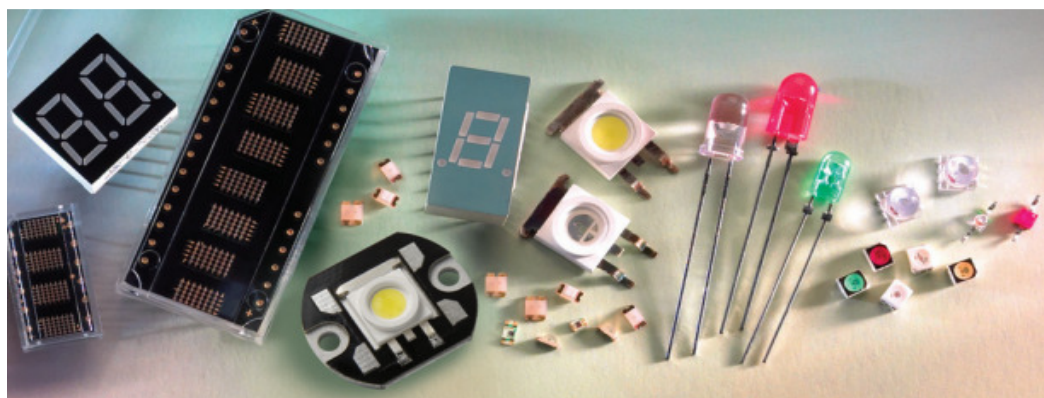


Figura 20 - Tipos de LEDs
Fonte: ¹¹ Página da NEWARK.

2.4.3.3 Princípio de funcionamento dos LEDs

A maioria dos semicondutores é feita por dopagem de silício com um material que cria carga negativa (tipo N), ou carga positiva (tipo P). (WINDER, 2008). Nesta junção, o lado P contém essencialmente lacunas (falta de elétrons) enquanto o lado N contém cargas essencialmente cargas negativas (excesso de elétrons).

Quando é aplicada uma voltagem direta no semicondutor de junção “PN” os elétrons movem-se do pólo “N” para o pólo “P” e as lacunas do “P” para o “N”. Durante este movimento ocorre recombinação, ou encontro, dos elétrons com as lacunas nas proximidades da junção, sendo que a energia possuída pelo elétron é liberada em forma de calor ou fótons de luz, que é emitida pelo LED como é possível verificar na figura 21.

O diodo feito com silício e germânio a maior parte da energia é liberada da forma de calor, já com o Arsenato de gálio ou o Fosfeto de gálio, a quantidade de

¹¹ Disponível em: http://www.newark.com/pdfs/techarticles/avago/LED_Solutions.pdf. Acesso em: 10 mai. 2013.

fótons de luz emitido é grande o suficiente para serem utilizados como fonte de luz artificial.

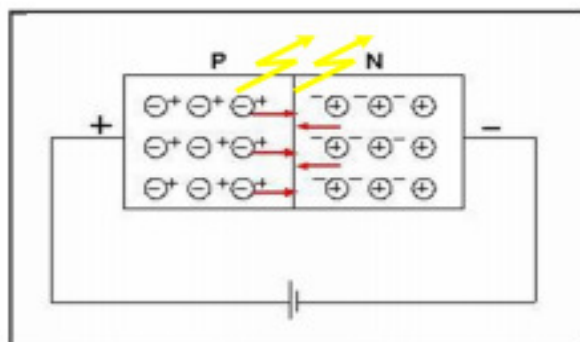


Figura 21 - Junção P-N - Polarização Direta
 Fonte: ¹² Página do Sistema Maxwell da PUC-Rio.

O LED emite luz monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semicondutor. A dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio. Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro (CERVI, 2005).

2.4.3.4 Características elétricas do LED alta potência

O LED apresenta uma baixa tensão de condução, entre 2,5V e 4V, além de operar com corrente contínua. A intensidade luminosa do dispositivo é diretamente proporcional à sua corrente de polarização direta. Portanto, o controle da intensidade luminosa do LED pode ser feito através do controle da corrente.

A temperatura de operação do LED influencia no seu funcionamento. Este semicondutor apresenta uma resistência com coeficiente de temperatura negativo. O aumento da temperatura resulta em decréscimo da resistência e, conseqüentemente, um aumento da corrente. Mas isso provoca o aquecimento do LED.

¹² Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/3662/3662_4.PDF. Acesso em: 10 mai. 2013.

Portanto, os LEDs não podem ser ligados diretamente à rede elétrica, pois os sinais de tensão e corrente de operação são diferentes dos sinais fornecidos pela concessionária energia elétrica. Então, se faz necessário o uso de um circuito auxiliar para adequar esses sinais e limitar a corrente aplicada aos LEDs. Este circuito é conhecido como driver.

2.4.4 Circuitos de Controle

Cada fonte de luz necessita de um circuito específico para seu correto funcionamento. Eles necessitam de reatores que possuem um estágio de retificação que vai transformar a tensão alternada em contínua, alimentando um conversor CC-CC (corrente contínua) a partir da rede elétrica.

Os conversores têm por objetivo adequar os níveis de tensão e controlar a corrente na saída, podendo ser circuitos redutores ou elevadores de tensão, com ou sem isolamento.

Os conversores DC-DC são dispositivos eletrônicos utilizados para converter uma fonte de tensão contínua de um nível para outro. Geralmente são compostos por transistores e por elementos passivos: diodos, bobinas, condensadores e resistores. Estes conversores são controlados através de pulse width modulation (PWM) uma modulação por largura de pulso, sendo o duty-cycle a principal característica que controla o valor da tensão na saída.

Estes conversores são divididos em dois grupos:

- Conversores não isolados: step-down ou Buck, step-up ou boost e step-up/down ou Buck-boost.
- Conversores isolados: flyback, forward, push-pull, meia ponte e ponte completa.

Os conversores isolados denominam-se desta forma pois possuem um transformador no seu circuito que isola a saída da entrada.

Na tabela 1 é possível verificar a classificação: Forward e Flyback. A primeira a energia percorre o elemento magnético e a carga simultaneamente, já o outro a energia é transferida para o elemento magnético e num segundo estágio é

liberada para a carga. Além disso, os conversores podem ser classificados em Inversores e Não Inversores de polaridade.

Conversores	Forward	Flyback
Não Isolado	Step-down (Buck)	Não Inversor Step-up (Boost) SEPIC
		Inversor Buck-Boost Cúk
Isolado	Forward (Buck Isolado) Push-Pull Meia Ponte Ponte Completa	Flyback Cúk Isolado

Tabela 1 - Topologias de Conversores DC-DC
Fonte: Autoria própria.

Os conversores que vão ser abordados são amplamente utilizados em fontes de tensão controladas. No entanto, para aplicação em sistemas de iluminação empregando LEDs é necessário que se tenha o controle da corrente de saída, e não da tensão. Uma alternativa simples é utilizar um resistor em série (chamado shunt) com a carga. Então, a corrente nos LEDs pode ser controlada através da tensão aplicada a este resistor.

Estes circuitos, muito similares a uma fonte chaveada (na verdade fazem parte dela), geralmente realizam a conversão aplicando tensão contínua pulsada em um indutor ou transformador com determinada frequência/período (usualmente na faixa de 100 kHz a 5 MHz) que faz com que o fluxo de corrente gere energia magnética armazenada, que é então aproveitada em uma saída.

O circuito de controle deverá monitorar a tensão neste resistor e comparar com uma referência.

2.4.4.1 Conversor buck

O conversor ou regulador buck é a topologia mais básica para reguladores chaveados (BATES; MALVINO, 2007) é um circuito simples, pequeno e de baixo

custo devido ao número reduzido de componentes empregados para seu funcionamento.

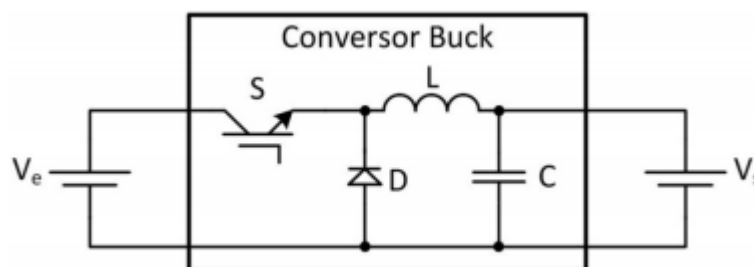


Figura 22 - Conversor Buck
Fonte: ELMANO (2011).

A característica principal deste circuito é alimentar a carga com uma tensão de saída inferior à tensão de entrada, sem isolamento entre elas, ou seja, é sempre um abaixador de tensão (BATES; MALVINO, 2007). O conjunto L-C (indutor-capacitor) é usado como um filtro passa-baixos. O indutor limita a ondulação de corrente e o capacitor reduz a ondulação de tensão na carga. Se o valor da indutância for elevado, a ondulação da corrente será reduzida, e o capacitor de saída poderá ser retirado. Esta configuração apresenta a vantagem de reduzir ainda mais o número de componentes do circuito. Além disso, a vida útil de um capacitor eletrolítico é inferior à dos LEDs, e pode ser um fator limitante da vida útil do sistema.

2.4.4.2 Conversor boost

Este conversor possui característica de alimentar a carga com uma tensão de saída superior à tensão de entrada. Assim como o conversor buck, é considerado um circuito simples e de baixo custo, sem isolamento entre a fonte e a carga.

O princípio de funcionamento do conversor é armazenar energia no indutor, enquanto o interruptor permanecer conduzido, e posteriormente transferir esta energia para o capacitor e a carga, enquanto o interruptor estiver em bloqueio. A tensão de saída é superior à de entrada pelo fato de o indutor operar como uma fonte de corrente em série com a fonte de entrada.

A corrente de entrada do conversor boost não é interrompida como no conversor Buck. Esta é uma característica importante que permite empregá-lo na correção do fator de potência (FP) de outros circuitos com grande eficiência.

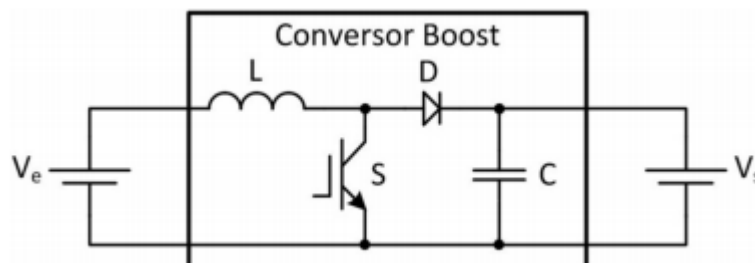


Figura 23 - Conversor Boost
Fonte: ELMANO (2011).

2.4.4.3 Conversor buck-boost

Este conversor permite tanto uma tensão de saída inferior quanto superior à de entrada. Entretanto, a polaridade entre estes sinais é contrária.

Na primeira etapa de operação, a tensão de entrada é aplicada ao indutor, que armazena energia. O diodo impede que a corrente circule pela carga durante este período. Quando o interruptor é bloqueado, a energia armazenada no indutor é transferida para a carga. O diodo determina o sentido da condução da corrente.

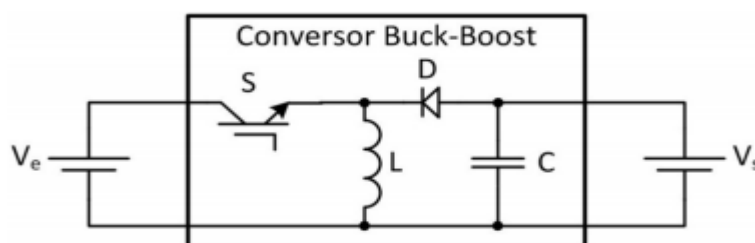


Figura 24 – Conversor Buck-Boost
Fonte: ELMANO (2011).

2.4.4.4 Conversores cúk, sepic e zeta

O conversor cúk é formado por um conversor boost em série com um conversor Buck. O capacitor C1 opera como carga para boost. Assim, a tensão neste componente será superior à tensão de entrada. Em um segundo instante, o

capacitor atua como fonte de entrada para o buck, e a tensão é reduzida para a saída. Quando o capacitor é descarregado, o sentido da corrente inverte a polaridade da carga com relação à fonte de entrada do circuito. A vantagem desta topologia é o fato de permitir que, tanto a corrente de entrada quanto a de saída sejam contínuas. Para a alimentação de LEDs o capacitor de saída pode ser retirado do circuito da mesma maneira proposta para o conversor buck.

O conversor SEPIC é composto por um boost e um buck-boost conectados em série. A vantagem deste circuito é que a corrente de entrada pode ser contínua e a tensão de saída não possui polaridade invertida.

O conversor Zeta é formado por um Buck-Boost e um conversor Buck conectado em série. Assim, a tensão de saída poderá ser superior ou inferior à entrada. Porém, diferente do conversor Buck-Boost, ambas possuem a mesma polaridade. Além disso, por possuir um Buck em série, o capacitor de saída pode ser retirado e ainda assim é possível alimentar um LED com corrente contínua.

Estas topologias tem o mesmo número de componentes a diferença está apenas na posição onde estão ligados nos circuitos.

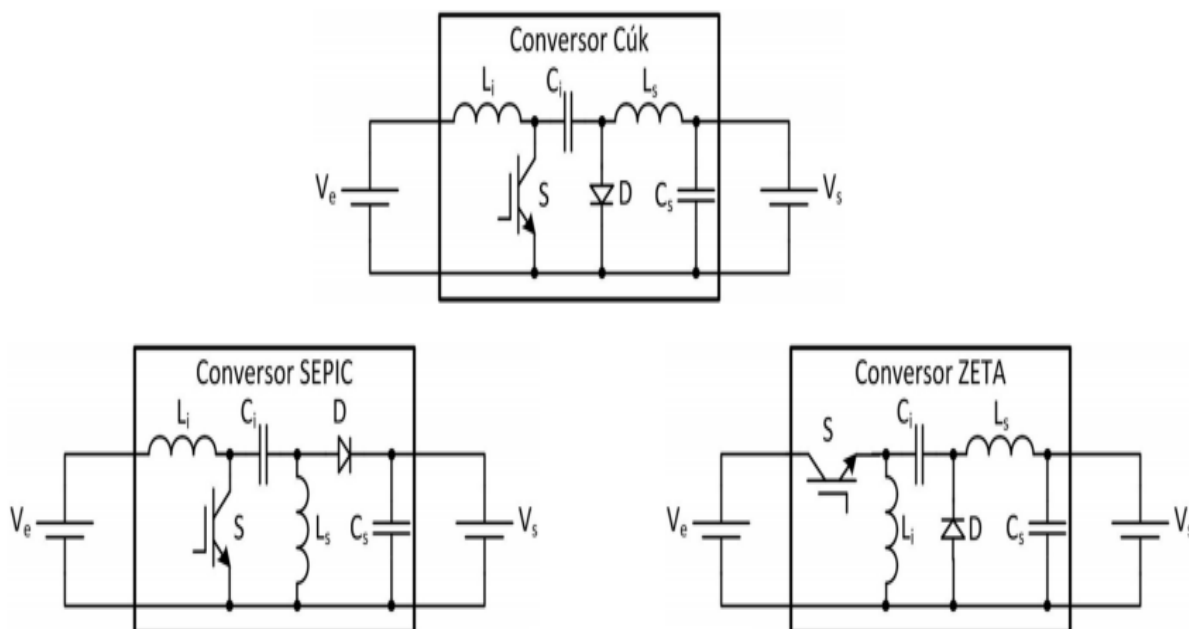


Figura 25 - Conversores: Cúk, Sepic e Zeta
Fonte: ELMANO (2011).

2.4.4.5 Conversor flyback

Tem a mesma característica do buck-boost, ou seja, ambos fornecem uma tensão de saída maior ou menor que a entrada. A diferença entre as duas topologias está na isolação entre a fonte de entrada e a carga. Para isso, um enrolamento secundário é introduzido ao indutor do buck-boost.

Quando o interruptor conduz, o indutor acoplado armazena energia devido à corrente que circula pelo enrolamento primário. O diodo impede que esta energia seja transferida instantaneamente para a carga, como acontece com um transformador. Somente quando o interruptor é bloqueado, a energia acumulada no indutor acoplado é transferida para a carga através do caminho dado pelo diodo.

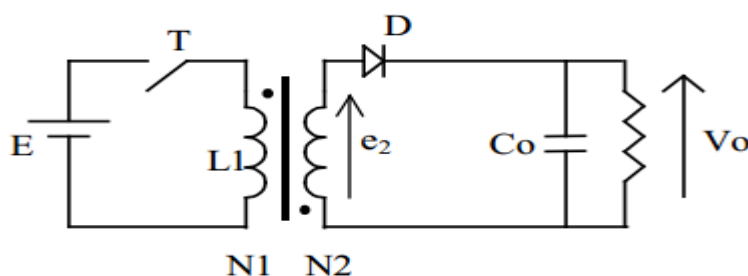


Figura 26 - Conversor Flyback
Fonte: ELMANO (2011).

2.4.5 Características das Principais Lâmpadas para Uso Residencial

Com os dados retirados de Araújo (2007) juntamente informações das embalagens dos fabricantes: Brília, Taschibra e Philips foi possível montar a tabela 2 onde consta algumas diferenças entre as lâmpadas: incandescente, fluorescente compacta e LED alta potência.

A lâmpada incandescente (LI) possui o melhor índice de reprodução de cor e o melhor fator de potência por ser uma carga puramente resistiva. Além de ser possível a utilização com dimmer (dispositivo que permite o aumento ou diminuição da intensidade luminosa) e sensor de presença. As desvantagens deste equipamento ficam por conta da baixa eficiência luminosa, a emissão de infravermelho e ultravioleta e o aquecimento do ambiente.

Já a lâmpada fluorescente compacta possui uma ótima eficiência luminosa e produz pouco calor. No entanto, possui características desagradáveis como: componente tóxico, emissão de infravermelho e ultravioleta e baixo fator de potência. A LFC não permite a utilização de dimmer (no caso da fluorescente tubular é possível alterar o reator e colocar outro com esta característica).

Como a vida de uma lâmpada fluorescente é influenciada pela quantidade de acendimentos, quanto mais acendimentos em períodos curtos, mais prejudicial é para a vida delas. Por isso, muitos fabricantes não recomendam o uso de lâmpadas fluorescentes com sensores de presença e temporizadores. Isto, entretanto, não significa que não possam ser usadas. (O SETOR ELÉTRICO, 2011).

Lâmpada	LI	LFC	LED
Índice de reprodução de cor	100	85	80
Eficiência luminosa - média (lm/W)	17	50-69	65-80
Vida média (horas)	1000	8000	50000
Fator de potência - FP	1	$\geq 0,5$	$\geq 0,8$
Possui substância tóxica	não	sim	não
Emite raios ultravioletas e infravermelho	sim	sim	não
Aquece o ambiente	sim	pouco	valor desprezível
Permite uso de dimmer	sim	não	sim
Permite uso de sensor de presença	sim	não é aconselhável	sim

Tabela 2 – Características das Lâmpadas: Incandescente, Fluorescente Compacta e LED

Fonte: Autoria própria.

Como as lâmpadas fluorescentes compactas, os LEDs representam um salto na tecnologia, produzindo mais luz com menos energia e durando mais do que seus predecessores – 35 mil horas comparadas às 8 mil da LFC e 750 horas da incandescente (MANKOWER, 2009). Sua confiabilidade já os torna disponível para aplicações em que a perturbação ou os custos do trabalho de troca de uma lâmpada são relativamente altos. Não possui componente tóxico e o aumento da temperatura ambiente devido a lâmpada é considerado desprezível. Permite ser utilizada com equipamentos que proporcionam economia de energia.

2.5 MERCADO ESTABELECIDO EM OUTROS PAÍSES

Segundo JOHNSON (2012) o mercado mundial de lâmpadas no ano de 2010 foi de mais de 20 bilhões de unidades sendo que de lâmpadas LED foi 96 milhões. Segundo o gráfico 5 a utilização para uso residencial é ainda pequeno em torno de 1%.

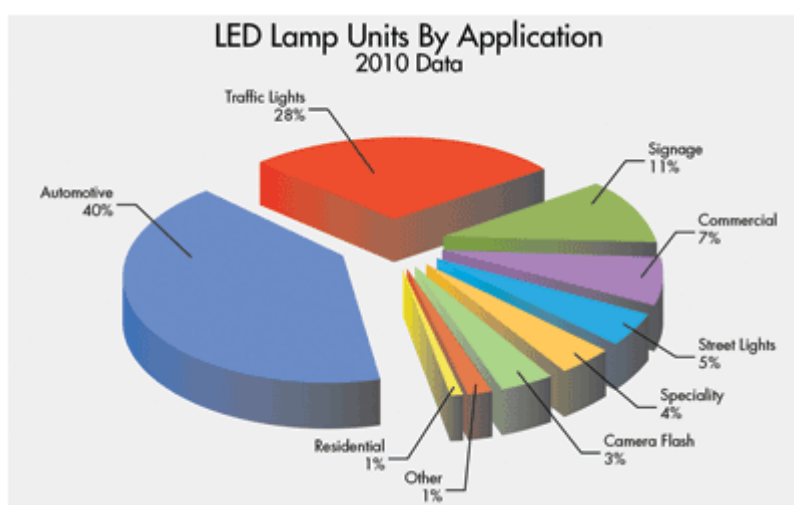


Gráfico 5 - Aplicação Lâmpada LED no Cenário Mundial
Fonte: JOHNSON (2012).

No gráfico 6 existe uma projeção de vendas para as lâmpadas de LED. Mas informam que para realizar esta projeção de crescimento o custo dos LED residenciais deve diminuir. (JOHNSON, 2012).

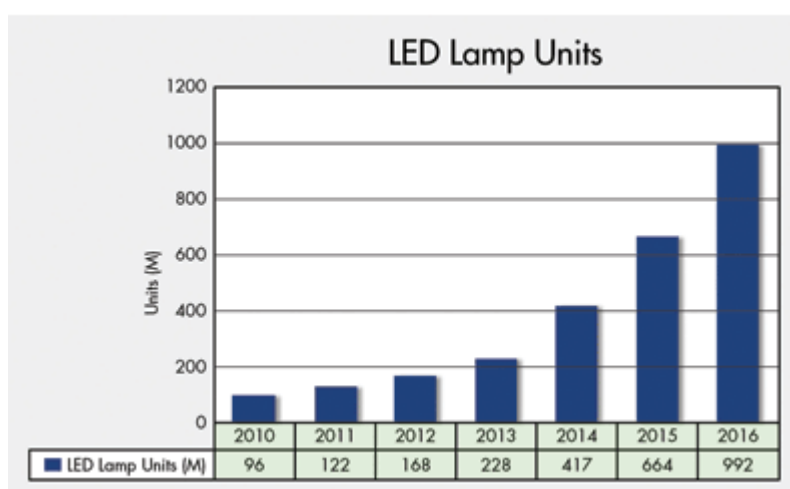


Gráfico 6 - Projeção de Vendas para as Lâmpadas LED
Fonte: JOHNSON (2012).

Conforme Energy Department (2012) a lâmpada incandescente continua sendo a mais utilizada. Os motivos são: o baixo custo inicial, a facilidade de substituição e a qualidade da luz emitida. No entanto, afirmam que existe um enorme potencial de conservação de energia se ela for substituída por alternativas de LED. Eles seguem com a afirmação informando que se a base de todo o país fosse substituída instantaneamente por LED seria poupado 84,1 TWh o que seria equivalente ao gasto anual de 7 milhões de residências.

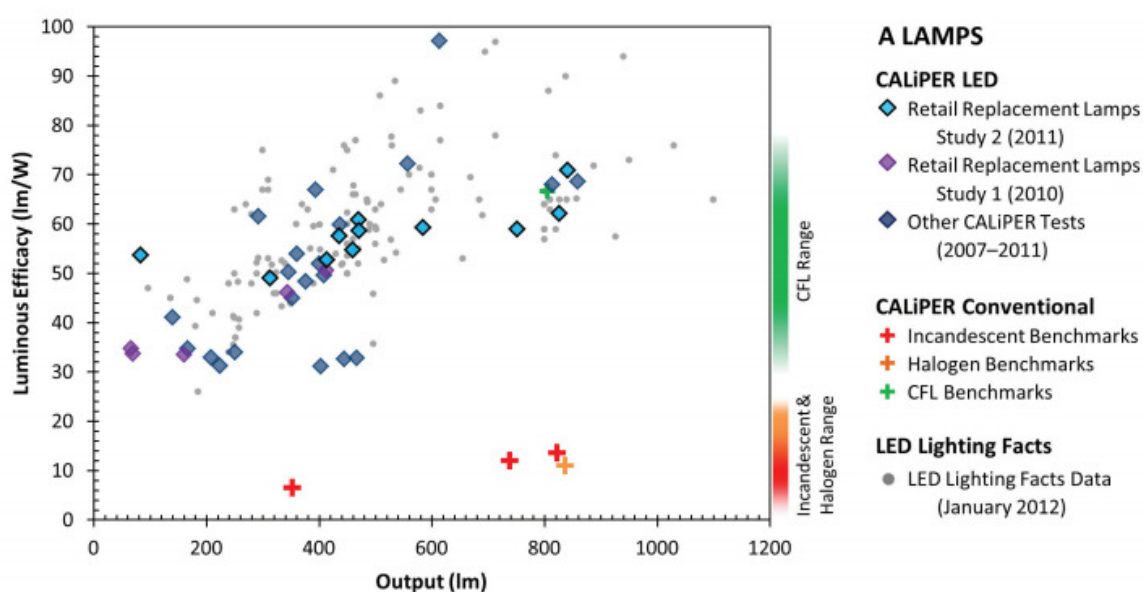


Gráfico 7 - Eficiência Luminosa Versus Fluxo Luminoso
Fonte: JOHNSON (2012).

Na gráfico 7 existe a demonstração da eficiência luminosa (lm/W) versus fluxo luminoso (lm) das lâmpadas LED comparadas com as comuns. Que resume dados de eficácia do LED adquiridas em lojas do varejo entre 2010 e 2011. Os testes executados neste período observou a melhoria da eficiência luminosa desta tecnologia, que foi em torno de 40-58 lm/W. (ENERGY, 2012).

Nos Estados Unidos a Energy Independence e a Security Act de 2007 (EISA, 2007) estabeleceram padrões de eficiência. Nestes novos padrões exigem lâmpadas que consumam menos energia (watts) para a quantidade de luz produzida (lumens). Com isso no início de 2012 começou a ser retirado as lâmpadas de 100W, no início deste ano ocorreu a retirada das de 75W e no próximo ano serão as de 40W e 60W (ENERGY STAR, 2011).

O mercado de iluminação LED na Europa deverá crescer a uma taxa anual de 41% (gráfico 8) entre 2010 e 2015. Isso deve ocorrer mais rapidamente devido a legislação para remover lâmpadas ineficientes do mercado. Por exemplo, as lâmpadas incandescentes de 60W foram proibidas em setembro de 2011. (WHITAKER, 2011).

Com o advento da legislação para remover as lâmpadas ineficientes do mercado europeu, também foi necessário estabelecer uma legislação de qualidade para as lâmpadas LED. Nela estabelece critérios para promover a alta qualidade e aumentar a consciência e a confiança dos consumidores.

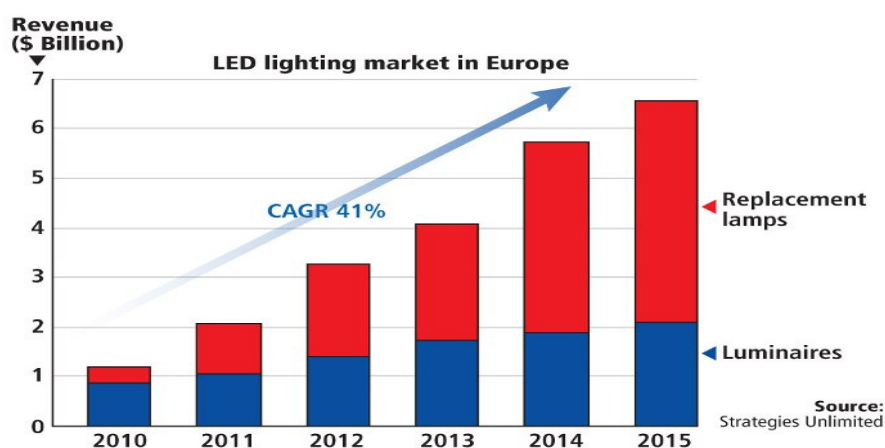


Gráfico 8 - Previsão de Mercado para as Vendas de Produtos de Iluminação LED na Europa
 Fonte: WHITAKER (2011).

A CELMA (organização que representa a indústria de iluminação Européia para luminárias e componentes) escreveu um documento de orientação sobre critérios de qualidade para o desempenho de luminárias LED que se concentra em dois públicos:

- IEC / PAS 62717 - requisitos de desempenho para os módulos de LED para iluminação geral
- IEC / PAS 62722 - requisitos de desempenho para luminárias LED para iluminação geral.

Os documentos foram lançados simultaneamente para garantir a consistência dos critérios de qualidade dos módulos e das luminárias. Entre as variedades de métricas incluem: a alimentação de entrada, fluxo luminoso, eficiência, distribuição da intensidade luminosa, vida média, entre outras.

3 METODOLOGIA APLICADA

Serão explanados, neste capítulo, os procedimentos metodológicos que nortearam esta pesquisa. Aborda-se, primeiramente, a caracterização da pesquisa que teve como natureza científica aplicada. Em seguida, tecem-se considerações acerca da técnica utilizada para a coleta e análise de dados.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PESQUISA

Para o estudo comparativo houve a aquisição: de uma lâmpada LED de alta potência de 12W (bulbo) de uma empresa brasileira chamada Brilia (mas a fabricação é realizada na sede de Hong Kong), de uma lâmpada incandescente de 60W e uma lâmpada fluorescente compacta de 15W. A lâmpada LED e a LFC vendidas com a descrição de serem equivalentes a uma incandescente, no que se refere ao fluxo luminoso.

Para avaliar se uma lâmpada LED pode substituir as lâmpadas comuns: incandescente e fluorescente é necessário comparações em vários aspectos de fotometria e consumo de energia elétrica. No entanto, este estudo será focado em seis parâmetros: potência ativa, potência aparente, fator de potência, distorção harmônica da corrente, eficiência luminosa e a medição do fluxo luminoso.

Para as medições elétricas utilizou-se da pequena bancada e o wattímetro alicate ET-4090, equipamento do laboratório da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Já para o Fluxo Luminoso e a distorção harmônica da corrente foi utilizado a Esfera Integradora de Ulbricht do Laboratório de Luminotécnica do LACTEC (Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento).

Os valores obtidos nos experimentos foram alocados em uma planilha em Excel, de autoria própria, para análise e comparação com as informações prestadas pelo fabricante.

E para análise econômica foi criado uma planilha (tabela 9) para comparação entre as lâmpadas levando em conta: o investimento inicial, gasto médio mensal com energia e também o gasto anual, quantidade de lâmpadas

substituídas por ano e a análise do retorno do investimento. Para isso buscou-se dados da Companhia de Eletricidade do Estado do Paraná (Copel) e dos catálogos dos fabricantes destes produtos.

3.2 INSTRUMENTOS DE PESQUISA

3.2.1 Pequena Bancada para Experimento

Para executar os experimentos foi construído uma pequena bancada de teste, conforme figura 27, utilizando basicamente: um suporte de madeira, soquete E-27, um interruptor e quatro bornes.

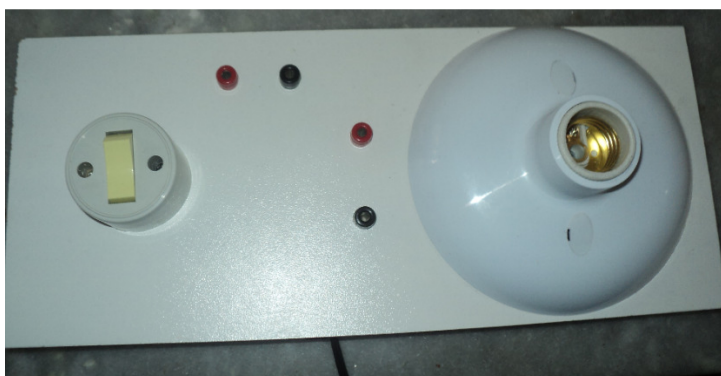


Figura 27 - Bancada Criada para as Medições
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Wattímetro Alicate

O wattímetro permite medir a potência ativa por ele passante, a qual é o valor médio da potência instantânea passante. Ele implementa o produto das grandezas tensão e corrente elétrica no elemento, razão pela qual a sua ligação ao circuito é feita simultaneamente em série e em paralelo. Assim, dois terminais são ligados em paralelo com o elemento, efetuando a medição da tensão, e a garra colocado em volta do fio condutor obtendo o valor da corrente.

As medições foram realizadas com o wattímetro alicate modelo ET-4090 fabricante Minipa que segue as diretivas CENELEC 73/23/EEC e a diretiva de compatibilidade Eletromagnética 89/336/EEC conforme manual. Com este

equipamento é possível realizar medições de várias grandezas entre elas: potência ativa (W), aparente (VA) e reativa (var) e também fator de potência.



Figura 28 - Wattímetro Alicate Minipa ET-4090
Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Esfera de Ulbricht

Equipamento que consiste de uma esfera oca cuja parede interna é pintada com uma tinta branca de alta refletância que segue as normas internacionais. Em uma das paredes existe uma janela com uma fotocélula e em frente a ela um anteparo (que evita radiação direta da fonte de luz sobre a fotocélula). Na parede oposta a esta existe outra janela com uma lâmpada auxiliar, e em frente a ela também um anteparo. A esfera serve para medir o fluxo luminoso total de uma fonte de luz que fica suspenso no centro do equipamento. A teoria da esfera integradora assume que a parte interna da esfera é um difusor perfeito e a refletância não é seletiva, ou seja, para qualquer comprimento de onda temos o mesmo índice de refletância (COSTA, 2006).

Descrevendo a figura 29: (a) anteparo; (f) fonte de luz; (j) janela para a fotocélula, (Aux) lâmpada auxiliar com anteparo e (d) diâmetro da esfera (PINTO, 2004).

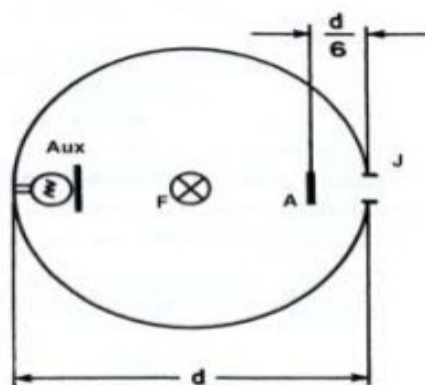


Figura 29 - Esfera Ulbricht
Fonte: PINTO (2004).

4 ENSAIOS E ANÁLISE ECONÔMICA DAS LÂMPADAS: COM LED DE ALTA POTÊNCIA, INCANDESCENTE E FLUORESCENTE

Dentro do contexto do uso consciente da eletricidade juntamente com uma maior preocupação com o meio ambiente gera um mercado favorável para introdução de novas formas de iluminação que substituam as menos eficientes e menos sustentáveis.

Este trabalho utiliza três lâmpadas com mecanismos diferentes de funcionamento, porém similares em fluxo luminoso.

4.1 RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE POTÊNCIA E DO FLUXO LUMINOSO

No mercado existe uma grande variedade de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de LED de alta potência por isso a definição de quais tipos de lâmpadas específicas serão analisadas é importante. Escolheram-se para a avaliação as lâmpadas dos fabricantes que possuem maior circulação no país, ou seja, de fácil acesso a população e com fluxo luminoso semelhante.

Modelo	Marca	Potência (Watts)	Tensão (Volts)	Emissão de luz (lúmens)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida Útil (horas)
Incandescente	Philips	60	127	864	14,4	750
Fluorescente	Taschibra	15	127	844	60,7	6000
LED	Brilia	12	127	800	**	35000
** Não consta na embalagem do produto, não é informado no site e nem por contato telefônico com o suporte da empresa.						

Tabela 3 - Características das Lâmpadas Utilizadas nas Medições

Fonte: Autoria própria.

As lâmpadas (tabela 3) foram testadas e os dados obtidos cruzados com as informações fornecidas pelo fabricante na embalagem. Dessa maneira é possível uma avaliação mais precisa quanto aos gastos energéticos.

Nas medições de potências instantâneas: ativa, reativa e aparente utilizou-se o wattímetro alicate Minipa ET-4090 e a bancada com soquete, conforme registrado na figura 30.



Figura 30 - Medições com o Wattímetro Alicate
Fonte: Autoria própria.

Na tabela 4 segue as informações coletadas neste procedimento.

Modelo da lâmpada		LI	LFC	LED
Valor Nominal	Tensão (V)	127	127	127
	Corrente (A)	**	0,19	**
	Potência Ativa (W)	60	15	12
	Fator de Potência (FP)	**	$\geq 0,5$	$\geq 0,8$
Valor Medido	Tensão (V)	126,9	126,9	126,9
	Corrente (A)	0,47	0,18	0,08
	Potência Ativa (W)	59,1	14,7	11,1
	Potência Aparente (VA)	59,4	22,6	13,8
	Potência Reativa (var)	0	17	8,2
	Fator de Potência (FP)	0,99	0,64	0,8
** Não informado na embalagem do produto e nem no site da empresa				

Tabela 4 - Resultado das Medições das Potências Ativa e Aparente e do Fator de Potência

Fonte: Autoria própria.

Na realização das medições do fluxo luminoso, eficiência luminosa e da distorção harmônica total da corrente as lâmpadas foram fixadas na esfera integradora (Esfera de Ulbricht), apresentada na figura 31. Após ter sido energizada, aguardou-se um período de 15 minutos para ocorrer a estabilidade térmica dos componentes de cada uma delas.

As medições foram efetuadas em condições controladas, sendo a temperatura ambiente de $21,1 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade de 54%.

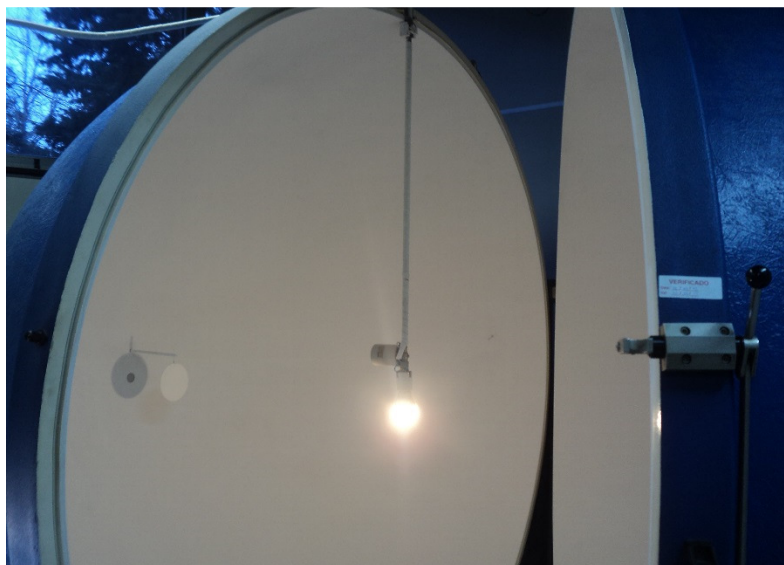


Figura 31 – Medições com a Esfera de Ulbricht
Fonte: Aatoria própria.

A seguir são descritos os resultados das análises de acordo com as características das lâmpadas em termos de uso, custo de aquisição e economia de energia.

Lâmpada Incandescente		
Valor nominal	Fluxo Luminoso (lm)	864
	Eficiência Luminosa (lm/W)	14,4
Valor medido	Potência Ativa (W)	59,26
	Fluxo Luminoso (lm)	817
	Eficiência Luminosa (lm/W)	13,8
	Distorção harmônica total da corrente %	0,55

Tabela 5 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da Lâmpada Incandescente

Fonte: Aatoria própria.

Com os dados informados na tabela 5 é possível a seguinte análise: o fluxo luminoso ficou abaixo do valor declarado, uma diferença de 47 lumens, o que corresponde a uma divergência de 5,44% do valor nominal. Com isso reduziu a eficiência luminosa de 14,4lm/W para 13,8lm/W, ou seja, um desvio de 4,17% do valor declarado pelo fabricante.

O valor disposto (tabela 6) na portaria INMETRO 283/2008 – código 3174 e na portaria MME n° 1007/2010 é que a incandescente de 60W/127V deve ter uma eficiência mínima de 15,5lm/W a partir de 2014.

Lâmpadas Incandescentes Domésticas										
Potência (W)	EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W)*									
	30/6/2012		30/6/2013		30/6/2014		30/6/2015		30/6/2016	
	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
Acima de 150	20,0	18,0	24,0	22,0						
101 a 150	19,0	17,0	23,0	21,0						
76 a 100			17,0	14,0	22,0	20,0				
61 a 75			16,0	14,0	21,0	19,0				
41 a 60					15,5	13,0	20,0	18,0		
26 a 40							14,0	11,0	19,0	16,0
Até 25							11,0	10,0	15,0	15,0

Tabela 6 - Tabela Inmetro - Eficiência Mínima
Fonte: INMETRO (2012).

Indicou uma baixa distorção harmônica de 0,55%. O fator de potência ficou em torno 1,00 (talvez uma pequena variação devido a distorção harmônica da rede do laboratório) e analisando o valor da potência ativa e aparente da tabela 4 estão próximas 59,1W e 59,4VA. Já a reativa é nula pois a carga neste caso é puramente resistiva. Neste caso a tensão e a corrente estão em fase, ou seja, as formas de onda de corrente acompanham as forma de onda de tensão e apresentam uma variação similar na distorção harmônica percentual encontrada.

Lâmpada Fluorescente Compacta		
Valor nominal	Fluxo Luminoso (lm)	844
	Eficiência Luminosa (lm/W)	60,7
Valor medido	Potência Ativa (W)	14,4
	Fluxo Luminoso (lm)	890
	Eficiência Luminosa (lm/W)	61,8
	Distorção harmônica total da corrente %	112,35

Tabela 7 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da Lâmpada Fluorescente Compacta
Fonte: Autoria própria.

Na tabela 7 consta os resultados das medições (realizadas na Esfera de Ulbricht) com a lâmpada fluorescente compacta e em cima dela é possível as seguintes considerações: os resultados estão de acordo com o informado pelo fabricante.

O fluxo luminoso que seria de 844lm ficou em 890lm o que é um acréscimo de 5,45%, e, desta forma, a eficiência luminosa (que é uma relação entre o fluxo

luminoso e a potência) ficou acima também do esperado em torno de 61,8lm/W. A distorção harmônica total da corrente neste caso foi elevada, chegou em 112,35% o que pode acarretar em problemas no Sistema Elétrico, pois sobrecarrega o sistemas de transmissão e distribuição.

Nas medições com o wattímetro alicate foi possível obter os valores da potência aparente total que foi de 22,6VA e da potência ativa que foi de 14,7W. Dá para observar que nem toda a energia absorvida da rede foi efetivamente transformada em energia luminosa.

Esta situação é preocupante pois a energia não está sendo aproveitada da melhor forma pelo equipamento. E esta baixa eficiência do equipamento pode ser comprovado pelo seu fator de potência que foi de apenas 0,64.

As informações da lâmpada LED, medidas na esfera de Ulbricht, estão na tabela 8. O fluxo luminoso ficou bem próximo do informado, com um acréscimo de apenas 1,13%. A eficiência luminosa não foi informada pelo fabricante, mas a medida ficou em 10,95% acima da LFC e 400% acima da incandescente (esperado já que esta dissipa maior parte da energia em forma de calor).

A potência ficou abaixo da informada mas não implicou em redução da eficiência, mas sim em redução do consumo de energia. A distorção harmônica ficou em 36,06%, ou seja, três vezes menor que o THDi da lâmpada fluorescente. E o fator de potência ficou abaixo da lâmpada incandescente que é uma carga puramente resistiva, mas superior em 25% comparada com a LFC.

Lâmpada LED		
Valor nominal	Fluxo Luminoso (lm)	800
	Eficiência Luminosa (lm/W)	**
Valor medido	Potência Ativa (W)	11,66
	Fluxo Luminoso (lm)	809
	Eficiência Luminosa (lm/W)	69,4
	Distorção harmônica total da corrente %	36,06

Tabela 8 - Resultado do Fluxo Luminoso, Eficiência Luminosa e DHTi da lâmpada LED

Fonte: Autoria própria.

4.2 RESULTADO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

A partir dos dados dos fabricantes, do custo de aquisição de cada lâmpada e do custo da energia foi possível montar uma planilha (tabela 9) que possibilita ver a economia e o retorno do investimento feito ao substituir as lâmpadas incandescente e fluorescente por lâmpada LED.

A primeira etapa da planilha consta o custo de aquisição de cada lâmpada (adquiridas no comércio local), a potência e a vida útil.

Na segunda etapa consta o gasto anual de energia através do tempo de uso, o consumo e o custo da energia (R\$ 0,37 kWh). Para o cálculo do tempo de uso considerou-se uma utilização de 10 horas por dia durante 30 dias e 12 meses (3600 horas). A partir deste resultado foi possível determinar o gasto anual de cada uma: com a lâmpada LED foi de R\$ 15,98, a incandescente foi de R\$79,92 e a fluorescente R\$ 19,98. Com estes valores foi possível verificar a redução do custo de energia que o sistema LED proporciona que é de 80% comparado a LI e 20% com a LFC.

Com o gasto anual foi possível determinar a economia anual fazendo subtração dos gastos entre as lâmpadas comuns e a lâmpada LED: com a LI seria de R\$ 63,94 (um ganho já de 400%) e a LFC de R\$ 4,00 (com um ganho de 25%). No primeiro ano a economia no consumo de energia em utilizar a lâmpada LED no lugar da incandescente, já é 64,58% do valor de uma lâmpada LED nova.

Na terceira etapa considerou-se os custos com substituição e consumo de energia durante a vida útil da tecnologia LED (35 mil horas). Foi realizado um cálculo para determinar a durabilidade desta, levando em conta o tempo de uso anual, o valor encontrado foi de 9,72 anos.

A economia de energia durante estes nove anos é impressionante pois com a: LI foi de R\$ 621,60 e a LFC de R\$ 38,85. Já os gastos com substituição (seguindo a mesma sequência): R\$ 84,00 e R\$63,58, ou seja, 47 unidades de incandescente e 6 unidades de LFC.

Somando a economia anual juntamente com a amortização anual das substituições e tendo o custo de aquisição da lâmpada LED foi calculado o tempo de retorno do investimento. A incandescente vai ser em 1 ano e 4 meses e a fluorescente em 9 anos e 5 meses.

PLANILHA PARA ANÁLISE DE CUSTOS E RETORNO DO INVESTIMENTO	
Valor da energia elétrica kWh - COPEL (R\$)	0,37
<i>**obs: lâmpada LED (LED), lâmpada incandescente (LI) e lâmpada fluorescente compacta (LFC)</i>	

1ª Etapa			
Dados: preço, potência e vida útil	LED	LI	LFC
Investimento - preço de cada lâmpada (R\$)	99	1,8	10,9
Potência (W)	12	60	15
Vida útil (horas)	35000	750	6000

2ª Etapa			
Gasto anual no consumo de energia	LED	LI	LFC
Gasto de energia em kW	0,012	0,06	0,015
Horas de utilização dia (h)	10	10	10
Gasto anual em kWh (kW x 10h x 30 dias x 12 meses)	43,2	216	54
Gasto anual em R\$ (kWh x custo de energia Copel)	15,98	79,92	19,98

Economia anual no consumo de energia	LI	LFC
Economia em R\$ (gasto lâmp. comum - gasto lâmp. LED)	63,94	4,00

3ª Etapa	
Cálculo: vida útil da lâmpada LED	
Vida útil lâmpada LED (h)	35000
Utilização por ano (10 horas por dia x 12 meses x 30 dias) (h)	3600
Vida útil da lâmpada LED (35000/3600) (anos)	9,72

Economia e tempo de retorno durante a vida útil da lâmpada LED	LI	LFC
Economia de energia durante a vida útil da lâmpada LED - 9,72 anos (R\$)	621,60	38,85
Tempo de retorno originado da economia da energia (investimento inicial/economia de energia anual) (anos)	1,55	24,77
Economia com substituição durante vida útil da LED (vida útil LED x preço lâmp. comum/vida útil lamp. comum) (R\$)	84,00	63,58
Quantidade de lâmpadas substituídas durante a vida útil da LED ≈ (un.)	47	6
Economia feita anualmente com substituição (gasto com substituição/ vida útil anos lâmp. LED) (R\$)	8,64	6,54
Tempo de retorno pelo do consumo de energia + custo de manutenção (gasto inicial lâmp. LED/ gastos energia + subst.) (anos)	1,36	9,40
Tempo de retorno ≈ (anos/meses)	1 ano e 4 meses	9 anos e 5 meses

Tabela 9 – Análise de Custos e Retorno do Investimento

Fonte: Autoria própria.

A lâmpada fluorescente tem um elevado tempo para retorno, mas reembolsável ainda na vida útil da lâmpada LED que é de aproximadamente 9 anos e 9 meses. Mas esse tempo vai depender da utilização, conforme um estudo da Associação Brasileira de Defesa do consumidor (ProTeste) que fez teste com oito lâmpadas fluorescente compactas de 15W e constatou que os fabricantes informam um falso período de durabilidade. No teste foi possível verificar que a lâmpada Taschibra (marca que também foi utilizada neste estudo) se for ligada e desligada apenas 4 vezes ao dia ela dura 6 anos, se dobrar o ciclo a durabilidade decai pela metade. (LÂMPADA, 2013). Então se for utilizado 8 ciclos por dia o retorno se dá em 5 anos e 10 meses.

A lâmpada LED atualmente tem um elevado custo de aquisição mas estes valores tendem a diminuir cada vez mais, da mesma forma que ocorreu com as outras tecnologias. Que tiveram uma diminuição dos custos de fabricação e aumento da popularidade.

Se o valor gasto com a aquisição da lâmpada LED for investido em uma poupança durante 117 meses (que é a vida útil desta lâmpada) vai obter um rendimento de 75,68%, ou seja, o valor de R\$ 99,00 ao final vai chegar a um montante de R\$173,93. O rendimento de R\$ 74,93 não vai superar o ganho com a lâmpada incandescente que foi de R\$ 606,60 (economia com energia e substituição durante a vida útil da lâmpada LED subtraída do custo de aquisição de uma lâmpada LED). Mas supera, e muito, o ganho com a substituição da lâmpada fluorescente que foi de apenas R\$ 3,43. Os cálculos da tabela 10 tiveram como base a calculadora do economista Samy Dana (2013) e os valores (taxa mensal e anual) conforme ANEFAC (2013).

Investimento na poupança	
Valor investido	R\$ 99,00
Tempo de investimentos em meses	117
Taxa mensal	0,4828%
Taxa anual	5,95%
Montante a ser resgatado	R\$ 173,93
Rendimento (em R\$)	R\$ 74,93
Rendimento (em %)	75,68%

Tabela 10 – Investimento na Poupança
Fonte: adaptado de DANA (2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na pesquisa utilizou-se três tipos de lâmpadas especificadas como similares pelo fabricante no que diz respeito ao fluxo luminoso. A primeira etapa foi composta pela pesquisa bibliográfica para expor a funcionalidade, características e componentes de cada tipo de lâmpada. A segunda etapa testes no laboratório da UTFPR e no LACTEC para estudo comparativo de características físicas, eficiência e custo entre as três peças para comprovar ou não a possibilidade de substituição de uma lâmpada por outra, conforme afirmação do fabricante. E a terceira e última etapa a análise econômica.

A lâmpada incandescente teve uma diferença considerável do que informado pelo fabricante no que diz respeito: fluxo luminoso e eficiência luminosa. O primeiro ficou com um valor próximo ao limite estabelecido pelo Inmetro que é de 93% do fluxo nominal (INMETRO, 2008), com apenas 94,5%. Mas o segundo já ficou abaixo da eficiência mínima que passará a ser exigida em 2014 (portaria N° 1008) que é de 15,5lm/W e ficou apenas 13,8lm/W (INMETRO, 2012) e uma diferença percentual de 402% comparada a lâmpada LED. Com estas constatações, com a exigência da retirada desta lâmpada do mercado nacional e com a possibilidade de retorno do valor investido com lâmpada LED em apenas um ano e quatro meses é possível e até aconselhável a troca.

Já a lâmpada fluorescente os dados repassados pelo fabricantes foram constatados no ensaio. As deficiências ficaram por conta do baixo fator de potência e a elevada distorção harmônica que é preocupante, pois demonstra que a energia não está sendo bem aproveitada pelo equipamento. O governo exige que as LFC de 15W tenham fator de potência maior ou igual a 0,5, diferentemente das de 25W (e de potência superior) que devem ter fator acima de 0,92. Para área industrial este tipo de lâmpada não é adequado pois vão ter cobranças das concessionárias de energia devido ao excedente de potência reativa.

O retorno do investimento na nova tecnologia em substituição da LFC só se dá em nove anos e cinco meses neste, isso devido ao alto custo de aquisição em condições em que a lâmpada siga o tempo informado na embalagem de 6 mil horas. Mas isso vai depender da utilização, se for ligada e desligada em um ciclo de 8

vezes ao dia a vida útil decai pela metade, neste caso o retorno se dá em 5 anos e 10 meses.

Mas existem outros fatores que propiciam a substituição das lâmpadas convencionais pela lâmpada LED: não aquece o ambiente (apesar do sistema de LED esquentar, o calor não é enviado para o ambiente com auxílio de dissipadores de calor embutido nas lâmpadas), não emite raios ultravioleta e infravermelho, compromisso com meio ambiente (não possui em sua composição substâncias tóxicas, filamentos), não necessita de substituição constante, pode ser utilizado com dimmer e sensor de presença.

A lâmpada LED nos ensaios demonstrou que tem alta eficiência luminosa, fator de potência superior ao LFC e todos os benefícios expostos anteriormente. O que ficou demonstrado é que o alto custo de aquisição é o único empecilho. Para isso seria necessário redução dos custos de fabricação (através de incentivos do governo), popularização e normas que assegurassem qualidade nos equipamentos de iluminação.

Se o valor for investido na poupança, como demonstrado, não vai superar o ganho conquistado (durante a vida útil da lâmpada LED) com a substituição da lâmpada incandescente mas supera, e muito, o da lâmpada fluorescente.

REFERÊNCIAS

ANEFAC – Associação Nacional dos Executivos de Finanças, Administração e Contabilidade. **Poupança x Fundos de Renda Fixa**. 2013. Disponível em: <http://www.acionista.com.br/mercado/artigos_mercado/090713_Miguel_Ribeiro_An_efac.pdf>. Acesso em: 18 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413: norma brasileira de iluminância de interiores**. 1992.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Brasília. Nov. 2012.

ABILUMI – Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia**. Set. 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/ABilumi_16_out_2008.pdf> Acesso em 23 ago. 2013.

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Brasil vai produzir lâmpadas LED**. Mar. 2012. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/destaquesInt.aspx?id=19>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

Acidente em Fukushima teve causa humana, conclui Japão. **VEJA**. Jul. 2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/internacional/acidente-em-fukushima-teve-causa-humana-conclui-japao>>. Acesso em 13 mar. 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2002.

ARAÚJO, Lucínio Preza. **Tipos e características de lâmpadas**. Jan. 2007. Lisboa. Disponível em: <<http://www.prof2000.pt/users/lpa/luminotecnia.ppt>>. Acesso em: 22 ago. 2013.

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-23062005-084739/pt-br.php>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

BATES, David J.; MALVINO, Albert. **Eletrônica**. 7 Edição. Volume 2. MCGRAW-HILL. 2007.

BRANDÃO, Andréa Campos; GOMES, Lôla Maria Braga; AFONSO, Júlio Carlos. **Educação Ambiental: O caso das lâmpadas usadas**. Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, 2011.

BRASIL. Portal Brasil. **Logística reversa deverá estar implantada no país até 2015**. Mar. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2012/03/19/logistica-reversa-devera-estar-implantada-em-todo-o-pais-ate-2015>>. Acesso em: 30 Ago. 2013.

BRONZEADO, H. et al. **Uma Proposta de Nomenclatura Nacional de termos e Definições Associados à Qualidade de Energia Elétrica**. In: Anais II BQEE-Seminário Brasileiro da Qualidade da Energia Elétrica, Itajubá, Brasil, Nov. 1997.

BULBOX. **Alternativa eficiente e segura para destinação de lâmpadas fluorescentes**. Nov. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/ApresBULBOX20R1_AmbiensysAlexandre_11nov09.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

CERVI, M. **Rede de Iluminação Semicondutora para Aplicação Automotiva**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Iluminação Pública**. Fev. 2012.

COSTA, Gilberto J. C. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. 4. Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

DANA, SAMY. Compare os Investimentos mais Seguros. **Exame**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/ferramentas/comparativo-de-rentabilidades>>. Acesso em: 18 set. 2013.

DOUGLAS, Mary; WILDAVSKY, Aaron. **Risco e cultura: um ensaio sobre a seleção de riscos tecnológicos e ambientais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – ano Base 2005 – Classe residencial – relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Relatório de Resultados do Procel 2012: Ano Base 2011**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2012.

ELMANO, Carlos. **Conversores CC-CC**. Universidade Federal do Ceará - UFC. Ceará: 2011. Disponível em: <<http://www.ec.ufc.br/professores/elmano/disciplinas/sis-telet/Aula07.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2013.

ENERGY DEPARTMENT (US). **General Service LED Lamps**. 2012. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_general-service-amps.pdf. Acesso em: 10 abr. 2013.

ENERGY STAR (US) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Energy independence and security act of 2007 – EISA. 2011. Disponível em <http://www.energystar.gov/ia/products/lighting/LFCs/downloads/EISA_Backgrounder_FINAL_4-11_EPA.pdf>. Acesso em 10 abr. 2013.

FERRO, Rogério. **Lâmpadas incandescentes serão retiradas do mercado até 2016**. Jan. 2011. Disponível em: . Acesso em: 13 abr. 2013.

FONSECA, João J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GASPAR, Malu. Brasil Caminha para o Racionamento de Energia. **Veja**. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/brasil-caminha-para-o-acionamento-de-energia>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEN. **Dez anos após o apagão, 50% das residências ainda usam lâmpadas incandescentes**. Out. 2011. Disponível em: <<http://www.golden.blog.br/1040/dez-anos-apos-apagao-50-das-residencias-ainda-usam-lampadas-incandescentes/>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

INEE – Instituto Nacional De Eficiência Energética. **Eficiência energética – por que desperdiçar energia?**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia#por_que>. Acesso em 22 fev. 2013.

INMETRO – Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia; MEDIC – Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. **Procedimento de Fiscalização – Lâmpadas de Uso Doméstico Linha Incandescente**. Nov. 2012. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/treinamento/lampadas.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2013.

INMETRO – Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia; MEDIC – Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. **Regulamento de Avaliação da Conformidade para Lâmpadas de Uso Doméstico – Linha Incandescentes**. Ago. 2008. Disponível em: <[http://www.aladi.org/nsfaladi/normasTecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/e380ed588b45568f032579e4004f416e/\\$FILE/Portaria%20N%C2%B0%20283-2008.pdf](http://www.aladi.org/nsfaladi/normasTecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/e380ed588b45568f032579e4004f416e/$FILE/Portaria%20N%C2%B0%20283-2008.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2013.

INVESTE São Paulo. Agência Paulista de Promoção de Investimentos e Competitividade. **Primeira fábrica nacional de lâmpadas LED será em São Paulo**. Jul. 2013. Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/noticias/lenoticia.php?id.=18249>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

IWASHITA, Juliana. Certificação de Equipamentos de LEDs será Priorizada em 2014. **O Setor Elétrico**. 2012. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/970-certificacao-de-equipamentos-de-leds-sera-priorizada-em-2014.html>>. Acesso em: 20 set. 2013.

JOHNSON, Brian. **Lamp drivers enable future residential LED lighting**. 2012. Disponível em: <http://www.fairchildsemi.com/collateral/technical-articles/AEP2437_Eng_Elec_Prods.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2013.

LAMBERTS, Robert et al. **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

LÂMPADAS que deixam no escuro. **ProTeste**. São Paulo, n. 125, Jun. 2013.

LIGHTING NOW. **Luminotécnica Básica**. 2013. (Apostila). Disponível em: <http://www.lightingnow.com.br/cursos/lum_basic/luminotecnica_basica.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.

LIMA, José M. B. **2099 A Fantástica Realidade**. Editora: Biblioteca24horas, 2011.

LIMBERGER, Marcos A. C.; VASCONCELLOS, Luiz E. M. **Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel**. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2013.

MANKOWER, Joel. **A economia Verde: descubra as oportunidades e os desafios de uma nova era dos negócios**. Editora Gente, 2009.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Lâmpadas de 150W e 200W deixaram de ser produzidas desde sábado**. Jun. 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista_destaque/destaque_775.html>. Acesso em: 02 fev. 2013.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos**. São Paulo, ca. 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf>. Acesso 18 set. 2013.

OSRAM. **Lâmpadas Halógenas**. São Paulo, 20---. Disponível em: <<http://www.illuminer.com.br/osram/lampadas/catalogos/halogenas.pdf>>. Acesso 07 nov. 2012.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2012.

PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; SOUZA, Marcos Barros. **ILUMINAÇÃO**. 2005. UFSC. (Apostila). Disponível em: A base construtiva destas lâmpadas é uma tubo de quartzo, contendo vapor de mercúrio. Acesso em: 18 set. 2013.

PHILIPS. **Lâmpadas Master LED**. 2012. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/pwc_li/br_pt/lightcommunity/assets/master-led.pdf>. Acesso 02 abr. 2013.

PHILIPS. **Guia Prático Philips Iluminação**. Serviço Philips de Orientação Técnica - SPOT. São Paulo: 2009.

PINTO, Rinaldo Caldeira. **Goniofotômetros e Determinação de Fluxo Luminoso**. LUMIÈRE. Instituto de Eletrotécnica e Energia IEE-USP. Sep. 2004. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2004/Artigos%20de%20Periodicos/rinaldo_aula5.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2013.

ORDOÑEZ, Ramona; ROSA, Bruno; Atrasos Elevam Risco de Racionamento de energia. **O Globo**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/atrasos-elevam-risco-de-acionamento-de-energia-8053995>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

RIBEIRO, Mariana. **USP abre caminho para uso de iluminação de LED no Brasil**. AUN – USP. São Paulo: 2010. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/exibir.php?id=3498>>. Acesso em: 17 set. 2013.

RONCAGLIO, Cynthia; JANKE, Nadja. **Desenvolvimento Sustentável**. Curitiba: IESDE, 2012.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação Eficiente**. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. 2002.

SALVETTI, Alfredo Roque. **A História da Luz**. Editora Universidade Federal Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, 2008.

SERRADURA, Rafael. **O LED Aplicado na Arquitetura**. Revista Arqitetonline. 2010.

SILVA, Clodoaldo. **Correção do Fator de Potência – apostila**. Fev, 2006.

SCHUBERT, E. Fred. **Light-Emitting Diodes**. Cambridge. New York. 2006.

VARELA, Ivana. **Eletrobras Procel Promove 2ª Reunião para Avaliar a Capacitação Laboratorial de Iluminação a LED**. ELETROBRAS- PROCEL. 2013. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/PCI/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B44CD1358-232E-4A11-A80F-26FA653258C8%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 18 set. 2013.

Vida Mediana ou Vida Útil?. **O Setor Elétrico**, mar. 2011. 52. ed.

WHITAKER, Tim. **Strategies in Light Europe focuses on LED lighting and market transformation**. LEDs Magazine. 2011. Disponível em: <<http://ledsmagazine.com/features/8/11/8>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

WINDER, Steve. **Power Supplies for LED Driving**. Editora Elsevier. 2008.

ZHELUDEV, Nikolay. **The life and times of the LED – a 100 – year history**. Nature. Vol. 1. 2007.