

ANTONIO REPISO MASCIA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADAS
FLUORESCENTES COMPACTAS E LÂMPADAS
INCANDESCENTES, CONSIDERANDO A VIABILI-
DADE ECONÔMICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa. Do campus de Alegrete-RS, área de concentração Iluminação.

Orientador: Jumar L. Russi

Co-Orientador: José Wagner Kaehler

**ALEGRETE
2011**

Autoria: Antonio Repiso Mascia

Título: Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas incandescentes, considerando a viabilidade econômica.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa. Do campus de Alegrete-RS, área de concentração Iluminação.

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1				
2				
3				

Data da aprovação: ____ de _____ de _____.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus avós
que sempre me incentivaram na caminhada da
vida. Além de me ensinarem o verdadeiro
valor da vida, tais como amizade, amor e
acima de tudo honestidade.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a toda minha família, em especial meus pais Roberto e Lourdes, que me apoiaram e sustentaram financeiramente, durante o período de graduação, pois sei que muitas vezes abdicaram de certas coisas para que meu sonho fosse realizado. Agradeço também a minha amada noiva Marla, que sempre esteve ao meu lado e acreditando em mim, a minha madrinha, aos professores da UNIPAMPA, aos técnicos Thiago e Antonio do laboratório de eletrotécnica da UNIPAMPA, aos técnicos do NTI da UNIPAMPA que me auxiliaram com a execução do trabalho de conclusão de curso. Um agradecimento especial para minha prima Maria Paula que me ajudou na tradução do resumo e também gostaria de agradecer aos meus colegas de graduação, em especial Andrews e Felipe, que pertenceram a minha "família" durante os cinco anos de graduação.

EPÍGRAFE

Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.

Albert Einstein

RESUMO

Com a constante preocupação com o meio ambiente, cada vez mais os assuntos como economia, qualidade de energia, equipamentos eficientes estão em evidência no cenário mundial. Porém o Brasil como um país em desenvolvimento não está muito preocupado com a destruição dos recursos naturais. Sendo assim, regulamentações, normas e leis estão se tornando antiquadas com o passar do tempo. Este trabalho tem como objetivo informar o quanto estas lâmpadas fluorescentes compactas são problemáticas para o sistema elétrico de potência. E também se realmente são econômicas quanto os fabricantes informam. Este documento tem como base de resultados através de análises teóricas e práticas para observação das grandezas elétricas das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e das lâmpadas incandescentes (LI).

Baseado na experimentação prática será possível estabelecer em quais condições a LFC é mais rentável se comparado com uma LI. Outro aspecto importante é o tempo necessário para que uma LFC se pague ao longo de sua vida útil. Será apresentado também as distorções harmônicas (DHT) presentes nas LFCs, considerando caráter teórico.

Palavras-chave: Lâmpada fluorescente compacta, Suportabilidade de chaveamento, Lâmpadas incandescentes, Viabilidade econômica, Qualidade de energia elétrica.

ABSTRACT

With the constant concern with the environment, more and more subjects as economics, power quality, and energy efficient equipment are on evidence on the world stage. But Brazil as a developing country is not too concerned with the destruction of natural resources. Thus, regulations, rules and laws are becoming depreciated over time. This paper aims to report how these CFLs are problematic for the electrical power system. And if it is really as economical as manufacturers inform. This document is based on results through theoretical analysis and practical observation of electrical compact fluorescent lamps (CFLs) and incandescent lamps (LI). Based on practical experience it will be possible to establish conditions in which the CFL is more profitable compared to the LI. Another important aspect to consider is whether the CFL pays for itself over its lifetime. There will also be harmonic distortion (THD) present in CFLs, considering the theory the main focus of the work is to supportability of switching the CFLs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 Usina Termoelétrica.....	16
Ilustração 2 Iluminação residencial	27
Ilustração 3 Conforto como sensações a partir de estímulos físicos.	28
Ilustração 4 Classificação das lâmpadas.....	32
Ilustração 5 Lâmpada incandescente	33
Ilustração 6 Lâmpada incandescente halógena.....	34
Ilustração 7 Lâmpada incandescente refletora	35
Ilustração 8 Lâmpada Vapor mercúrio	36
Ilustração 9 lâmpada a vapor metálico com tubo cerâmico	37
Ilustração 10 Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma LF tubular	38
Ilustração 11 Exemplo de Lâmpada vapor de sódio.....	39
Ilustração 12 Lâmpadas fluorescentes compactas	41
Ilustração 13 Circuito oscilador do modo astável.	47
Ilustração 14 Bancada de medições.....	50
Ilustração 15 Wattímetro Yokogawa - WT1600	51
Ilustração 16 forma de onda da corrente em uma LFC	53
Ilustração 17 Gráfico médias das suportabilidades	55
Ilustração 18 Bancada de teste	55
Ilustração 19 Número de dias que FLC se paga, considerando LI de 100 W	59
Ilustração 20 Número de dias que FLC se paga, considerando LI de 60 W	60
Ilustração 21 Evolução das vendas de LFCs no Brasil.....	62
Ilustração 22 Fator de potência LFC4, teste 2.....	63
Ilustração 23 Fator de potência LFC5, teste2	63
Ilustração 24 Fator de potência LFC6, teste 2.....	64
Ilustração 25 Circuito LFC.....	65

Ilustração 26 Corrente de partida da LFC	65
------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Índices mínimos de Eficiência Energética — Sem invólucro	24
Tabela 2 Índices mínimos de Eficiência Energética — Com invólucro	24
Tabela 3 Crescimento das vendas da Philips.....	30
Tabela 4 Evolução da lâmpada - Fatos históricos	30
Tabela 5 Características das FLCs	41
Tabela 6 Parâmetros das LFCs	45
Tabela 7 Parâmetros das Incandescentes.....	46
Tabela 8 Comportamento do oscilador.....	48
Tabela 9 Média das suportabilidades chaveamentos LFC	54
Tabela 10 Média da suportabilidade dos chaveamentos LIs?	56
Tabela 11 Distribuição por tipos de lâmpadas no mercado brasileiro	61
Tabela 12 Média do fator de potência, teste 2.....	64
Tabela 13 Vida útil referente ao intervalo de acendimento.....	66

SUMÁRIO

Errata	2
Dedicatória	4
Agradecimentos	5
Epígrafe	6
RESUMO	7
Abstract	8
Lista de ilustrações	9
Lista de tabelas	11
Sumário	12
Introdução	14
1.Estado da arte	16
1.1 <i>Geração de energia versus meio ambiente</i>	16
1.2 <i>Qualidade de energia elétrica no Brasil</i>	18
1.3 <i>Normatização</i>	21
1.3.1 Órgãos reguladores.....	21
1.3.2 Normas existentes referentes a LFC	21
2 Sistemas de Iluminação	26
2.1 <i>Introdução</i>	26
2.2 <i>Conforto Luminoso</i>	27
2.3 <i>Evolução do sistema de Iluminação</i>	29
2.3.1 Primeiras fontes de iluminação	29
2.3.2 Iluminação elétrica - Primeiro projeto.....	29
2.3.3 Evolução da Lâmpada de Edison	30
2.3.4 Panorama geral dos sistemas de iluminação	31
2.4 <i>Tipos de lâmpada</i>	32
2.4.1 Lâmpadas incandescentes.....	33
2.4.2 Lâmpadas de descarga.....	35
2.4.3 Análise das harmônicas nas LFCs.....	42
2.4.4 Tendência da iluminação - Lâmpadas de LED.....	43
3 Metodologia aplicada	44
3.1 <i>Considerações iniciais</i>	44
3.2 <i>Definição das amostras</i>	45
3.2.1 Definição das LFCs	45

3.2.2 Definição das lâmpadas incandescentes.....	46
3.3 Circuito oscilador modo astável	46
3.4 Descrição da bancada e equipamentos auxiliares	49
3.4.1 Bancada de medições.....	49
3.4.2 Equipamentos utilizados na bancada	50
3.5 Instrumentos de medições	50
3.6 Teste de suportabilidade de chaveamento	51
3.7 Verificação da corrente de partida das LFCs.....	52
3.8 Medição do fator de potência	52
3.9 Níveis de DHT	52
4 Análise de resultados	54
4.1 Teste de suportabilidade de chaveamento das LFCs.....	54
4.2 Teste de suportabilidade de chaveamento de lâmpadas incandescentes	55
4.3 Comparativo econômico entre uma LI e uma LFC.	56
4.4 Dias necessários para que uma LFC se pague.....	58
4.5 Substituição das Lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.....	61
4.6 Fator de potência das LFCs - Falsa economia.....	61
4.7 Diminuição da vida útil da LFC.....	64
4.7.1 Corrente de partida nas LFCs	64
5 Considerações finais	67
Referências bibliográficas.....	69

INTRODUÇÃO

Hoje em dia a iluminação consome cerca de 20% de toda energia elétrica consumida no mundo, sendo sua maioria de uso não residencial. Porém grande parcela desta energia consumida é desperdiçada em outras formas e não como iluminação. Este desperdício ocorre como energia térmica no caso das lâmpadas incandescentes, ou com baixo fator de potência caso das lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs). Além das LFCs possuírem baixo fator de potência outro agravante é o alto nível de distorções harmônicas (DHT), que causam distúrbios no sistema elétrico de potência.

Este trabalho visa buscar informações que possibilitem uma comparação econômica a fim de orientar o consumidor final, buscando uma redução substancial no consumo energético tanto para o setor elétrico como para os consumidores finais. As LFCs foram difundidas comercialmente a pouco tempo no mercado brasileiro. E como senso comum existe um hábito populacional em dizer que as LFCs não devem ser desligadas por um intervalo pequeno de tempo, ou seja, quando alguém sai de um ambiente e logo voltará. Isto devido a seu elevado consumo na partida e desgaste dos componentes eletrônicos do reator, então surge a questão, o senso comum está certo? As LFCs necessitam de um elevado potencial para sua ignição, mas será que isto é relevante para o consumo médio da lâmpada? A alta tensão e os picos de corrente gerados na partida da lâmpada desgastam os eletrodos e os componentes do circuito, reduzindo consideravelmente a vida útil da fonte de luz (SEIDEL, A. R., 2008). Estas perdas também devem ser levadas em consideração no custo da partida. A fim de responder as questões levantadas aqui, este trabalho visa determinar o custo da partida de uma LFC através do valor da perda de vida útil por ignição e da energia elétrica consumida. Calcula-se a relação de custo por acionamento e o tempo que se pode deixar a lâmpada ligada em regime com o mesmo valor de custo.

Este conhecimento possibilitará determinar quando será vantajoso, financeiramente, desligar ou não uma lâmpada. Outras questões que este trabalho visa desvendar são: Tempo mínimo que devemos permanecer com estas fontes de luz acesas para que compense o investimento de uma lâmpada mais cara. Quais os distúrbios que este tipo de lâmpada pode causar ao sistema elétrico brasileiro se houver uma massificação na utilização de LFCs. Estes impactos são devidos ao seu baixo fator de potência, distorções harmônicas entre outros problemas que ocorrem tanto a curto como a longo prazo.

A partir das metodologias já existentes sobre o assunto, foi definido o melhor método para aquisição de dados, tratamento dos mesmos a partir de um estudo aprofundado de cada um dos métodos existentes.

Este trabalho visa apresentar resultados práticos satisfatórios que possibilitem tanto para o consumidor, diminuir os gastos com energia elétrica, tanto para o país que necessitará gerar menos energia para iluminação. Assim podendo aproveitar a energia elétrica de forma mais eficiente, proporcionando um maior desenvolvimento do país. Dessa forma, isto possibilita a preservação do meio ambiente que hoje em dia é um assunto de extrema importância mundialmente.

Objetivos:

Este trabalho tem como principal objetivo orientar de forma instrutiva os usuários de energia elétrica. Permitindo a utilização da mesma de forma mais racional e consciente. Além disso, visa alertar o país que a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas de baixa qualidade, pode ser prejudicial ao sistema elétrico de potência. Tendo em vista estes problemas, solicitar aos órgãos responsáveis pela qualidade de energia que alguma providência seja tomada, regulamentando normas que tornem as fontes de luz mais eficientes.

Estrutura do trabalho:

Este documento foi desenvolvido considerando:

- O levantamento do estado da arte, compreendendo conceitos de sistemas de iluminação, qualidade de energia e meio ambiente;
- A inserção da iluminação no mercado de energia elétrica: segmentos industrial, comercial e residencial;
- Estudos sobre as LFC e Incandescentes (qualidade de energia, durabilidade das lâmpadas e distorção harmônica);
- Estudos de comparação entre LFCs e lâmpadas incandescentes (quanto à viabilidade econômica);
- Normatização brasileira a respeito das LFC;
- Ensaio realizados;
- Considerações Finais.

1. ESTADO DA ARTE

1.1 Geração de energia *versus* meio ambiente

Os países estão sempre em busca do crescimento econômico, e nesta busca desenfreada é extremamente difícil manter em equilíbrio a extração de recursos energéticos e a degradação do meio ambiente, gerando como consequência a diminuição da qualidade de vida e comprometendo o futuro das próximas gerações. Poucas pessoas se preocupam com a proveniência da energia, porém quando existe possibilidade de sua falta, todos se interessam pelo assunto. Sendo assim, o que todos deveriam ter conhecimento é de onde toda esta energia é obtida, a partir do meio ambiente, transformada, utilizada e a seguir rejeitada em sua quase totalidade de volta ao meio ambiente sob diferentes formas degradadas de rejeitos e dejetos. Toda essa preocupação com o meio ambiente não é em vão, pois, além de toda reserva natural de energia ser disponibilizada pela natureza, também é o único local para o depósito de rejeitos e resíduos inutilizados e ou reaproveitáveis. Como exemplo tem-se a própria geração de energia através de usinas termoelétricas que utilizam queima de carvão para gerar energia elétrica, como pode ser visto na Ilustração 1.



Fonte: <http://fisicatrezentosedois.blogspot.com>
Ilustração 1 Usina Termoelétrica

As relações entre a energia e o meio ambiente constituem assunto de grande interesse e preocupação, uma vez que a produção da primeira é a origem de uma parte importante dos agentes agressivos ao meio ambiente.

Podemos qualificar a degradação do meio em duas diferentes situações: As não observáveis e de difícil percepção e as objetivas que são observáveis e mensuráveis, como a concentração de poluentes no ar e águas, as agressões a paisagem ou ainda o esgotamento dos recursos energéticos. A maioria da população não tem preocupação de onde vem a energia que utilizamos antes que esta falte. Por exemplo, antes da crise do petróleo que impulsionou os preços do mesmo, ninguém estava preocupado em conservar as matérias primas de onde esta fonte de energia era extraída.

No Brasil, antes de 1973, não era encontrada nenhuma medida, seja ela de cunho regulatório ou financeiro, que sinalizasse preocupação com a racionalização do consumo energético. As taxas de crescimento econômico, bem como de crescimento do consumo de energia primária situavam-se num mesmo patamar, ao redor dos 5% ao ano. Por outro lado, o petróleo com sua elevação de preços em 1973, causou a confirmação destas afirmações com a perspectiva de concretização de cenários catastróficos, onde em decorrência do desperdício dos recursos terrestres, a penúria começava a aparecer. A partir de então como (Roland, M, 1985) observa, a escolha era simples: mudar ou desaparecer. Mudar significava reduzir a exploração dos recursos não renováveis, particularmente aqueles com fins energéticos. Mudar significava também revisar os modelos de produção e de consumo. Esta foi a fase de florescimento dos modelos alternativos de planejamento, a partir de planos como o (Roland, M, 1985), de 1978. A linha principal destes documentos era a de proceder a um estudo suficientemente detalhado da demanda energética, supondo modificações mais ou menos importantes nas estruturas de consumo.

Certos cenários propunham modificações um pouco mais modestas, demonstrando que sem alterações de maior monta no modo de vida e sem privações, uma estabilização de consumo era concebível. Nesta época não se falava ainda de gestão de energia, porém inúmeras teses econômicas foram desenvolvidas, as quais demonstravam o interesse na racionalização energética e no emprego das energias ditas “alternativas” em detrimento das políticas de expansão da oferta e da produção tradicionais.

Logo após a crise do petróleo, em 1979, o governo elevou os preços, mas estas medidas não se mostraram suficientes para limitar o consumo e que seria conveniente também agregar ações voluntárias de conservação de energia.

Três pontos sustentavam esta ideia:

- O primeiro, ainda atualmente válido, era a certeza de que os sinais emitidos pelo mercado tendiam a não refletir a realidade em longo prazo. A penúria do petróleo que convinha antecipar implicava num valor marginal bem mais elevado que as cotações de mercado tinham atingido. O custo da gestão de energia se comparava a este valor superior.
- O segundo ponto era uma razão de ordem estratégica. Os grandes importadores não poderiam aceitar o risco de serem submetidos a embargos de parte dos países exportadores. O custo da gestão de energia se comparava a um desafio que representava a segurança de provisionamento.
- O terceiro ponto era o desejo de descentralização. Muitos pensavam que as ditas novas energias, produzidas localmente, seriam preferíveis em face de uma produção centralizada. Foi neste contexto que nasceu o conceito de gestão da energia centralizada sobre a demanda. Na França, por exemplo, foi criada em 1974, a Agência para a Conservação de Energia e em 1978 é a vez do Commissariado para a Energia Solar. (Xavier. P.A, 2005) observa que para uns a gestão de energia significava a simples extensão da racionalidade econômica a um novo domínio, aquele da energia, no entanto para outros, ela era um dos elementos de mudança tanto social como técnica à qual se encontrava confrontado o modelo industrial de produção.

1.2 Qualidade de energia elétrica no Brasil

De acordo com (Oliveira, 2002), o tema “qualidade da energia elétrica” tornou-se uma preocupação comum a todos os agentes do setor elétrico, entre eles: concessionárias, consumidores e órgãos reguladores. Todos os aspectos relacionados aos problemas na qualidade da energia são importantes, desde a sua verificação, o seu diagnóstico e, por último, a sua solução, levando em consideração o impacto econômico relacionado. Os problemas surgem tanto na tensão e corrente, quanto na frequência, podendo causar falhas em equipamentos industriais, comerciais e residenciais. Algumas razões principais que fazem deste tema um fator de grande importância são:

- O desenvolvimento de equipamentos elétricos mais sofisticados, utilizando principalmente sistemas de controle e comando baseados em microprocessadores e eletrônica de potência, onde a sensibilidade a variações na qualidade da energia é superior à da geração anterior;
- A preocupação com a eficiência energética, que pode ser melhorada desde que medidas de correção e controle dos distúrbios relacionados à qualidade sejam implementadas;
- O aumento da interconectividade entre sistemas elétricos, fazendo com que os padrões de qualidade fossem melhorados e aplicados a todos os membros constituintes do sistema.
- E o ponto mais importante é o aumento do nível de exigência por parte dos consumidores, que se tornaram mais conscientes dos possíveis problemas em seus equipamentos decorrentes de uma alimentação de baixa qualidade e, desta forma, exigindo das concessionárias o fornecimento de energia com baixos índices de interrupção, afundamentos e transitórios;

Segundo (SKVARENINA, I, 2001), no passado as Concessionárias tinham a responsabilidade de fornecer simplesmente uma determinada tensão em uma frequência específica. Uma energia era considerada de boa qualidade quando os valores da tensão e da frequência permaneciam próximos aos seus valores nominais (e.g. 220 V, 60 Hz no Brasil) e era pequeno o número de interrupções. A partir dos anos 70, segundo (BOLLEN, Math H. J, 1999), os termos “elevada qualidade da energia”, “segurança”, “serviço confiável” e “custos operacionais baixos” foram apontados como metas para os sistemas elétricos de potência.

A partir de então, algumas regulamentações e normas foram propostas como cita (AMBONI, G. P. M., 2003):

- **1978:** Com o objetivo de regulamentar “as condições técnicas e a qualidade do serviço de energia elétrica”, o DNAEE lançou as Portarias N° 046 e 047.
- **1978:** Foi a partir deste momento que a ELETROBRÁS liderou um processo de discussão sobre critérios e metodologias para o atendimento de consumidores com cargas especiais.

- **1980:** A Portaria N° 031, neste ano lançada, considerava ser imprescindível: a conceituação de serviço adequado, o estabelecimento de método uniforme para apuração dos índices de continuidade de suprimento dos sistemas elétricos e a definição dos limites de variação das tensões.
- **1984:** Ano em que ocorreu uma revisão destes critérios e metodologias, com o objetivo de acrescentar a experiência operacional obtida pelas empresas de energia elétrica no que diz respeito à distorção harmônica, flutuação e desequilíbrio de tensão.
- **1993:** A ELETROBRÁS realizou uma nova revisão dos documentos anteriores, levando em conta a experiência dos grupos de trabalho da CIGRÉ, UIE, IEC e IEEE, bem como as novas experiências das empresas brasileiras (IBS e ABRA-CE). Neste mesmo ano foi emitido o documento “Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais”, cuja autoria foi atribuída ao GCOI e GCPS. Estabeleceu os critérios e procedimentos de planejamento e de operação para a avaliação e o controle das perturbações causadas por cargas não lineares, intermitentes ou desequilibradas.
- **1997:** O documento supracitado foi complementado por outro, denominado por “Procedimentos de Medição para Aferição da Qualidade da Onda de Tensão Quanto ao Aspecto de Conformidade (Distorção Harmônica, Flutuação e Desequilíbrio de Tensão)”.
- **1999:** O submódulo 3.8 integrante ao Módulo 3 – Acesso aos Sistemas de Transmissão – dos Procedimentos de Rede define os requisitos técnicos mínimos para a conexão de Agentes à Rede Básica.
- **2000:** Data na qual o submódulo 2.2, integrante ao Módulo 2, traçou como objetivo definir os padrões de desempenho da Rede Básica. Em janeiro deste mesmo ano, a ANEEL aprovou a Resolução 024, que estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras, e em novembro aprovou a Resolução 456, que estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.
- **2001:** Em novembro deste ano, a ANEEL aprovou a Resolução 505, que estabelece, de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.

- **2002:** A elaboração dos Procedimentos de Distribuição, diferentemente dos procedimentos de Rede, em elaboração pelo ONS, requer um arranjo próprio e coordenação da ANEEL, uma vez que não existe entidade subordinada a ANEEL com a atribuição de elaborá-los.

1.3 Normatização

A normatização é o processo de estabelecer e aplicar parâmetros a fim de abordar ordenadamente uma atividade específica, com a participação de todos os interessados, levando em conta as condições funcionais e as exigências de segurança.

1.3.1 Órgãos reguladores

Os órgãos reguladores têm como função controlar a aplicação das normas pertinentes em uma determinada área de abrangência ou país. Cabe a estes órgãos publicar portarias, nas quais estão definidas as regras de fiscalização e controle das marcas e selos ostentadas nos produtos.

1.3.2 Normas existentes referentes a LFC

As lâmpadas fluorescentes foram lançadas no mercado mundial em meados dos anos 40, mas foi nas décadas de 70 e 80 que a sua produção realmente tornou-se significativa, pois apesar de seu custo inicial ser mais elevado que os de lâmpadas incandescentes, elas apresentam uma maior vida útil e também uma superior eficácia luminosa. Com a crise energética brasileira em 2002, um aumento considerável na utilização das lâmpadas fluorescentes foi observado no mercado nacional. Mas, devido à falta de padronização, fiscalização e conhecimento, muitas pessoas que julgam estar economizando energia podem estar fazendo exatamente o oposto: aumentando o consumo energético ao substituir as lâmpadas incandescentes.

Apesar da grande difusão das LFCs no comércio brasileiro não existiam normas ou regras para fabricação das mesmas. A primeira delas foi a Resolução número 334 de 02 de dezembro de 1999 da Agência Nacional de Energia Elétrica — ANEEL. A partir de então os órgãos regulamentadores publicaram uma série de leis, resoluções, normas e portarias que regulamentaram a qualidade das LFC no mercado brasileiro.

A resolução número 334 de 02 de dezembro de 1999, autoriza as Concessionárias do Serviço Público de Energia Elétrica a desenvolverem, dentro dos seus programas de combate ao desperdício de energia elétrica, projetos que visassem a melhoria do fator de carga de unidades consumidoras localizadas em suas respectivas áreas de concessão, ou seja, iniciava-se o

programa de Eficiência Energética, o incentivo ao investimento em projetos que visassem o combate ao desperdício de energia. Em 2000, a Associação Brasileira de Normas Técnicas lançou as normas (NBR14538 e NBR14539, 2000), que dizem respeito às lâmpadas fluorescentes com reator integrado a base para iluminação geral — requisitos de segurança e desempenho respectivamente.

O principal objetivo da (NBR 14538, 2000) é especificar os requisitos de segurança e intercambialidade, juntamente com os métodos de ensaio e condições requeridas, e assim demonstrar a conformidade de lâmpadas fluorescentes tubulares com dispositivos integrados a base para controlar o acendimento e o funcionamento estável (lâmpadas com reator integrado), destinadas ao uso doméstico e iluminação geral similar, tendo:

- Potência nominal até 60 W, inclusive;
- Tensão nominal de 100 V a 250 V;
- Frequência nominal de 50 Hz ou 60 Hz;
- Base com rosca Edson.

Já a NBR 14539 tem como principal objetivo especificar os requisitos de desempenho, juntamente com os métodos de ensaio e as condições requeridas para demonstrar a conformidade de lâmpadas fluorescentes tubulares.

Podemos destacar nessa última as observações quanto à manutenção do fluxo luminoso. Ela sugere que após 2000h de funcionamento, incluindo o período de sazonalidade, a manutenção do fluxo luminoso não deve ser inferior a 80% do valor declarado pelo fabricante ou vendedor responsável. Quanto à eficiência, ela especifica que o mínimo para uma lâmpada deve ser 40 lm/W, medida logo após o sazonalidade de 100h.

Ainda em 2000, o Presidente da República promulgou a Lei número 9.991 de 24 de julho de 2000, que obriga as concessionárias e permissionárias a aplicarem, anualmente, o montante de, no mínimo, 75 centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final. Em outras palavras, o que antes era recomendação passou a ser obrigação. Essa lei também define que o percentual deveria ser aplicado da seguinte forma:

Os investimentos seriam aplicados de acordo com regulamentos estabelecidos pela ANEEL; No mínimo trinta por cento seriam destinados a projetos desenvolvidos por instituições de pesquisa sediadas na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste; Para instituições de pes-

quisa e desenvolvimento receptoras de recursos nacionais e reconhecidas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia — MCT; Para instituições de ensino superior credenciada junto ao Ministério da Educação e Cultura — MEC.

Em 2001, através da Resolução número 394, de 17 de setembro, a Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu Critérios para aplicação de recursos em projetos de combate ao desperdício de energia elétrica, por parte das concessionárias e permissionárias do serviço de distribuição de energia elétrica, em medidas que tenham por objetivo a conservação e o combate ao desperdício de energia. Esta resolução estabelece:

Aplicação anual de, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) da Receita Operacional líquida, calculada de acordo com a Resolução da ANEEL nº 185, de 21 de maio de 2001;

Critérios de projeto no que se refere a Relação Custo Benefício (RCB) calculada de acordo com o Manual para Elaboração dos Programas Anuais de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica;

Quando necessário, ações de marketing deverão estar incluídas nos projetos.

Em 2002, a Portaria número 020 de 29 de janeiro do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior — MDIC através do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2010) estabeleceu algumas regras quanto a reatores e lâmpadas fluorescentes tubulares. Esta portaria define que no Sistema Brasileiro de Certificação (SBC) fica mantida a Certificação compulsória de reatores, para lâmpadas fluorescentes tubulares fabricados e comercializados no país, ou seja, fica obrigatório o atendimento aos pré-requisitos das normas técnicas em vigor para que seja permitida sua comercialização.

Ainda em 2002, no dia 03 de setembro, a Resolução número 492 da Agência Nacional de Energia Elétrica — ANEEL altera o percentual sobre a Receita Operacional Líquida que se destina a aplicação em programas de eficiência Energética de 0,25% para 0,5% até 31 de dezembro de 2005.

Em 13 de maio de 2004, o INMETRO publicou seu "Regulamento de Avaliação da Conformidade de Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado", através do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Este regulamento traz às regras para fabricantes/importadores utilizarem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em sua linha de produção, especificamente para as LFC com reator integrado.

No ano de 2006, a Portaria Interministerial número 132 de 12 de junho institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética — CGIEE, com a finalidade de ela-

borar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, e estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado, além de aprovar a Regulamentação Específica de lâmpadas fluorescentes compactas.

Esta regulamentação estabelece que:

Art. 3º - O Índice de Eficiência Energética a ser utilizado é definido como a razão entre o fluxo luminoso medido e a potência elétrica consumida medida em watts. A potência consumida não deve ser inferior a 90% da potência declarada.

§ 1º. Para obtenção desse índice será considerada a média aritmética dos valores dos índices de eficiência energética das dez lâmpadas amostradas.

§ 2º. Os índices de Eficiência Energética deverão ser calculados para as medições feitas ao completar 100 horas e 2000 horas de funcionamento.

Art. 4º - Os índices mínimos de eficiência energética a serem atendidos nos ensaios ao completar 100 horas são definidos na TABELA de Índices Mínimos de Eficiência Energética — 100h.

Tabela 1 Índices mínimos de Eficiência Energética — Sem invólucro

LFC sem invólucro	Índice Mínimo (lumens/watt)
Potência da lâmpada 8 W	43,0
8 W < Potência da lâmpada 15W	50,0
15 W < Potência da lâmpada 25 W	55,0
25 W < Potência da lâmpada	57,0

Tabela 2 Índices mínimos de Eficiência Energética — Com invólucro

LFC com invólucro	Índice Mínimo (lumens/watt)
Potência da lâmpada 8 W	40,0
8 W < Potência da lâmpada 15W	40,0
15 W < Potência da lâmpada 25W	44,0
25 W < Potência da lâmpada	45,0

Obs.: Entende-se como LFC com invólucro quando esta recebe uma cobertura adicional sobre o tubo de descarga podendo o invólucro ser transparente ou translúcido

Fonte: (PRI número 132/2006)

§ 1º. Os índices mínimos de Eficiência Energética a serem atendidos nos ensaios ao completar 2000 horas de funcionamento são iguais a 80% daqueles definidos na Tabela 2.

Em 16 de novembro de 2006 a Portaria número 289 do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, através do INMETRO, aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade de Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado e institui, no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, a etiquetagem compulsória de lâmpadas fluorescentes com reatores integrados, ou seja, fica estabelecido que a partir desta portaria, que para a certificação passa a ser obrigatório o atendimento dos pré-requisitos das normas em vigor, assim permitindo sua comercialização.

2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

2.1 Introdução

Segundo (Figueiredo, 2005), Os níveis adequados de iluminância no ambiente de trabalho, concorrem para manter a qualidade do produto, com menores perdas de material, com menor potencial de riscos de acidentes prevenindo-se a fadiga visual, causada por longos períodos de exposição à má iluminação.

Primeiramente deve ser considerada qual é a função do ambiente de um projeto de iluminação, pois este parâmetro é o mais importante para definição do projeto. A função irá determinar o tipo de luz que o ambiente necessita. Os objetivos de um projeto de iluminação estão classificados basicamente em dois tipos, são eles:

- Objetivo da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objetivo está intimamente associado às atividades laborativas e produtivas. Escritório, escolas, bibliotecas, bancos, indústrias etc.
- Objetivo da iluminação é a utilização da luz como principal instrumento de ambientação do espaço – na criação de efeitos especiais com a própria luz ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo está intimamente associado às atividades não laborativas, não produtivas, de lazer, estar e religiosas – residências, restaurantes, museus e galerias, igrejas etc., como pode ser observado na Ilustração 2 de um exemplo de uma residência.



Fonte: <http://angelaabdalla.blogspot.com> - Projeto de iluminação
Ilustração 2 Iluminação residencial

Primeiramente para realização de um bom projeto de iluminação deve se conhecer alguns itens importantes que o mesmo contém. Entre tantos, o fundamental é conhecer, justamente, os produtos que fazem a luz e seus efeitos.

A luz é gerada por uma fonte de luz e, ao acontecer esse fenômeno físico chamado luz, ela será direcionada por um equipamento chamado luminária ou projetor. Para a geração dessa luz, terá de haver energia e os chamados equipamentos auxiliares, sem os quais muitas das fontes de luz simplesmente não funcionam.

Outros equipamentos e itens compõem um sistema de iluminação, mas os indispensáveis, quando se trata de iluminação artificial, são as lâmpadas – fontes de luz –, as luminárias e os equipamentos auxiliares – reatores, transformadores, ignitores etc.

Um projeto de Iluminação deve ser ao mesmo tempo econômico, especialmente quanto ao consumo de energia, prático, funcional, por meio do bom uso da luz e assim como embelezar os ambientes a serem iluminados.

2.2 Conforto Luminoso

Hoje em dia, o que engenheiros e consumidores buscam são empresas fornecedoras de tecnologia, produtos e serviços. Principalmente o usuário final busca que o ambiente tenha o melhor conforto luminoso, a melhor qualidade e o menor custo possível. Esta equação, que parece simples, depende de muitas variáveis.

Para um melhor entendimento, de maneira mais clara e objetiva, primeiramente o que é conforto luminoso? O primeiro nível para avaliação o que é o conforto luminoso refere-se à resposta fisiológica do usuário. Um determinado ambiente provido de luz natural e ou artificial produz estímulos ambientais, ou seja, certos resultados em termos de quantidade, qualidade da luz e sua distribuição, contrastes etc. De acordo com (Iluminação: Conceitos e Projetos -

OSRAM) o mesmo raciocínio serve para as outras áreas do conforto ambiental. Para a área de acústica, teremos certo nível de barulho (ruído de fundo medido pelo seu nível de intensidade sonora em dB(A)), as frequências desse ruído, sua distribuição e propagação etc. Para a área de conforto térmico, teremos a temperatura do ar, a umidade relativa, a ventilação no ambiente, uma certa quantidade de insolação etc.

Todos esses estímulos ambientais são físicos, objetivos e quantificáveis. O usuário sentirá todas estas variáveis físicas do espaço por meio de seus sentidos – visual, auditivo e termometabólico – e a elas responderá, num primeiro momento, através de sensações. Do ponto de vista fisiológico, para desenvolvimento de determinadas atividades visuais, nosso olho necessita de condições específicas e que dependem muito das atividades que o usuário realiza. Por exemplo: para ler e escrever, é necessária certa quantidade de luz no plano de trabalho, como apresentado na Ilustração 3; Para desenhar ou desenvolver atividades visuais de maior importância visual (atividades mais “finas” e com maior quantidade de detalhes), necessita-se de mais luz. Mas quantidade de luz não é o único requisito necessário. Para essas atividades, a boa distribuição de luz no ambiente e a ausência de contrastes excessivos (como a incidência direta do sol no plano de trabalho e reflexos indesejáveis) também são fatores essenciais. Quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico que o olho terá de fazer para se adaptar às condições ambientais e desenvolver bem a atividade em questão.



Fonte: Projeto de iluminação - Osram

Ilustração 3 Conforto como sensações a partir de estímulos físicos.

2.3 Evolução do sistema de Iluminação

2.3.1 Primeiras fontes de iluminação

Através de fontes históricas já se encontraram algumas fontes de iluminação. A mais de 500.000 anos atrás a luz artificial já era utilizada, quando o homem paleolítico conseguiu criar fogo com as mais primitivas ferramentas. O fogo permaneceu por muitos anos como única fonte de luz existente, até meados do século XIX e que servia também como proteção do frio e preparo de comida. Somente em torno de meados do século XIX o fogo foi "dominado", e então se pode falar do mesmo como iluminação. Os primeiros meios de iluminação foram tochas feitas de galhos de árvores com resina. A evolução da tocha pode se dizer que foi a utilização de óleo animal e vegetal como meio de iluminação. As lâmpadas a óleo e velas foram usadas somente para iluminação de interiores.

Uma iluminação externa era praticamente desconhecida até meados do século XVII. No começo do século XVII, o alemão Becke, químico e engenheiro de minas, percebeu que o gás obtido do carvão poderia ser empregado na iluminação. Entretanto, foi só depois de 100 anos que o gás para a iluminação foi produzido para este fim, (Santos. S. A, 2004).

2.3.2 Iluminação elétrica - Primeiro projeto

De acordo com (Santos. S. A, 2004), o grande projeto de Alva Edison era a criação de uma luz pequena e suave como luz a gás para então substituí-la por luz elétrica. O industrial alemão, Emil Rathenau, que reconheceu a importância da iluminação de Edison, instalou com apoio do próprio, os primeiros sistemas de iluminação em Berlim, em 1882. Sob direção de Rathenau, foi fundada em 1883 a “Deutsche Edison Gesellschaft” (DEG) com direitos exclusivos de fabricar bulbos com a patente de Edison. No primeiro ano a DEG produziu mais de 12.000 bulbos. Muito depois em 10 julho de 1919, as fábricas de lâmpadas da DEG, Siemens e Halske, incorporaram-se em Osram KG. Emil Rathenau para cuidar de seus interesses contratou o jovem engenheiro Geral Philips, com especialização em engenharia elétrica, ele tinha concluído seus estudos na Inglaterra, com mérito em iluminação elétrica, transmissão de potência e telegrafia. Mas o colaborador de Rathenau não durou muito. Gerald Philips logo percebeu que com seu conhecimento específico poderia iniciar a fabricação de bulbos com filamento por sua própria conta. Em 15 de maio de 1891 ele fundou a Philips e Co Eindhoven, Holanda. A partir de então as vendas da Philips não pararam de aumentar. Logo após começar a exportação de lâmpadas houve um crescimento nas vendas de 909 por cento. Como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 Crescimento das vendas da Philips

Ano	Vendas	Aumento em %
1892	11.000	Início da produção.
1895	100.000	909
1898	1,2 Milhões	1200
1902	3,6 Milhões	300

2.3.3 Evolução da Lâmpada de Edison

Até o fim do século XIX, as fontes de luz usadas para a iluminação eram todas fontes de radiação de calor, com sua eficácia luminosa estritamente dependente desta radiação. Devido ao grande sucesso das lâmpadas a gás, das lâmpadas de arco voltaico e também das lâmpadas incandescentes, junto ao fato do desinteresse dos fabricantes destas lâmpadas de lançar no mercado uma nova fonte de luz, ficou a lâmpada de descarga por mais algum tempo em segundo plano. A Tabela 4 exemplifica em ordem temporal os principais fatos históricos.

Tabela 4 Evolução da lâmpada - Fatos históricos

Ano	Fatos	Observações
1854	Criação das lâmpadas de descarga	Porém não foram produzidas em grande escala
1926	Utilização de baixas tensões para partida das lâmpadas de descarga	Este fato ocorreu devido ao pré-aquecimento dos eletrodos e ao mesmo tempo converter a radiação ultravioleta em luz visível
1935	Apresentação das primeiras lâmpadas de descarga	Ocorreu no encontro anual da Illuminating Engineering Society of Northern América (IESNA), em Cincinnati
1936	Fabricação das primeiras lâmpadas fluorescentes.	A Osram iniciou a comercialização das lâmpadas na Europa.
1961	Patente da lâmpada de mercúrio foi aceita	Invenção de G.H. Reiling
1964	Fabricação de lâmpadas de sódio de alta pressão	Criadas pelos Americanos Louden e Schmidt.

1965 Fabricação em série de lâmpadas
de sódio de alta pressão de 400 W

Fabricadas pela General Electric

2.3.4 Panorama geral dos sistemas de iluminação

Hoje em dia estima-se que cerca de 17% (dados da Eletrobrás/Procel 1999) de toda energia consumida no Brasil é transformada em iluminação artificial. A iluminação pública corresponde a aproximadamente 7% da demanda nacional e a 3,3% do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente a uma demanda de 2,3 GW e a um consumo de 10,2 bilhões de kWh/ano. O restante do consumo é dividido entre o consumo das lâmpadas incandescentes e de descarga em atividades privadas.

A conservação da energia elétrica leva à exploração racional dos recursos naturais. Isso significa que conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Desta forma, a energia conservada, por exemplo, na iluminação eficiente pode ser utilizada para iluminar uma escola ou atender um hospital sem ser jogada fora.

O programa nacional de conservação de energia elétrica PROCEL estabelece metas de conservação de energia que são consideradas no planejamento do setor elétrico, dimensionando as necessidades de expansão da oferta de energia e da transmissão. Dentre elas destacam-se, a redução nas perdas técnicas das concessionárias, racionalização do uso da energia elétrica e aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos (PROCEL).

Se for mantida a estrutura atual de uso da energia projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 TWh/ano. Diminuindo-se os desperdícios estima-se uma redução anual de até 130 TWh - produção aproximada de duas usinas de Itaipu (PROCEL).

Recentemente nos Estados Unidos foi decretada uma lei para regulamentar a iluminação sob um aspecto energético. Foram simplesmente proibidos o uso de sistemas de iluminação com baixa eficiência, incluindo lâmpadas bastante utilizadas no Brasil, como as incandescentes, as fluorescentes tradicionais, vapor de mercúrio e mistas. Em alguns produtos dos EUA, tipos comuns de lâmpadas e equipamentos auxiliares, encontram-se as inscrições “proibida a venda no território americano” ou “somente para exportação”. A mesma lei dá prazo para que as instalações antigas sejam reformadas e, para motivar a população, prevê financiamento destinado à troca de sistemas, além da aplicação de pesadas multas.

O motivo pelo qual essa resolução foi tomada é lógico, minimizar o consumo de energia elétrica. O governo pretende reduzir ao máximo os investimentos em eletricidade que, além

dos custos financeiros, geram custos ambientais significativos. A estratégia para atingir esses objetivos reside no desenvolvimento de novas fontes de luz, equipamentos auxiliares, sensores e luminárias mais eficientes (Godoy, P, 1999).

2.4 Tipos de lâmpada

Hoje em dia existe uma enorme gama de diferentes tipos de lâmpadas no mercado, dependendo da sua utilização: edificações, comerciais, residenciais, iluminação pública entre outros. Devem ser consideradas as necessidades, através de um estudo luminotécnico, para viabilizar a melhor lâmpada para cada caso específico. Porém esta grande gama de lâmpadas são divididas basicamente em dois grandes grupos; Primeiro grupo são lâmpadas incandescentes, que produzem luz através da passagem de uma corrente elétrica produzindo um aquecimento de um condutor sólido. O segundo grupo são lâmpadas de descarga, que emitem luz devido à passagem da corrente através de um gás. Existem também as lâmpadas do tipo mista, estas utilizam os dois processos anteriores para irradiação de luz.

A Ilustração 4 mostra a classificação das principais lâmpadas encontradas comercialmente:

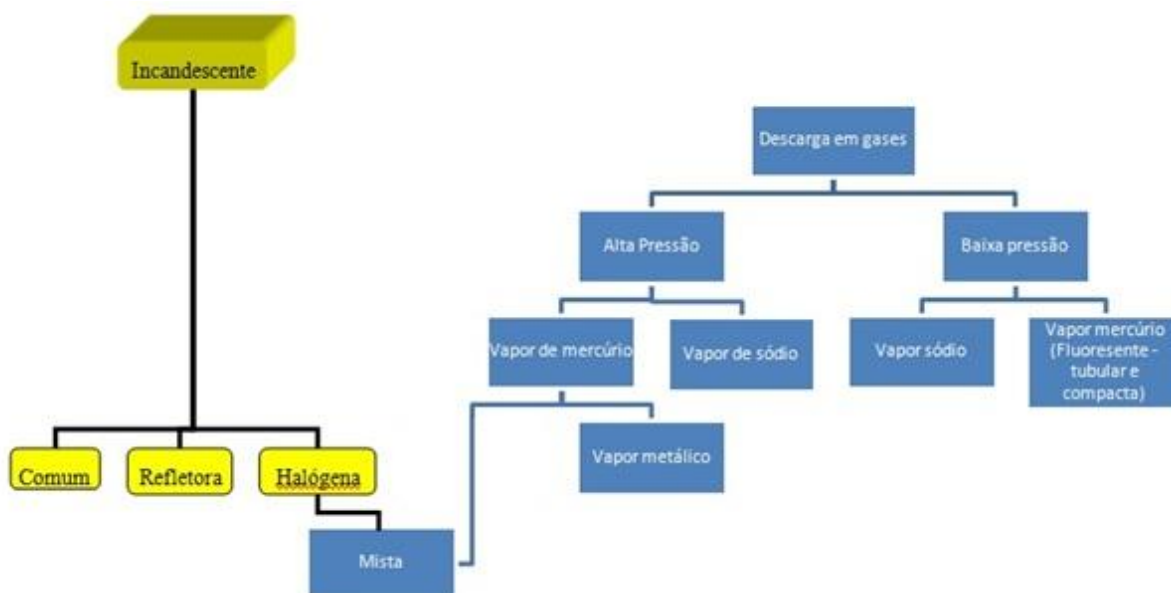


Ilustração 4 Classificação das lâmpadas

2.4.1 Lâmpadas incandescentes

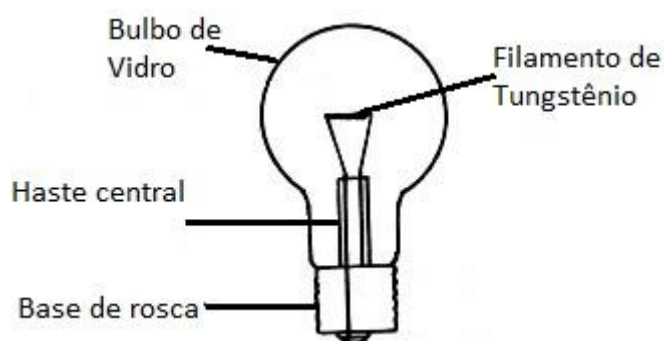
As Lâmpadas incandescentes são divididas em três grandes grupos, como pode ser observado na Ilustração 4.

2.4.1.1 Lâmpada incandescente comum

Seu princípio de funcionamento é baseado na passagem a corrente elétrica por um filamento de tungstênio, aquecendo o filamento a altas temperaturas e deixando-o incandescente, este fato explica o nome da lâmpada, melhor exemplificado na Ilustração 5. Essa incandescência produz mais calor que luz como o Sol, que na verdade é um grande corpo incandescente.

Na prática, apenas 6% do que consome de energia é transformado em luz visível, e o restante é transformado em calor. Como apenas 6% são utilizados para energia luminosa esta fonte de luz tem um baixíssimo rendimento luminoso, que fica em torno de 17 lm/W e em consequência das altas temperaturas sua durabilidade é bastante precária também, em torno de 1000h, pelo fato de o filamento ir se tornando mais fino devido ao aquecimento, causando a depreciação do fluxo luminoso até o momento em que o filamento se rompe e lâmpada "queima". Este tipo de lâmpada trata-se de uma fonte de luz que desperdiça muita energia, algo caro. Por este motivo a mesma deve ser evitada a fim de se obter um projeto de iluminação eficiente e conseqüentemente econômico.

Apesar disso, tem grande utilização, pois tem algumas características muito importantes, como o excelente índice de reprodução de cores, fácil substituição e o preço de aquisição – custo inicial – mais baixo. São adequadas para aplicações pontuais, como lâmpadas decorativas, por exemplo, ou onde a iluminação não é constante. Estas Lâmpadas foram as primeiras economicamente viáveis produzidas.



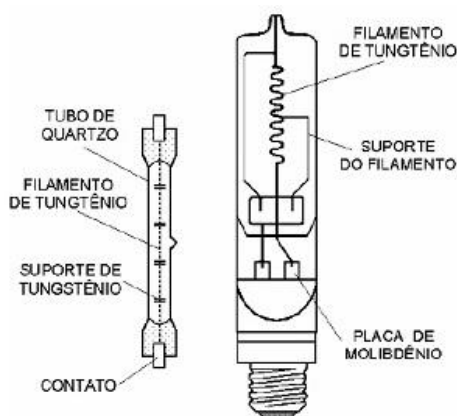
2.4.1.2 Lâmpadas incandescentes halógenas

Estas geram luz a partir do mesmo princípio da incandescente comum, através da passagem da corrente elétrica por um filamento/resistência, sendo nesse sentido igual às incandescentes tradicionais, como pode ser observado na Ilustração 6. Porém enquanto estas têm seu bulbo de vidro comum, as halógenas têm bulbo especial de quartzo, esta pequena diferença na construção resulta em uma grande diferença, pois foi possível adicionar halogênio neste bulbo e este gás gera um pequeno "milagre" no sistema: Os átomos de halogênio se combinam com as partículas que se desprendem do filamento pelo aquecimento, reconduzindo-as ao núcleo, que é o próprio filamento, mantendo-o com a mesma espessura durante toda a vida da lâmpada.

No caso da lâmpada incandescente comum, o desprendimento das partículas por aquecimento faz com que estas se depositem no bulbo da lâmpada, e o filamento vai perdendo substância, afinando-se, motivo que ocasiona a curta vida desse tipo de lâmpada.

Como nas halógenas o filamento se conserva com a mesma espessura, terá uma maior durabilidade e, como o bulbo permanece transparente, iluminará de forma uniforme até sua queima, que se dará entre 2.000 e 5.000 horas, ao contrário da incandescente comum, cuja duração máxima é de mil horas, como já mencionado anteriormente. Outras vantagens são:

- A alta intensidade luminosa;
- A excelente reprodução de cores tornam as lâmpadas incandescentes halógenas adequadas para serem utilizadas em vitrines de lojas, por exemplo;
- O rendimento luminoso superior às lâmpadas incandescentes comum, em torno de 22 lm/W.



Fonte: <http://www.eletoamerica.com.br>
 Ilustração 6 Lâmpada incandescente halógena

2.4.1.3 Lâmpadas incandescentes Refletores

São lâmpadas incandescentes especiais, com bulbo refletor com opção de dourado (ouro) ou prateado (prata). São preenchidas com gás e possuem um filamento de tungstênio duplamente espiralado.



Fonte: <http://www.eletoamerica.com.br/iluminacao/lampadas-incandescentes.html>
Ilustração 7 Lâmpada incandescente refletora

2.4.2 Lâmpadas de descarga

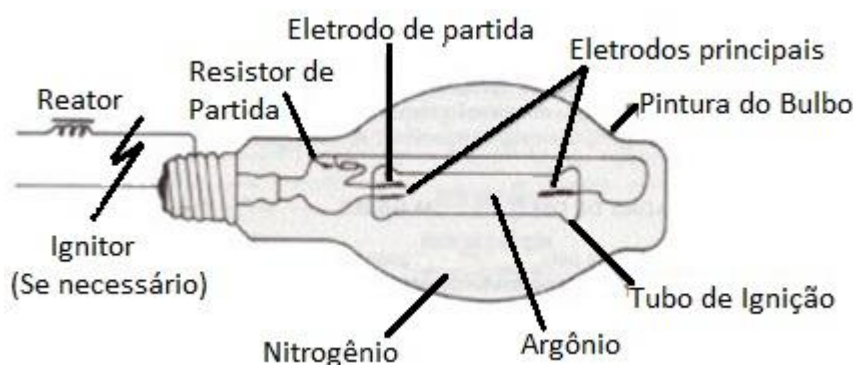
Como o próprio nome já menciona, as lâmpadas de descarga (devido ao fenômeno que ocorre para a produção de luz) imitam um fenômeno da natureza: a descarga elétrica – o relâmpago: Estas podem ser lâmpadas de descarga de baixa pressão, como as fluorescentes tubulares, circulares e compactas ou de alta pressão, como as de mercúrio puro, de sódio, metálicas etc. Cada uma destas serão abordadas com maiores detalhes a seguir.

2.4.2.1 Lâmpadas de descarga de alta pressão

Também conhecidas como lâmpadas de descarga de alta intensidade, em inglês HID (high-intensity discharge). Estas têm como diferencial de construção seu bulbo que é construído a partir de quartzo ou cerâmica, pois o vidro comum não suportaria a alta pressão interna, que equivale a várias atmosferas. Quando a pressão interna for substancialmente maior que a externa, temos um sistema de alta pressão. A produção de luz se dá através do aquecimento de dois eletrodos, nas extremidades, que por sua vez produzem uma descarga por meio de um reator, que provoca a agitação dos elétrons dentro do tubo. Esta agitação de elétrons origina a vaporização de uma gotícula de mercúrio ou de outro componente, que transforma essa vaporização em luz visível, seja por meio da passagem por uma camada de fósforo, como no caso das fluorescentes, mercúrio puro ou lâmpadas mistas, seja diretamente, como no caso das lâmpadas de sódio ou metálicas.

2.4.2.1.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio

Nas lâmpadas de vapor de mercúrio a luz é produzida pela passagem de uma corrente elétrica através do vapor de mercúrio, similar ao princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes, que será abordado a seguir. As lâmpadas de vapor de mercúrio geralmente são constituídas por dois tubos, um interno e outro externo. O tubo interno é feito de quartzo, contendo gás argônio e mercúrio. O tubo externo é de vidro e tem como função proteger e manter a temperatura do tubo interno. O interior do tubo de vidro é preenchido com um gás inerte, nitrogênio, que impede a oxidação dos contatos internos (Kaufman, J. E, 1996). São amplamente utilizadas como fontes de luz devido ao seu baixo custo de investimento e por possuírem uma longa vida útil, em torno de 11000 a 12000 horas. Necessitam de reator para serem ligadas em rede elétrica, dispensando o uso de ignitor. Por causa de sua baixa eficiência, no máximo 60 lm/W as lâmpadas de vapor de mercúrio consomem muito mais energia elétrica do que, por exemplo, as lâmpadas de multivapores metálicos ou de vapor de sódio. Seu uso é indicado para a iluminação de ruas e fábricas.



Adaptado de: <http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo2/delioentrevista.html>

Ilustração 8 Lâmpada Vapor mercúrio

2.4.2.1.1.1 Lâmpadas de vapor metálico

Hoje em dia, com preocupações tais como: Economia de energia, dinheiro e preservação dos recursos naturais, as fontes de iluminação têm passado por constantes evoluções. Principalmente as lâmpadas de vapor metálico, sendo que hoje existem aproximadamente 400 tipos de lâmpadas de vapor metálico e são aplicadas tanto na indústria como em uso residencial.

Estas lâmpadas são altamente eficientes, é uma fonte de luz compacta e são disponíveis em uma grande variedade de temperaturas de cores. Em contrapartida, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e de mercúrio são muito limitadas em cor e na qualidade de luz produzida. As cores produzidas por estas lâmpadas são normalmente inapropriadas para uma

série de aplicações. Isto explica porque o uso das lâmpadas de vapor metálico está crescendo em todo o mundo (Venture Lighting, 2011).

Esta fonte de luz pode ser fabricada para produzir quase todas as cores desejadas (2700K – 20000K) e também oferece um excelente índice de reprodução de cores (IRC) de 65 a 85. Lâmpadas de cores específicas podem ser produzidas incluindo azul, verde e rosa. Este tipo de lâmpada não utiliza filtros ou géis para a geração da cor, mas sim o vapor de metal no tubo (Venture Lighting, 2011).

As lâmpadas de vapor metálico fornecem uma solução parcial para um dos maiores problemas da sociedade industrializada – o impacto ecológico da geração de energia elétrica. Esta é a mais compacta e eficiente fonte de luz branca conhecida pelo homem. Utilizando lâmpadas de vapor metálico é possível economizar cerca de 10%, estimativa, da energia total consumida nos Estados Unidos, resultando em uma economia anual de 16 bilhões de dólares. Isto é devido a sua eficiência luminosa que pode ser de até 90 lm/W. Outro aspecto importante é que a expectativa de vida das lâmpadas de vapor metálico pode chegar até 30.000 horas (Venture Lighting, 2011).

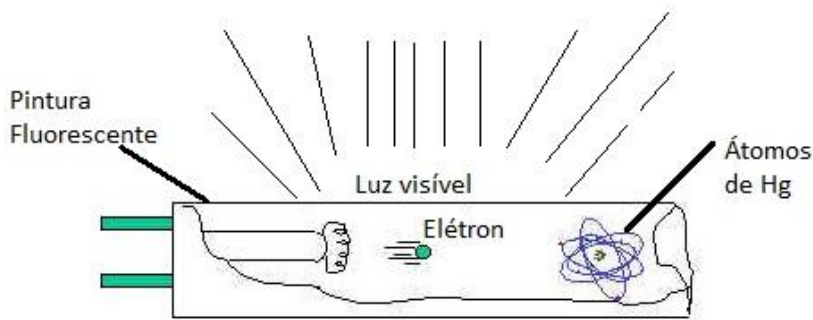


Fonte: <http://www.osetoreletrico.com>

Ilustração 9 lâmpada a vapor metálico com tubo cerâmico

2.4.2.1.1.2 Lâmpadas fluorescentes tubulares

Seu nome é caracterizado por possuir geometria tubular em função do seu tubo de descarga. Comercialmente produzidas desde a década de 1940 com ampla utilização em praticamente todos os campos de iluminação. O tubo de descarga, de vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido como "fósforo". O "fósforo" atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível, para uma melhor explanação pode-se observar a Ilustração 10.



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2004/arquivos/espectro_lamp_fluoresc.htm
 Ilustração 10 Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma LF tubular

Sua maior desvantagem ainda é o IRC que pode variar de 70 a 90. Outro empecilho é o custo das lâmpadas fluorescentes que utilizam um tubo com diâmetro menor (T8 em vez de T12).

Entretanto, este custo é compensado pelo aumento de eficiência resultante, cerca de 60 lm/W. Outra vantagem é que as lâmpadas fluorescentes duram, em média, 7.500 horas, enquanto as incandescentes 1000 horas. As lâmpadas fluorescentes tubulares são utilizadas para iluminação de interiores em instalações comerciais, industriais e residenciais. Outra vantagem que pode se destacar é que estas não oferecem riscos à saúde, pois a quase totalidade da radiação ultravioleta emitida pela descarga é absorvida pelo pó fluorescente e pelo vidro do tubo de descarga.

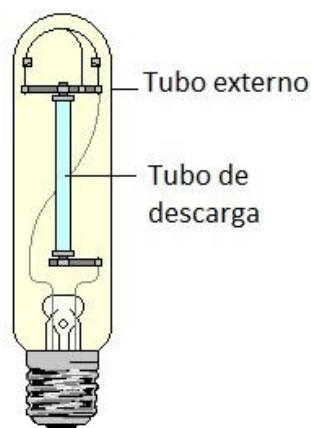
Um ponto que deve ser observado é a quantidade de acendimentos médios. Pois as lâmpadas fluorescentes são fabricadas para suportar em torno de oito acendimentos diários, ao ultrapassar este número diário, terá sua vida útil depreciada e conseqüentemente o cliente não ficará satisfeito com o resultado. Por isso, as fluorescentes não são indicadas para ambientes de muito movimento com sensores de presença, por exemplo.

2.4.2.1.2 Lâmpada de vapor de sódio

Estas são formadas por dois tubos um interno e outro externo. O tubo de descarga interno é construído a partir de óxido de alumínio sinterizado e imerso no vácuo, enquanto que o tubo externo é construído de vidro duro.

Sua principal vantagem é que oferece maior eficiência luminosa de toda a família de lâmpadas de descarga em alta pressão, podendo chegar até 150 lm/W. Além da grande eficiência luminosa outra importante característica é a longa vida útil.

Em contrapartida, pode se destacar algumas desvantagens tais como: apresentar baixa reprodução de cores, isso devido à alta pressão do sódio, que emite uma luz amarela (2200K), cor relacionada com o fato da geração de luz a partir da excitação do vapor de sódio.



Fonte: Adaptada de <http://www.construmatica.com>
 Ilustração 11 Exemplo de Lâmpada vapor de sódio

2.4.2.2 Lâmpadas de descarga de baixa pressão

Existem basicamente dois tipos de lâmpadas comerciais: As lâmpadas de descarga de baixa pressão de vapor de mercúrio, conhecidas como fluorescentes, e as de descarga de baixa pressão de vapor de sódio. Estas têm seu bulbo em vidro comum, pois a pressão interna é semelhante à pressão externa, caracterizando o seu nome.

2.4.2.2.1 Lâmpadas vapor de sódio - Baixa pressão

Uma das principais características destas lâmpadas é a pressurização do vapor dentro do tubo, esta deve estar em um nível específico, pois caso haja um elevado nível de pressão, grande parte da radiação de ressonância do átomo de sódio se perde, por auto absorção na própria descarga e em contrapartida se a pressão é muito baixa haverá poucos átomos de sódio na descarga que se deseja excitar. Algumas características positivas e negativas devem ser destacadas em relação a este tipo de lâmpada, são elas:

- Alta eficiência luminosa é da ordem de 100 lm/W, em consequência são amplamente utilizadas na iluminação de ruas com pouco tráfego de pedestres, túneis e autoestradas.
- Após a partida a mesma demora em torno de 15 minutos para adquirir sua condição normal de funcionamento, produzindo um fluxo luminoso amarelo, característico da descarga no vapor de sódio.
- As lâmpadas tradicionais possuem uma vida útil razoavelmente elevada, em torno de 6000 h. Porém algumas empresas estão produzindo lâmpadas com vida útil bem mais elevada, em torno de 18000h.

- Estas lâmpadas exigem um reator e este possui um fator de potência extremamente baixo ($\cos\phi \approx 0,35$); é necessário um capacitor para corrigi-lo.

2.4.2.2.2 Lâmpadas vapor de Mercúrio - Baixa pressão

2.4.2.2.2.1 Lâmpadas Fluorescentes Compactas

As necessidades tanto residenciais quanto industriais de lâmpadas compactas de elevada eficiência luminosa se tornou cada vez mais importante, pois desde o surgimento das lâmpadas incandescentes pouca coisa evoluiu em referência a qualidade de iluminação das mesmas.

Sendo assim, somente em 1986 foram produzidas as primeiras lâmpadas fluorescentes com reatores integrados. Este projeto era muito compacto comparado com os padrões atuais de fluorescente tubulares. A característica principal deste projeto era a utilização do bocal de rosca E-27, a partir disso, as fronteiras foram abertas para a substituição das lâmpadas incandescentes. Para execução do projeto foram necessárias algumas façanhas. Primeiramente precisava-se de uma corrente nominal de descarga igual às lâmpadas fluorescentes tubulares, porém esta corrente deveria ser produzida a partir de um reator que coubesse em uma lâmpada com bocal E-27. Porém, esta técnica somente se tornou viável com o desenvolvimento do tri fósforo, pois este permite um aumento na temperatura de trabalho da parede do tubo da lâmpada. Logo após, foi necessário reduzir o diâmetro do bulbo e modificar o gás de enchimento, de forma a aumentar a tensão de arco e, com isso, a potência, com a mesma corrente nominal de descarga.

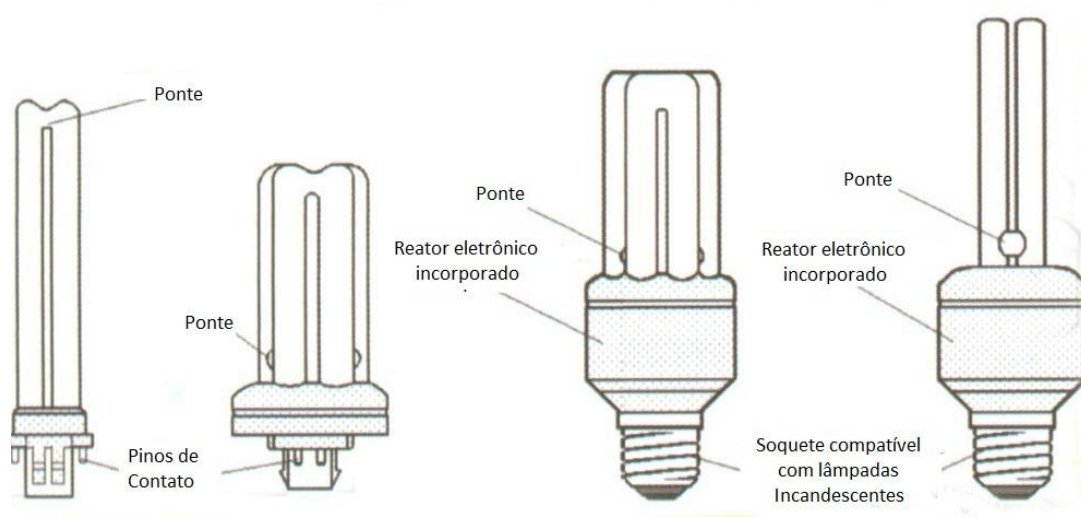
Como todas as lâmpadas de descarga, as lâmpadas fluorescentes compactas necessitam de um reator que pode ser eletromagnético ou eletrônico, de acordo com o tipo de lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes compactas têm algumas particularidades quanto a sua construção (Ilustração 12), eficiência luminosa, potência e utilização. Estas características estão mais detalhadas na Tabela a seguir.

Tabela 5 Características das FLCs

Tipo de construção	Eficiência luminosa média (lm/W)	Vida útil média (h)	Utilização
2 pinos e um tubo	60	10.000	Substituição das lâmpadas incandescentes de baixa potência. Disponíveis nas potências de 5 a 11 W.
4 pinos e um tubo	60	12.000	Iluminação de emergência (trem, metrô, ônibus, avião, etc).
2 pinos e um bulbo duplo	60	10.000	Comercial e decorativa. Disponíveis nas potências de 13 a 26 W.

Como já explicado anteriormente as lâmpadas fluorescentes são geradores de ultravioletas providos de um revestimento de fósforo. Porém esta radiação é invisível ao olho humano, assim, o revestimento é quem converte a radiação, em outra faixa visível ao olho humano. Para ser eficiente a radiação ultravioleta deve ser gerada em baixa pressão. Ao mesmo tempo a quantidade de watts por unidade de comprimento das lâmpadas fluorescentes é bastante restrita e, por esta razão, lâmpadas com boa eficiência, têm uma forma linear (tubo).



Adaptado de: http://alessandrozuos.blogspot.com/2010_08_01_archive.html
 Ilustração 12 Lâmpadas fluorescentes compactas

2.4.3 Análise das harmônicas nas LFCs

No quesito eficiência energética não existe a menor dúvida quanto à superioridade das LFCs em relação as lâmpada incandescente (LI). Porém a qualidade de energia apresentada pelas LFCs é extremamente precária, sendo estas causadoras de distúrbios na rede elétrica. Estas distorções são compostas de frequências múltiplas ou submúltiplas da fundamental (60 Hz) e são conhecidas como harmônicos. A soma dos harmônicos aparecem nas ondas de corrente e tensão como distorções.

Estas distorções são extremamente indesejáveis tanto para as concessionárias quanto para os usuários. A presença destes distúrbios pode causar danos elétricos inconvenientes, como a queima de motores e mau funcionamento de equipamentos eletrônicos sensíveis, por exemplo. Hoje em dia com o crescente número de componentes eletrônicos presentes em equipamentos em geral é difícil manter um fornecimento de energia com qualidade elevada.

Além disso, até hoje nenhuma norma foi criada no Brasil para regulamentar os níveis de harmônicos presentes no sistema de distribuição. Sendo assim, cabem às concessionárias de energia elétrica e aos seus consumidores controlar os níveis de harmônicos presentes no sistema elétrico brasileiro.

Com este aumento constante nos níveis de harmônicos presentes na rede, é de extrema importância a suavização ou correção desse problema. Em um primeiro momento, como em qualquer outro projeto é necessário descobrir a origem do problema. Sendo assim, verificou-se que as lâmpadas fluorescentes são, em parte, responsáveis pela introdução dessa distorção indesejada nas redes de distribuição de energia elétrica.

No próximo capítulo deste documento serão apresentadas formas de avaliar as distorções na forma de onda de corrente de lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas incandescentes. Para tanto, serão analisados fator de potência, forma de onda de tensão, forma de onda de corrente, distorção harmônica total (DHT), potência ativa consumida e quantidade de iluminação.

2.4.4 Tendência da iluminação - Lâmpadas de LED

Nas últimas décadas os diodos emissores de luz (LED), eram apenas utilizados em aparelhos eletrônicos, como lanternas, televisões etc. Nos últimos anos evoluiu para semáforos, decoração externa de prédios entre outros. Nos dias de hoje, já estão migrando para as residências, como uma fonte de iluminação promissora. Pode-se dizer que a iluminação com a utilização de LEDs é uma terceira geração das lâmpadas, sendo a primeira a incandescente e a segunda as fluorescentes.

A tecnologia da lâmpada LED é bem diferente das outras. O material utilizado na fabricação destas é semicondutor, mesma tecnologia utilizada em chips de computadores. Uma pequena corrente elétrica que circula neste dispositivo faz com que o mesmo emita luz.

Tem se como resultado um dispositivo com uma alta durabilidade, comparado com as outras lâmpadas. Sua vida útil varia em torno de 20.000 horas podendo chegar até 100.000 horas de uso ininterrupto.

Entretanto, sua grande massificação no consumo ainda não se tornou real, pois o elevado preço ainda é o grande problema enfrentado. Porém, o preço vem diminuindo ano após ano e devido à tecnologia utilizada a eficiência luminosa aumenta com o passar dos anos, iluminando mais com a mesma quantidade de energia.

Enquanto uma lâmpada incandescente converte em luz apenas 5% da energia elétrica que consome. As lâmpadas LED convertem até 40%. Essa diminuição no desperdício de energia traz benefícios evidentes ao meio ambiente.

Segundo (Corrêa. R, 2011), nos países em que a eletricidade é produzida a partir da queima de combustíveis fósseis, essa economia significa nove vezes menos gases do efeito estufa na atmosfera. Se metade de toda a iluminação mundial fosse convertida à tecnologia LED até 2025, seria possível economizar 120 gigawatts de eletricidade. Isso reduziria as emissões de dióxido de carbono em 350 milhões de toneladas por ano.

As lâmpadas LED são a prova de que o desenvolvimento tecnológico é a forma mais eficiente de combater o aquecimento global.

3 METODOLOGIA APLICADA

3.1 Considerações iniciais

O foco deste trabalho é avaliar o impacto da utilização em larga escala das LFCs, e então fazer uma comparação quanto à economia e os distúrbios causados nas redes de distribuição. Para auxiliar na execução desta tarefa, uma bancada para medições foi implementada no laboratório de eletrotécnica e eletrônica nas dependências da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), no Campus de Alegrete-RS.

O objetivo desta bancada é a realização de diversas medições elétricas as quais tem como objetivo o levantamento do comportamento tanto das LFCs quanto das LIs. A partir dos dados coletados será realizado o estudo que é o principal tema do trabalho.

Para realização desta parte experimental foram utilizados medidores eletrônicos, equipamentos e componentes elétricos. Que serão abordados detalhadamente quanto às características técnicas no decorrer deste capítulo.

As principais grandezas elétricas de uma carga, no que diz respeito a sua influência na QEE de um sistema de distribuição, são: potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, corrente elétrica (RMS), espectro harmônico de corrente (amplitude e ângulo de fase) e a distorção harmônica total (DHTi) de corrente. Uma vez disponibilizado este conjunto de dados, torna-se possível a interpretação e a manipulação matemática do mesmo, viabilizando assim encontrar modelos computacionais que correspondam às características das grandezas solicitadas pelas LFCs e LIs. Neste processo, torna-se importante medir também as características da tensão de alimentação, principalmente no que diz respeito ao nível de distorção harmônica. A tensão de alimentação terá influência e, ao mesmo tempo, poderá ser influenciada pelos sinais de corrente das cargas, tendo em vista a capacidade da fonte.

Como já mencionado anteriormente existem basicamente dois tipos de lâmpadas fluorescentes, com reator integrado ou com reator separado. Porém este trabalho visa o primeiro tipo

de lâmpada. Em consequência disso, as LFCs são consideradas como um elemento único (reator mais tubo de descarga), somente para análise deste trabalho.

3.2 Definição das amostras

3.2.1 Definição das LFCs

Após uma rápida consulta de mercado verificou-se diversos fabricantes de LFC, sendo que cada fabricante produz lâmpadas com diversos níveis de potências e tipos de construção. Sendo assim, pode se adotar alguns critérios de escolha das lâmpadas sendo eles:

- O valor de mercado, ou melhor, lâmpadas de valores comerciais bem próximos e de fabricantes diferentes.
- Potência igual das LFC, porém este aspecto não foi possível exatamente como esperado, pois não foram encontrados três fabricantes diferentes de LFC com uma potência de 20 W, no mercado local. Sendo assim, foram adquiridas 4 amostras de 20 W e 2 amostras de 18W.
- Forma construtiva das LFC, apresentando lâmpadas com potências iguais, e com o mesmo formato (3 tubos).

Foram selecionadas 6 LFCs, sendo 3 de fabricantes diferentes. Foram utilizadas duas amostras de cada fabricante para que fosse possível calcular uma média dos resultados obtidos. Para que não haja nenhuma alteração nos resultados e então seja desconsiderado erro por defeitos na fabricação.

Os parâmetros das lâmpadas podem ser observados na tabela a seguir:

Tabela 6 Parâmetros das LFCs

Tipo	Marca	Potência (W)	Tensão	Tem. Cor (K)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Lum. (lm)	Vida média (h)	Fator de potência	Valor (R\$)
LFC1	A	20	220	2700	63	1260	8000	0,6	10.82
LFC2	A	20	220	2700	63	1260	8000	0,6	10,82
LFC3	B	20	220	2700	62	1219	8000	>0,5	9,50
LFC4	B	20	220	2700	62	1219	8000	>0,5	9,50
LFC5	C	18	220	6500	61	1100	4000	0,6	9,50
LFC6	C	18	220	6500	61	1100	4000	0,6	9,50

3.2.2 Definição das lâmpadas incandescentes

Baseado no mesmo método de escolha das LFCs, as incandescentes foram escolhidas a partir de uma consulta no mercado local. Sendo que cada fabricante produz lâmpadas com diversos níveis de potências e tipos de construção. Sendo assim, pode se adotar alguns critérios de escolha das lâmpadas, sendo estes:

Foram seguidos os mesmo critérios das LFCs, sendo que a potência escolhida para as Lis foi de 60 W.

Foram selecionadas de 6 lâmpadas incandescentes, sendo de 3 fabricantes diferentes. Foram obtidas duas amostras de cada fabricante para que fosse possível calcular uma média dos resultados obtidos. Para que não haja nenhuma alteração no resultado e então seja desconsiderada a possibilidade de erros por defeitos na fabricação. A partir das amostras escolhidas alguns parâmetros podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 7 Parâmetros das Incandescentes

Tipo	Marca	Potência (W)	Tensão	Vida útil Média (h)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Lum. (lm)	Valor (R\$)
LI1	A	60	220	2000	11,91	715	1,50
LI2	A	60	220	2000	11,91	715	1,50
LI3	B	60	220	1000	11,91	715	2,00
LI4	B	60	220	1000	11,91	715	2,00
LI5	C	60	220	2000	13,33	800	1,75
LI6	C	60	220	2000	13,33	800	1,75

3.3 Circuito oscilador modo astável

Com uma enorme gama de opções de circuitos osciladores, entre eles, utilizando amplificadores operacionais, circuitos integrados (CI) tais como: O 74221, 556, 555, 558 entre outros, para execução desta tarefa optou-se por um CI mais simples, barato e com facilidade de se encontrar no mercado e robustez. O Circuito integrado 555 é utilizado em uma variedade de aplicações como temporizador ou multivibrador. É composto por 23 transistores, 2 diodos e 16 resistores num chip de silício em um encapsulamento duplo em linha (DIP) de 8 pinos. Com este CI é possível trabalhar com três diferentes modos de operação:

- Modo monoestável: nesta configuração, o CI 555 funciona como um disparador. Suas aplicações incluem temporizadores, detector de pulso, chaves imunes a ruído, interruptores de toque, etc.

- Modo astável: o CI 555 opera como um oscilador. Os usos incluem pisca-pisca de LED, geradores de pulso, relógios, geradores de tom, alarmes de segurança, etc.
- Modo biestável: o CI 555 pode operar como um flip-flop, se o pino DIS, responsável pela descarga do capacitor, não for conectado e se não for utilizado capacitor. As aplicações incluem interruptores imunes a ruído, etc.

Para este trabalho foi utilizado o modo astável que é composto por dois resistores, R1 e R2, dois capacitores C1 e C2, uma fonte de alimentação digital assimétrica da marca Instru-therm (modelo FA-1030, com tensão de saída de 0 a 30 V e precisão $\pm 1,5\%$ + 2 dígitos) e um circuito integrado 555. O modelo representativo deste circuito é mostrado na Ilustração 13.

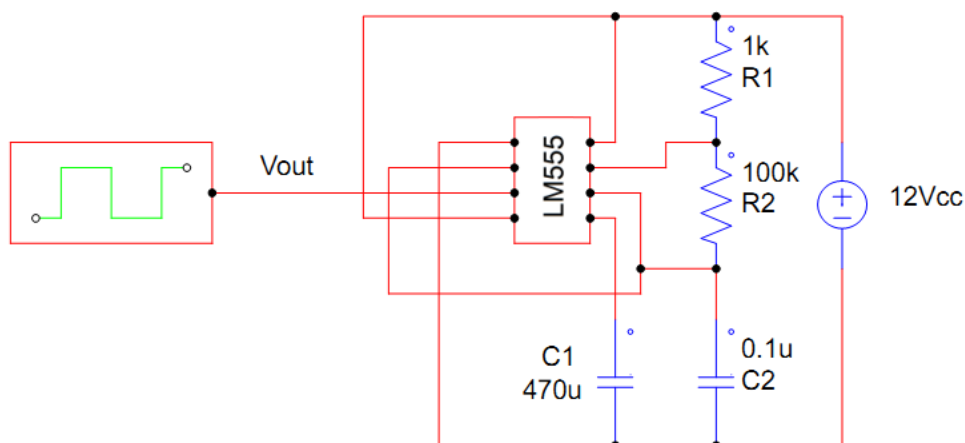


Ilustração 13 Circuito oscilador do modo astável.

Baseado na teoria que se aplica ao oscilador do modo astável, pode se afirmar que: se forem conectados os pinos 2 e 6 na Ilustração 14, este circuito irá funcionar com o próprio trigger e assim terá função de um multivibrador. O capacitor C2 é carregado através dos resistores R1+R2 e descarregado apenas pelo Resistor R2. Assim, a razão cíclica (Duty-Cycle) pode ser precisamente ajustada a partir dos valores destes dois resistores.

Neste modo de operação, o capacitor carrega em $1/3 V_{cc}$ e descarrega em $2/3 V_{cc}$. O comportamento do CI 555 pode ser observado através da Tabela 8:

Tabela 8 Comportamento do oscilador

Pino de entrada	Ocorrência	Nível saída
Pino 2 (trigger)	Tensão cai abaixo da tensão na entrada positiva do comparador inferior	Alto (1)
Pino 6 (threshold)	Vai a um valor além da tensão no pino 5 (tensão de controle),	Baixo (0)
Pino 4 (Reset)	A entrada reset é ativa	Baixo (0)

Algumas características devem ser atentadas quando em operação do modo astável tais como quando o pino 5 (tensão de controle) não é utilizado, este deve ser conectado ao terra através de um capacitor de no mínimo 0,01 μF , para imunidade de ruído. O comparador inferior possui um tempo de armazenamento da ordem de 10 μs , e isto significa que a largura mínima de pulso será desta ordem (10 μs).

Com base na teoria apresentada foi possível obter os valores de R1, R2 e C. Primeiramente foi definido o tempo de chaveamento do circuito, o qual foi proposto em torno de 30s. Este tempo foi estipulado de forma a possibilitar valores comerciais de resistores e capacitores, assim facilitando a busca por estes componentes eletrônicos.

Dessa forma, este oscilador teve tempo estipulado em 32s ligado e 32s desligado, sendo o período de aproximadamente 64s. Assim sendo, os cálculos são apresentados a partir da equação 1.

$$t1 = 0,693 * (R1 + R2) * C \quad (1)$$

Os parâmetros R1 e C foram fixados em valores comerciais, tais valores foram pré determinados em 1k Ω e 470 μF , respectivamente.

O valor de t1 é o tempo em que o circuito permanecerá ligado, neste caso 32s. Assim sendo:

$$R2 = \frac{32}{0.693 * 470 * 10^{-6}} - 1000$$

$$R2 + R1 = \frac{32}{0.693 * 470 * 10^{-6}}$$

Como R1 foi determinado igual a 1k Ω , logo R2 pode ser determinado;

$$R2 = 97,24k\Omega$$

Foi encontrado o valor de $R_2=97,24k\Omega$, porém na prática o resistor utilizado foi um de $100k\Omega$, é um valor comercial para resistores. Essa alteração em valores não causou nenhuma alteração considerável no sistema, pois os resultados obtidos estão dentro do padrão desejado.

A partir do valor encontrado para R_2 foi possível determinar o tempo em que o oscilador permanecerá desligado, t_2 . Através da seguinte equação:

$$t_2 = 0,693 * R_2 * C \quad (2)$$

$$t_2 = 0,693 * 97.24 * 10^3 * 470 * 10^{-6}$$

$$t_2 = 31,67s$$

3.4 Descrição da bancada e equipamentos auxiliares

Para melhor entendimento esta bancada foi montada em dois estágios. Sendo o primeiro, referenciado na Ilustração 13, o responsável pelo chaveamento das lâmpadas, ativado através de um MOSFET e um relé. O segundo estágio é um circuito oscilador monoestável, Ilustração 14. Este último será mais bem detalhado nos tópicos a seguir.

3.4.1 Bancada de medições

Foi montada uma bancada, composta por um sistema simples que disponibiliza um circuito monofásico a dois fios em baixa tensão, para alimentação de LFCs e incandescentes. O acesso aos terminais de alimentação foi viabilizado pela utilização de bornes com rosca tipo Joto 58VM, através dos quais podem ser inseridos cabos do tipo pino-banana de medição do potencial e de corrente do equipamento utilizado, como mostra a Ilustração 14. A bancada permite uma combinação de até 3 lâmpadas por vez, que podem ser ligadas através de uma régua de tomadas. A alimentação elétrica da bancada é feita diretamente pela rede local (AES-SUL).

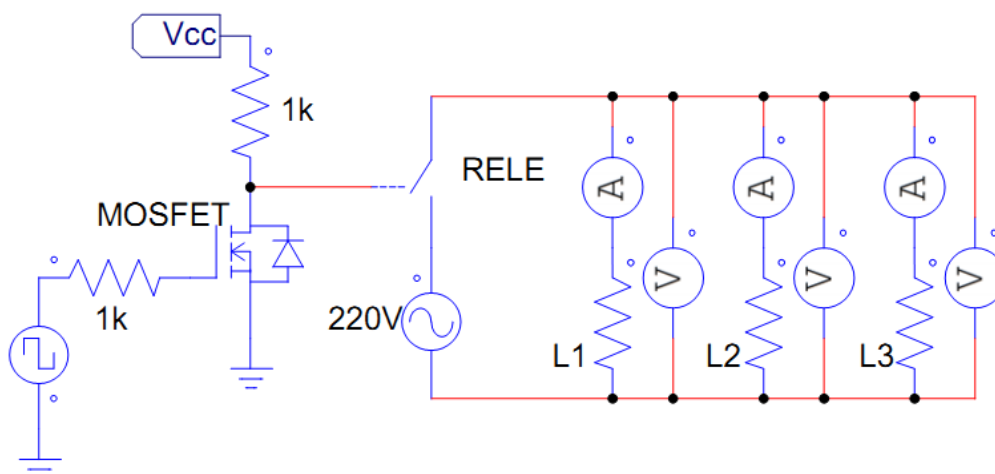


Ilustração 14 Bancada de medições

Na Ilustração 14 as lâmpadas são representadas por símbolos de resistores, tais como L1, L2 e L3. Apresenta-se também um amperímetro (A) em série e um voltímetro (V) em paralelo com cada lâmpada. O equipamento responsável pelo chaveamento das lâmpadas é o relé, ali representado por uma chave do tipo ON/OFF e o MOSFET

O sinal de entrada simulado por uma fonte de onda quadrada, na figura em questão representa o sinal enviado pelo segundo estágio do circuito, oscilador monoestável. Ilustração 14.

3.4.2 Equipamentos utilizados na bancada

3.4.2.1 MOSFET IRF470

O MOSFET é um transistor de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico. É o mais comum transistor de efeito de campo. Para chaveamento do relé foi utilizado o MOSFET IRF470 que tem como principal característica sua forma de construção que é composta por um canal do tipo N.

3.4.2.2 Relé HJR-3FF-12VDC-S-Z

Este relé é acionado pelo do MOSFET como pode ser visto na Ilustração 13.

3.5 Instrumentos de medições

Para execução das medições elétricas, alguns equipamentos foram utilizados, possibilitando assim uma maior certeza nos dados obtidos e conseqüentemente um melhor aproveitamento das informações apuradas de forma a concluir o trabalho com sucesso.

Para as medições de potência ativa e reativa, tensão, corrente elétrica, fator de potência, entre outras grandezas elétricas foi utilizado um único equipamento do laboratório de Eletrotécnica da UNIPAMPA. O equipamento utilizado é um Wattímetro da marca Yokogawa, Modelo WT1600, Ilustração 15. Para coleta dos dados este wattímetro foi conectado via Ethernet a um computador. Dessa forma, foi possível o armazenamento de seus dados no disco rígido do computador.

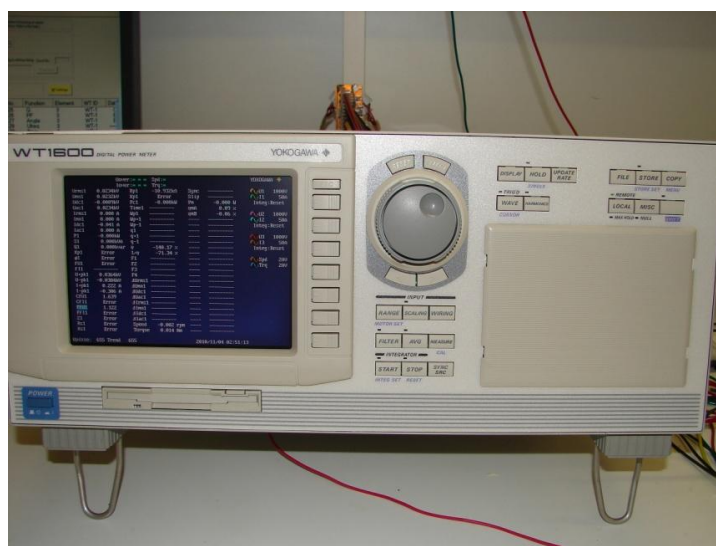


Ilustração 15 Wattímetro Yokogawa - WT1600

Para armazenar estes dados no computador foi utilizado o software supervisor *WTVIEWER Trial Version* do mesmo fabricante do wattímetro.

3.6 Teste de suportabilidade de chaveamento

Após a construção da bancada de testes, incluindo os circuitos de chaveamento e seus equipamentos auxiliares, foi possível instalar os equipamentos de medição na bancada para usar no teste de suportabilidade de chaveamento.

O primeiro conjunto de lâmpadas fluorescentes compactas foi submetido aos testes, as LFC1, LFC3 e LFC5, de acordo com a Tabela 6. Logo após os mesmos ensaios foram realizados utilizando LFC2, LFC4 e LFC6.

O período de chaveamento foi determinado anteriormente através da Equação 1.

3.7 Verificação da corrente de partida das LFCs

Com base no mesmo princípio de chaveamento foram coletadas algumas amostras da corrente de partida de cada LFC, ensaiadas. Esta amostragem foi possível através da utilização de um osciloscópio da marca Yokogawa, modelo DLM2054, pois este equipamento tem uma elevada taxa de amostragem 2,5G/s, que facilita a extração destas informações. Para esta amostragem o osciloscópio foi configurado com a função Trend a qual tem como objetivo detectar um pulso de corrente e assim gravar as informações naquele instante de tempo. Dessa forma foi possível a verificação da corrente de partida das LFCs.

3.8 Medição do fator de potência

Cada um dos modelos de LFCs teve seu fator de potência inspecionado ao longo de sua vida útil. Para esse ensaio foi utilizado o mesmo wattímetro Yokogawa - WT1600 o qual possui esta função. Os dados apurados serão abordados com maior detalhamento no próximo capítulo.

3.9 Níveis de DHT

Idealmente, a forma de onda de tensão fornecida pela concessionária aos seus consumidores é uma senóide pura, cuja frequência, dita frequência fundamental, vale 60 Hz. Os harmônicos são componentes senoidais de frequências múltiplas da frequência fundamental. Os inter-harmônicos são componentes senoidais, cujas frequências não são múltiplas da fundamental. Tanto os harmônicos como os inter-harmônicos são causados por elementos não lineares do sistema elétrico. Por elementos não lineares, entendem-se as cargas em que a relação entre os valores de tensão e de corrente não é linear, ou seja, não obedecem à lei de Ohm.

Retificadores de tensão, conversores, inversores e equipamentos utilizados em plantas industriais são exemplos de equipamentos que drenam da rede elétrica correntes não lineares com elevado conteúdo harmônico. Porém estas harmônicas podem ser decorrentes de cargas residenciais, devido a todos equipamentos eletrônicos conectados a rede, principalmente as LFCs. Apesar de individualmente possuírem potências nominais baixas, o número de cargas residenciais é muito alto, e seus efeitos somados podem ser relevantes.

Segundo (Igor S. M. Torres), os níveis de distorção harmônicas de uma LI é praticamente zero pois é uma carga resistiva. Entretanto os níveis de DHT de uma LFC é em torno de 92%.

Isso representa um valor bastante elevado se considerarmos os padrões estabelecidos em norma. Em alguns casos o nível DHT destas lâmpadas podem chegar até a 120%.

Na Ilustração a seguir pode ser visto a forma de onda de corrente de uma LFC. Esta imagem foi obtida durante os ensaios de suportabilidade de chaveamento deste trabalho.

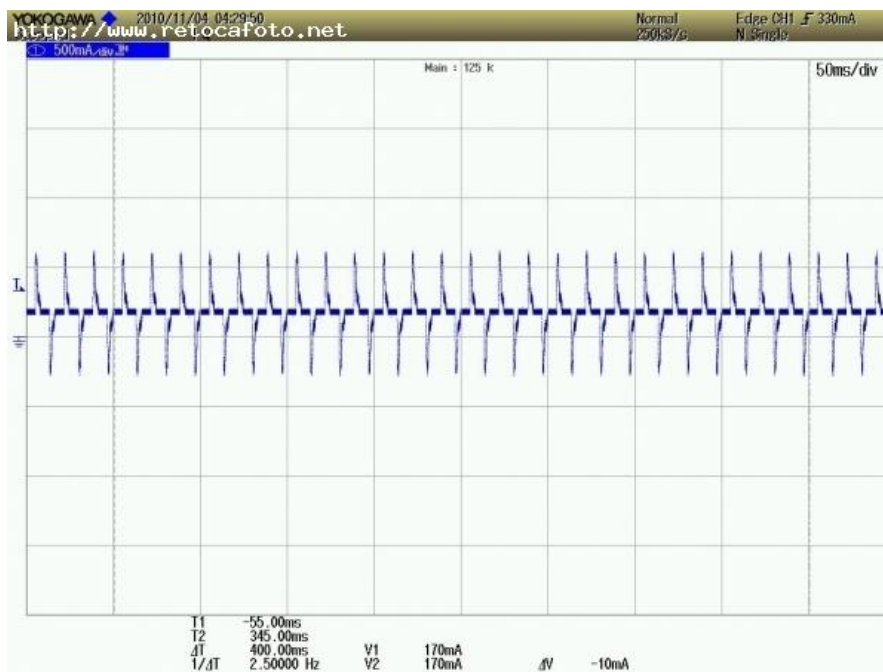


Ilustração 16 forma de onda da corrente em uma LFC

Verificou-se que esse tipo de lâmpada causa significativa distorção harmônica de corrente, uma vez que sua forma de onda apresenta um grande teor harmônico em relação à onda de tensão fornecida.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Teste de suportabilidade de chaveamento das LFCs

Este ensaio contemplou alguns itens já descritos no capítulo anterior, seguindo os critérios que estabelecidos antes de teste, tais como, três diferentes fabricantes, temporização de 32s LIGADO mais 32s DESLIGADO. Dessa forma, estes resultados permitiram uma análise de alguns parâmetros que possibilitaram um estudo mais profundo quanto à suportabilidade de chaveamento de cada lâmpada, permitindo assim um diagnóstico mais criterioso de cada grandeza elétrica medida e consequências ao sistema elétrico de potência.

Para melhor entendimento e facilidade na análise dos resultados, cada modelo de LFC (e para cada fabricante) foi representado por uma suportabilidade média entre as amostras de duas lâmpadas. Isso foi feito no intuito de não incluir nas análises um eventual defeito de fabricação de uma lâmpada ou algum caso excepcionalmente irreal. Os resultados destas médias entre duas LFCs de cada fabricante para o ciclo de chaveamento adotado estão indicados na Tabela 9, a seguir. Visando estabelecer uma base de comparação entre os fabricantes, a última linha destas tabelas apresenta uma média das suportabilidade a chaveamentos por modelo de cada fabricante e a última coluna, a média das suportabilidade de chaveamentos do ciclo correspondente.

Tabela 9 Média das suportabilidades chaveamentos LFC

Fabricante	Potência - 20 W		
	Teste 1	Teste 2	Média de suportabilidade
Marca A (tradicional)	8640	10284	9462
Marca B (nova)	7158	7451	7305
Marca C (Tradicional)	6984	8165	7575
Média suportabilidade dos testes			8114

Com base nos resultados obtidos pode-se perceber claramente que diferentes marcas de LFCs se comportam de maneiras distintas quanto à suportabilidade de chaveamento. Como era de se esperar os fabricantes de LFCs tradicionais tem um melhor desempenho quando comparado com um fabricante novo no mercado. Para melhor ilustrar essas médias foi possível plotar o gráfico que representa cada fabricante em separado.

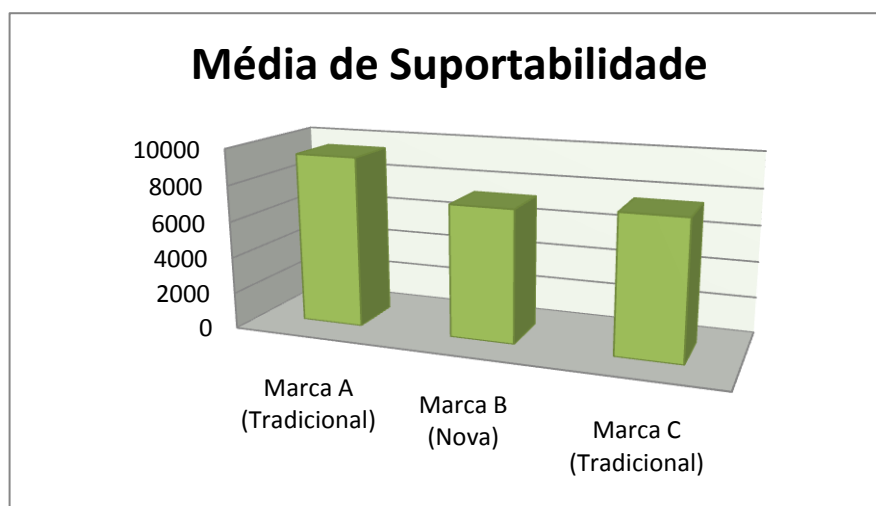


Ilustração 17 Gráfico médias das suportabilidades

4.2 Teste de suportabilidade de chaveamento de lâmpadas incandescentes

Este ensaio se procedeu segundo os mesmos critérios de avaliação do item anterior. Com exceção da substituição das LFC por lâmpadas incandescentes comuns de 60 W cada, como indicado na Tabela 7. As premissas estipuladas também foram as mesmas, entretanto os resultados obtidos são bastante distintos. Para este teste a bancada utilizada foi a mesma para ambos os ensaios, mostrada na Ilustração a seguir.

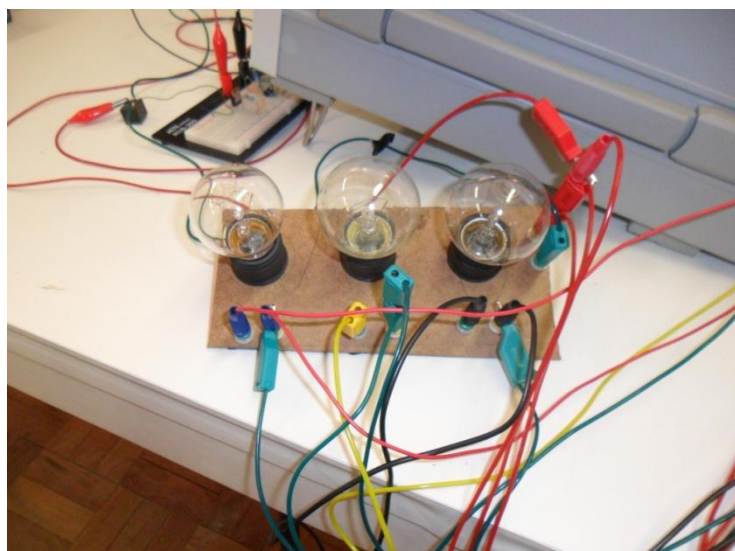


Ilustração 18 Bancada de teste

Para uma comparação mais detalhada dos resultados obtidos foi construída a Tabela 10 a seguir, que demonstra as mesmas grandezas da Tabela 9. Dessa forma, possibilita uma melhor comparação dos parâmetros coletados.

Tabela 10 Média da suportabilidade dos chaveamentos LIs?

Fabricante	Potência - 60 W		
	Teste 1	Teste 2	Média de suportabilidade
Marca A (tradicional)	> 132480	Não realizado	>132480
Marca B(Tradicional)	> 132480	Não realizado	>132480
Marca C (nova)	> 132480	Não realizado	>132480
Média da suportabilidade dos testes			>132480

Como mostrado na Tabela 10, o número de chaveamentos não é exato. Isto é devido ao fato do software utilizado para aferição das grandezas era o *WTViewer Trial Version*, sendo a versão Trial apenas uma licença que permite a utilização por apenas 30 dias. Após este período o software expirou, parou de gravar os dados e conseqüentemente houve uma perda dos mesmos. Porém os dados representam uma suportabilidade de chaveamento superior a 46 dias ininterruptos, isso representa mais de 1100 horas.

A Tabela 10 mostra que os dados obtidos no teste 1 foram satisfatórios pois como era de se esperar as lâmpadas incandescentes não "queimam" com esta frequência de chaveamento estipulada. Como o tempo que as LIs permanecem desligadas é curto, estas não chegam a resfriar. Assim não há um resfriamento, quando desligada nem um aquecimento significativo, quando ligado, a ponto de danificar o filamento. Com base na análise do teste 1 pode se perceber que o chaveamento não tem grande influência na vida útil da LI. O teste 2 não foi realizado devido ao curto prazo de tempo para conclusão do trabalho e também em função de que uma conclusão já pode ser percebida com o primeiro teste. As lâmpadas incandescentes não queimam devido ao ciclo de chaveamento adotado e sim respeitando sua vida útil média, pois todas as lâmpadas testadas queimaram após sua vida útil informada pelo fabricante.

4.3 Comparativo econômico entre uma LI e uma LFC.

O objetivo deste tópico é analisar, economicamente, a viabilidade da substituição de uma LI por uma LFC. Tendo em vista o alto custo inicial de uma LFC frente à LI, muito se questiona quanto à aquisição de uma LFC simplesmente devido ao fato de ela causar uma economia de kWh. Nessa análise foram consideradas "equivalentes" a LI e a LFC que proporcionam o mesmo fluxo luminoso para o usuário residencial. Assim, de acordo com as especificações

técnicas das lâmpadas a equivalência luminosa entre uma LI e uma LFC é tal que: 1 lâmpada incandescente (LI) de 100 W equivale a 1 lâmpada fluorescente compacta de 20 W.

Para obtenção desta viabilidade econômica foi estipulado o custo total de cada lâmpada, sendo obtido através da expressão 3.

$$Ct = Cf + Cv = Cf + P * Nh * Ce * Nd \quad (3)$$

Onde:

Ct = Custo total da Lâmpada [R\$]

Cf = Custo Fixo da lâmpada [R\$]

Cv = Custo Variável da lâmpada

P = Potência da lâmpada [kW]

Nh = Número de horas que a lâmpada permanece ligada durante o dia [Dias]

Ce = Custo da energia [R\$/kW.h]

Nd = Número de dias para LFC se pagar [Dias]

Assim o custo total da LFC1 e LFC2 foi calculado da seguinte forma:

$$Clfc = Clfc + Clfc_v = Clfc + P * Nh * Ce * Nd \quad (4)$$

$$Clfc = Clfc + Clfc_v = 10,82 + 0,02 * 12 * 0,45 * 120$$

$$Clfc = R\$ 64,82$$

OBS.: O valor de Nd foi simulado como 120 dias. Sendo este valor referente à vida útil de 6 LIs informada pelos fabricantes, em torno de 1000h. Para realização destes cálculos foram utilizadas 6000h de vida útil, correspondente a vida útil das LFCs que é em torno de 6000h, sendo assim para analisar este período é necessário uma estimativa de 6 LIs para cada LFC.

Para as LFC2,3,4,5 e 6 basta repetir os cálculos substituindo o custo fixo das outras LFCs.

O mesmo procedimento foi utilizado para calcular o custo total das lâmpadas incandescentes. A seguir está representado o custo das LI1, 2, 3,4.

$$C_{li} = C_{li} + C_{li_v} = C_{li} + P * N_h * C_e * N_d \quad (5)$$

$$C_{li} = C_{li} + C_{li_v} = 2,00 + 0,1 * 12 * 0,45 * 120$$

$$C_{li} = R\$ 47,00$$

Porém este valor encontrado é para apenas uma LI, sendo assim como neste ensaio foram o valor base foi referenciado em 6000h é necessário substituir as LIs a cada 1000h sendo assim são necessárias 6 lâmpadas, dessa forma, este valor de cada R\$ 47,00 deve ser multiplicado pelo número de lâmpadas resultando em um custo total de R\$ 282,00.

$$C_{li} = R\$ 282,00$$

4.4 Dias necessários para que uma LFC se pague

Outro aspecto importante é análise dos dias necessários para que a LFC se pague. Para determinação desse valor foi necessário igualar os custos da LI com os custos da LFC. Dessa forma, deve-se igualar as equações 3 e 4. Da seguinte forma:

$$C_{li} + P * N_h * C_e * N_d = C_{lfc} + P * N_h * C_e * N_d \quad (6)$$

Em seguida basta isolar o "Nd" da equação 6 para obter-se o número de dias necessários para a LFC se pagar.

$$N_d = \frac{C_{lfc} - C_{li}}{(N_h * C_e) * (P_{li} - P_{lfc})} \quad (7)$$

$$N_d = \frac{64,82 - 282}{(12 * 0,45) * (0,1 - 0,02)}$$

$$N_d = 20 \text{ dias}$$

Nestas condições, a Ilustração 19 expressa, genericamente, os comportamentos dos custos (fixo + variável) que um consumidor terá, devido ao uso de uma LI ou uma LFC ao longo do tempo.

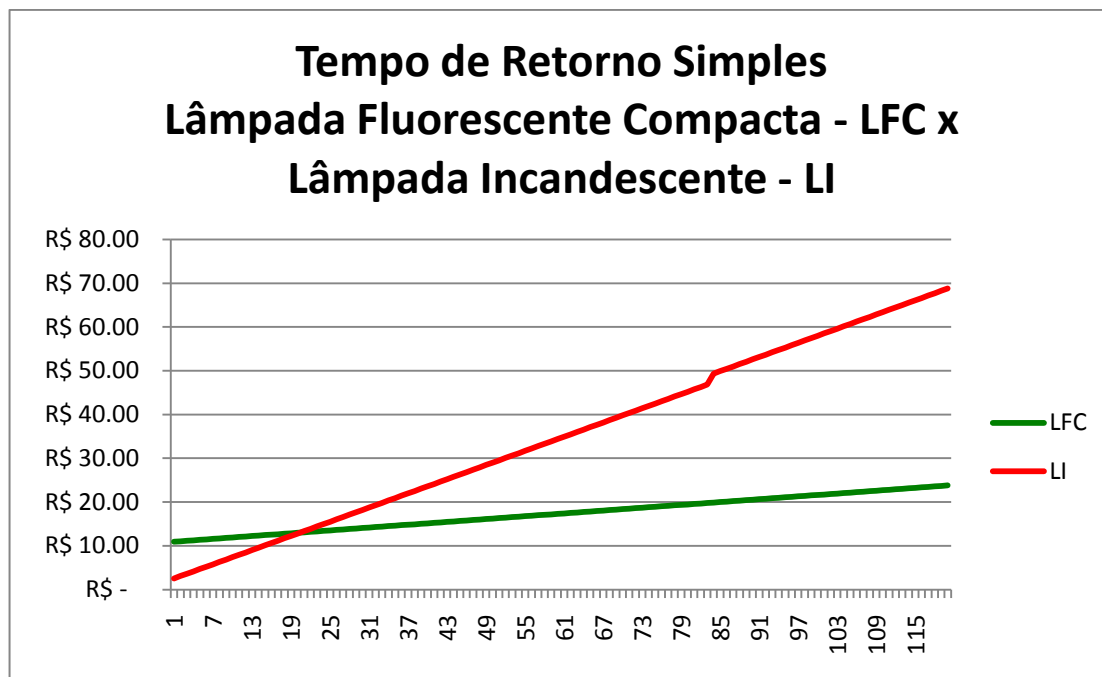


Ilustração 19 Número de dias que FLC se paga, considerando LI de 100 W

A Ilustração 19 indica que, apesar de uma LFC possuir um custo inicial alto (que aqui será denominado de custo fixo), após 20 dias de uso integral, ou seja, apenas 8% de sua vida útil, a LFC se paga e a partir daí poderá causar uma economia na conta de energia elétrica do consumidor.

Considerando que o custo total de uma LI de 100 W é igual a R\$ 282,00 e o custo total de uma LFC de 20 W é de R\$ 64,82, nota-se que existe uma variação no custo de 23%. Dessa forma, pode-se dizer que uma LFC é economicamente viável do ponto de vista do consumidor residencial, sendo esta economia de quase a metade do custo.

Entretanto, nos testes realizados foram utilizadas lâmpadas incandescentes com potência igual a 60 W, sendo assim pode haver uma diferença quanto ao número de dias necessários para uma LFC se pagar. Partindo desse princípio, foi possível plotar o gráfico a seguir.

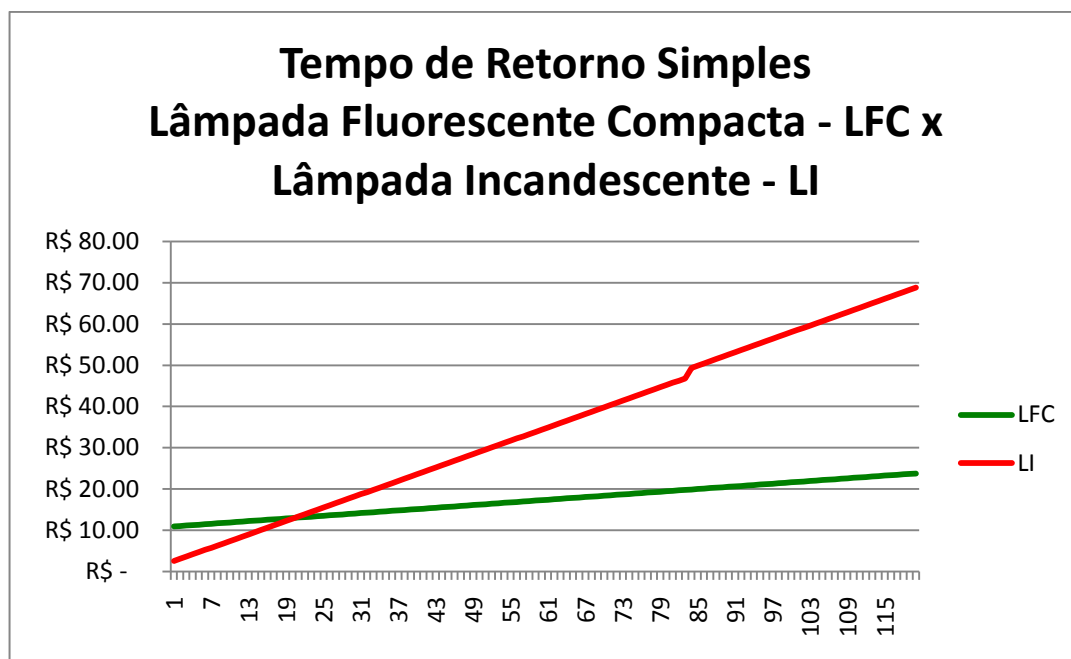


Ilustração 20 Número de dias que FLC se paga, considerando LI de 60 W

Com base nos dados obtidos, a figura acima mostra claramente um aumento no número de dias necessários para que a LFC se pague. Se comparado uma LFC de 20 W com uma LI de 60 W o número necessário de dias para que a LFC se pague é em torno de 31 dias.

A partir disso pode ser calculado uma relação de custo e benefício através da seguinte equação. Dados obtidos em (Programa Eficiência Energética, ANEEL, 2008).

$$RCB = \frac{\text{Investimento anualizado}}{EC * CMG = RP * CMTD} \quad (8)$$

Onde:

EC = energia economizada [MWh/ano];

CMG = custo marginal de expansão da geração [R\$/MWh];

RP = redução da demanda na ponta [kW];

CMTD = custo marginal de expansão da transmissão e distribuição [R\$/kW].

$$RCB = \frac{\text{Investimento anualizado}}{EC * CM + RP * CMTD}$$

$$RCB = \frac{7}{0,48 * 175,40 + 0,08 * 714,27}$$

$$RCB = 0,05$$

Sendo assim, é possível verificar que a cada R\$ 0,05 o setor elétrico Brasileiro economiza R\$1,00.

4.5 Substituição das Lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.

Como visto nos primeiros capítulos, a iluminação é responsável pelo elevado consumo de energia elétrica no setor residencial. Um dos principais fatores é o significativo número de LIs; as concessionárias de energia elétrica incentivam o consumidor a aumentar a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas no setor doméstico. Somente assim se poderá alcançar uma iluminação mais eficiente e conseqüentemente a diminuição das emissões de CO₂ associadas a esta categoria de consumo.

Considerando um panorama geral das fontes de iluminação no Brasil, pode se ter uma ideia o quanto reduziria a potência necessária para iluminar as residências se forem substituídas todas LIs comuns por LFCs. Baseado nos dados do Sistema de Informação de Posse e Hábitos de uso de Aparelhos Elétricos (SHINPHA, 2005), pode se observar a quantidade de lâmpadas em porcentagem na tabela a seguir.

Tabela 11 Distribuição por tipos de lâmpadas no mercado brasileiro

Tipo	Percentual
Incandescente 25 W	1,28
Incandescente 40 W	4,88
Incandescente 60 W	37,07
Incandescente 100 W	5,95
Incandescente 150 W	0,26
Fluorescente Tubular 20 W	6,35
Fluorescente Tubular 40 W	9,31
Fluorescente Compacta ate 15 W	14,53
Fluorescente Compacta > 15 W	17,41
Fluorescente Circular	1,69
Dicroica	0,77
Outros	0,52

Considerando que a soma de todas as porcentagens de lâmpadas incandescentes utilizadas no Brasil é igual a 49,44%, conforme a tabela acima, isto representa um enorme desperdício de energia devido às perdas por dissipação térmica. Se considerarmos um panorama hipotético, no qual todas as LIs do Brasil fossem substituídas por LFCs, isto representaria uma economia de cerca de 24 % de toda energia consumida para iluminação.

4.6 Fator de potência das LFCs - Falsa economia

Após a crise energética em 2001, a maioria dos Brasileiros se conscientizou que a energia elétrica poderia faltar. Em consequência disso, o país teria uma diminuição no crescimento e assim poderia se estabelecer uma crise econômica no Brasil. Porém, o Governo Federal tomou

algumas providências, uma delas foi a popularização das LFCs. Sendo assim, todas as indústrias tiveram recordes na produção e comercialização de LFCs, representado na ilustração a seguir.

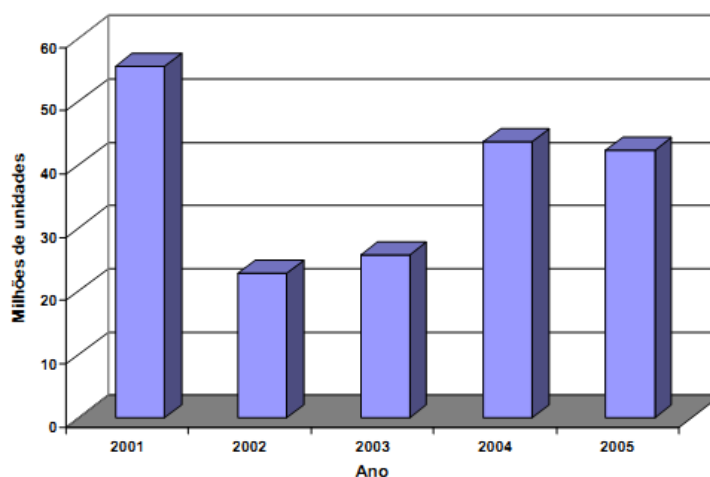


Ilustração 21 Evolução das vendas de LFCs no Brasil

Entretanto, todo esse incremento nas vendas, não fez com que as autoridades se preocupassem com a eficiência energética destas LFCs produzidas no Brasil. Tendo em vista, o baixo fator de potência apresentada pelas LFCs aqui produzidas, certas providências deveriam ser tomadas com a intenção de melhorar a eficiência energética das LFCs ou então mais tarde o país irá pagar o preço pela ineficiência destas lâmpadas.

Como proposto no tópico anterior, numa situação hipotética a substituição de todas LIs por LFCs no Brasil geraria uma economia de cerca de 24% da energia utilizada para iluminação. Porém se considerarmos a potência reativa consumida pelas LFCs, esta economia pode ser relativa do ponto de vista do sistema elétrico de potência.

Considerado um fator de potência médio de 0,4 ou 0,5, na prática, isto significa que se um usuário doméstico trocar uma lâmpada incandescente de 60 W (equipamento resistivo, F.P.= 1), por uma lâmpada fluorescente de 20W (iluminação igual ou um pouco superior) com F.P. igual a 0,4, será beneficiado pela economia em sua fatura mensal, porém estará mantendo o consumo quase igual ao de uma lâmpada incandescente, algo em torno de 50 Volt-Ampère do sistema energético. Se o fator de potência do reator for 0,5, haverá uma pequena economia em relação ao consumo energético das duas lâmpadas.

É importante observar que as concessionárias de energia somente levam em conta o fator de potência do circuito em instalações industriais (os medidores são especialmente projetados para isso). Nas residências o fator de potência passa "despercebido" para o consumidor, e para a medição da companhia elétrica (feita em kW.h) - isso significa que o valor da conta no final

do mês realmente diminuí utilizando estas fluorescentes compactas, mas nem por isso se está contribuindo com a economia energética do país.

Após a realização dos ensaios foi possível plotar o comportamento médio do fator de potência durante o intervalo dos testes. Os gráficos foram divididos de acordo com cada fabricante sendo estas as amostras das LFC4,5,6. Sendo que estas amostras apresentam apenas 5 horas e 41 minutos, referente ao teste 2.

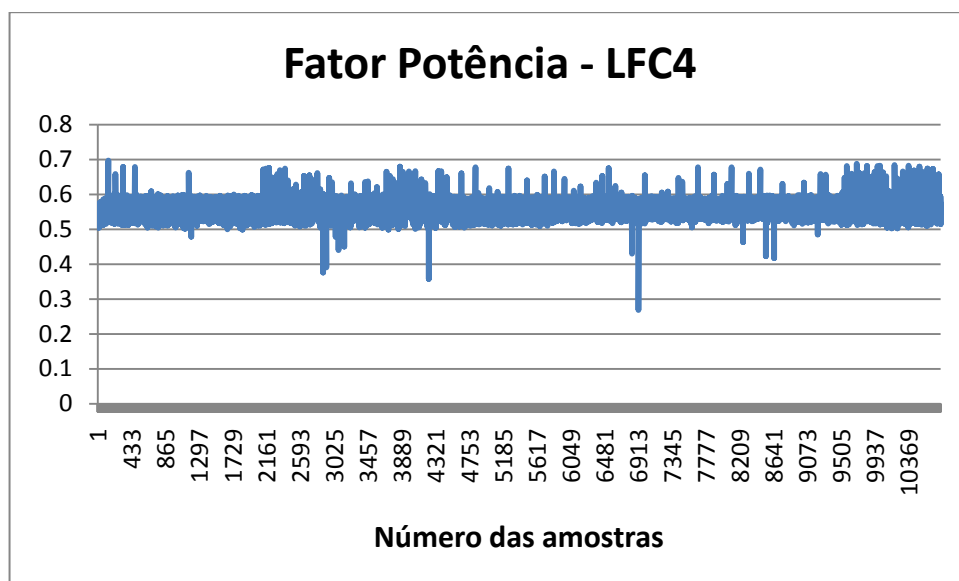


Ilustração 22 Fator de potência LFC4, teste 2

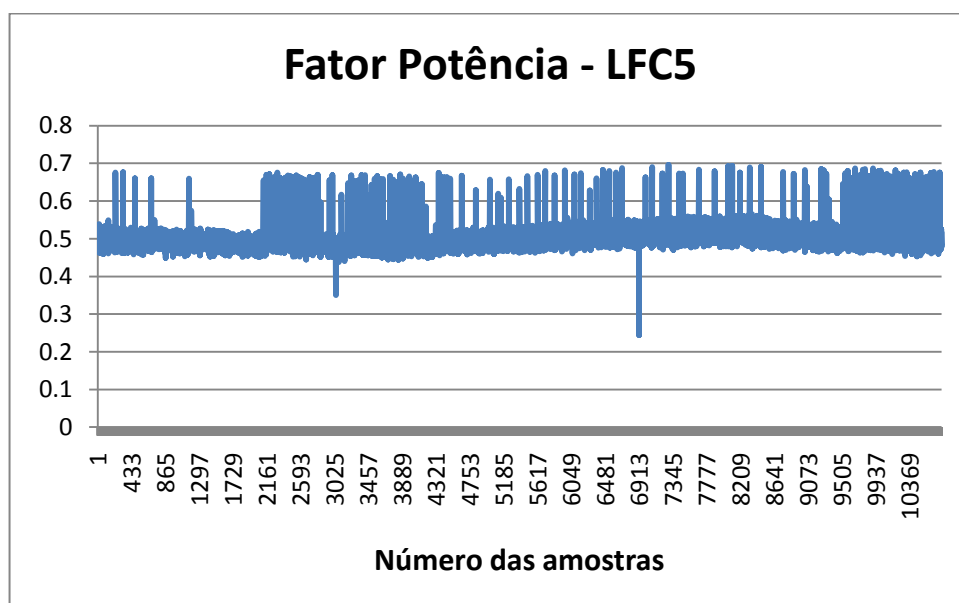


Ilustração 23 Fator de potência LFC5, teste2

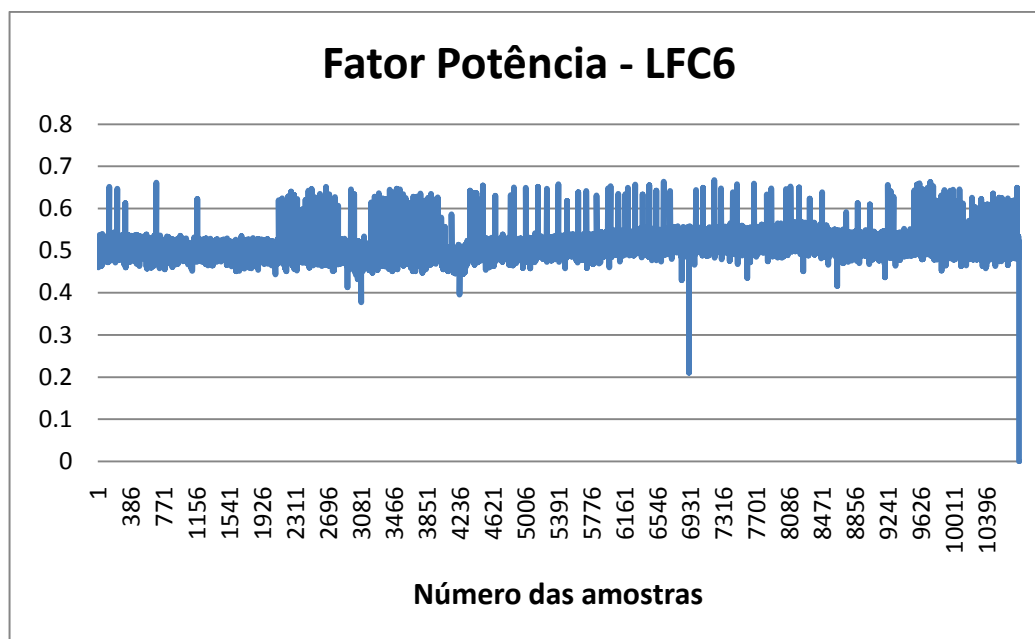


Ilustração 24 Fator de potência LFC6, teste 2

Estes ensaios mostram o baixo nível do fator de potência presente nas LFCs fabricadas no Brasil. Este nível fica em torno de 0,5 a 0,6, sendo que média de cada lâmpada pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 12 Média do fator de potência, teste 2

LFC4	LFC5	LFC6	Média do teste 2
0.5584	0.5011	0.5101	0.5232

Estas médias mostram que as lâmpadas de fabricante tradicional tem um fator de potência maior que a do fabricante novo no mercado, o que era de se esperar.

4.7 Diminuição da vida útil da LFC

Como visto anteriormente, as LFCs tem um reator incorporado na própria lâmpada. Este reator é composto por componentes eletrônicos, os quais sofrem um desgaste natural devido a sua vida útil. Porém existe um fato agravante que diminui ainda mais a expectativa de vida destas lâmpadas. A alta corrente de partida das LFCs; no momento em que a lâmpada é acendida, internamente no reator ocorre uma descarga de corrente que é várias vezes maior que a corrente nominal da mesma. Sendo assim, os tópicos a seguir têm como objetivo mostrar o quanto prejudicial para a lâmpada e os distúrbios causados pelas mesmas.

4.7.1 Corrente de partida nas LFCs

A partir do que foi explicado anteriormente, este tópico tem como objetivo investigar a corrente de partida de uma LFC. Sendo assim, alguns testes foram realizados com o propósito

de explicação deste fenômeno que ocorre nestas lâmpadas. Este fato ocorre devido ao reator eletrônico incorporado na lâmpada, que pode ser observado na Ilustração 22.



Fonte: <http://www.osetoreletrico.com.br>
Ilustração 25 Circuito LFC

A partir dos ensaios realizados fica evidenciada a magnitude deste pico de corrente e tensão nas LFCs. As ilustrações a seguir mostram os resultados dos testes.

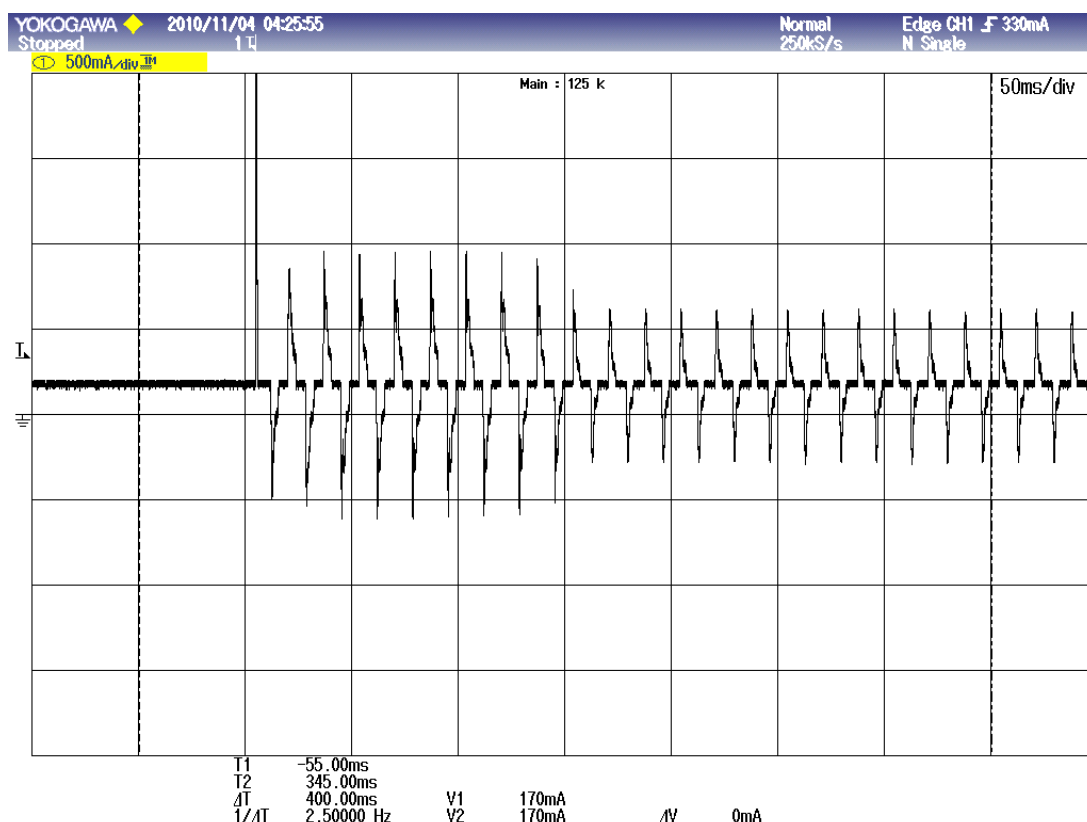


Ilustração 26 Corrente de partida da LFC

A partir desta imagem fica evidenciado que a corrente de partida de uma LFC é em torno de 900 mA de pico, com uma escala de 500mA/divisão. Sendo que a corrente nominal desta lâmpada é cerca de 90mA RMS. Isto representa uma corrente dez vezes maior que a nominal.

Outro aspecto bastante interessante é o tempo de duração da partida, que fica em torno de nove ciclos de rede.

Para melhor especificação foi calculado a perda de vida útil que cada acendimento. Estas perdas foram obtidas através da expressão apresentada a seguir, segundo (PENNA, C; RESENDE, J. W.; SAMESIMA, M. I, 2003).

$$H_{\text{perdidas}} = \frac{6000 - \text{Vida útil}}{\text{Nro acend.} - 2000} \quad (9)$$

Sendo:

H_{perdidas} = Horas perdidas por acendimento;

Vida útil = apura nos testes;

Nro acend. = Número de acendimentos apurada nos testes.

E os valores de 6000 e 2000 é referente a vida útil informada pelos fabricantes.

Com estas informações calculou-se a equivalência entre a perda de vida útil por acendimento e o tempo que se poderia deixar a lâmpada ligada em regime com o mesmo valor, Tabela 12.

Tabela 13 Vida útil referente ao intervalo de acendimento

Intervalo entre acendimentos	Percentual da vida útil	Vida útil (h)	Nro de acendimentos	X(h)
5 min.	20 %	1200	14400	0,387
45 min.	50 %	3000	4000	1,5
1 hora	70 %	4200	4200	0,8181
3 horas	100 %	6000	2000	1,756
8 horas	130 %	7800	975	1,8461

X = Perda de vida útil por acendimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das pesquisas realizadas, pode-se notar a que a legislação brasileira através das normas atuais é branda demais para o assunto iluminação, pois hoje em dia, segundo a (ANE-EL) o principal responsável pelos distúrbios causados na rede de distribuição é a iluminação, considerando o horário de ponta, das 18 às 21 horas diariamente.

Apesar de a legislação brasileira prever que todo equipamento eletrônico deve ter um fator de potência maior ou igual a 0,92, isto passa despercebido quanto às lâmpadas fluorescentes compactas, que como mostrado anteriormente possuem um fator de potência em torno de 0,5.

Dessa forma, uma alternativa para solução deste problema é revisar ou criar uma nova lei, com urgência, a exemplo de países desenvolvidos, onde a legislação não permite tais níveis e os fabricantes já estão adequados com tecnologias mais eficientes que não deterioram a qualidade da energia.

Entretanto, hoje em dia para o consumidor doméstico este não é um problema, pois as concessionárias de energia elétrica cobram apenas a tarifa da energia ativa consumida. Porém se for considerado para o sistema elétrico as lâmpadas fluorescentes são um grande problema, pois como mostrado anteriormente para suprir a energia de uma lâmpada fluorescente de 20 W e $FP=0,4$ é necessário uma potência aparente de 50 VA. Com a escassez de energia em que o país se encontra toda economia é bem vinda.

Sendo assim, se considerarmos que a vida útil de uma LFC é bastante prejudicada com o acionamento da mesma são necessárias algumas providências para que esta não se torne um problema para o consumidor. Pois, como mostrado anteriormente uma LFC demora em torno de 41 dias para se pagar, sendo assim se o usuário ligar e desligar a lâmpada mais de 10 vezes por dia pode ser que o investimento desta LFC não seja atraente, pois em pouco tempo de uso a mesma irá queimar.

Como visto no capítulo anterior as LFCs tem como característica uma redução substancial em sua vida útil média devido ao chaveamento. Como mostrado as lâmpadas de fabricante tradicional tem uma melhor desempenho médio em relação ao fabricante novo no mercado. Com relação as lâmpadas incandescentes sua vida útil não é prejudicada devido ao chaveamento das mesmas, sendo isso constatado através da queima das LIs em um tempo igual ou superior ao informado pelo fabricante.

Através dos experimentos realizados foi possível notar uma enorme vantagem na utilização de LFCs, do ponto de vista do consumidor residencial. Porém esta vantagem não é tão significativa se considerado o sistema elétrico de potência, que necessita gerar mais potência ativa para compensar a reativa consumida pelas LFCs. Sendo assim, pode-se constatar que a partir do 41º dia uma LFC de 20 W se paga, isso comparando uma LI de 60 W. Porém se está comparação for com uma de 100 W os número de dias necessários para que uma LFC se pague é em torno de 20 dias, o que comprova a eficiência das mesmas.

Devido a falta de normatização adequada no referente ao fator de potência, os fabricantes produzem LFCs de baixa eficiência energética que geram desperdício de energia elétrica o que resulta em perdas ao sistema elétrico. Entretanto, se todas LIs existentes no Brasil fossem substituídas por LFCs, hoje haveria um aumento no consumo de potência reativa no sistema elétrico. O que poderia ser um problema se o sistema não estiver preparado para isto. Para correção deste problema os órgãos reguladores deveriam atualizar as normas existentes para que estes níveis de desperdício se tornem aceitáveis.

Como característica apresentada as LFCs tem uma corrente de partida em torno de dez vezes maior que a nominal, isso gera um desgaste precoce dos componentes eletrônicos em consequência uma diminuição da vida útil da lâmpada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEIDEL, A. R.; POLONSKII, M. “**Reatores eletrônicos para Iluminação Fluorescente**”, Ed. Unijuí, 2008.

Xavier, P.A. Dissertação de mestrado de engenharia elétrica "**Avaliação das características elétricas de reatores eletrônicos utilizados em lâmpadas fluorescentes tubulares**". Universidade de Brasília, Departamento de engenharia elétrica, 2005.

Roland, M. "**Les deux âges de la maîtrise de l'énergie**" Revue de L'Energie, n°379, 1985

OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. "**Qualidade da Energia Elétrica**": disciplina do mestrado acadêmico da UnB, 2002. Cap. 1. Notas de Aula. Impresso.

SKVARENINA, I; TIMOTHY, L. "**Power electronics**". II Series. 2001.

AMBONI, GUILHERME PEREIRA DE MELO. Dissertação de projeto final de Graduação "**Ferramenta computacional para quantificação e qualificação das distorções harmônicas**". 2003. – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

BOLLEN, Math H. J. "**Understanding power quality problems**" Wiley – IEEE. 1999. 672p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR14538 — "**Lâmpadas fluorescentes com reator integrado a base para iluminação geral**" — Requisitos de Segurança. 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR14539 — "**Lâmpadas fluorescentes com reator integrado a base para iluminação geral**" — Requisitos de desempenho. 2000.

Manual técnico - Inmetro. "**Lâmpada fluorescente compacta**" Modelo de documento digital disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/fluorescentes.asp>. Acesso em: 10 set. 2010.

Manual técnico - "**Iluminação: Conceitos e Projetos - OSRAM**" Modelo de documento digital disponível em br.osram.info/download/manual/manual_lumi01.pdf >. Acesso em: 20 mar. 2011.

Santos. S. A.; Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica "**Reator eletrônico multifrequência para lâmpada fluorescente T5 com pré-aquecimento por**

tensão", 2004. – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

Manual técnico - PROCEL "**Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**" Modelo de documento digital disponível em < www.eletronbras.gov.br/procel >. Acesso em: Abr.2011.

Godoy, P.; "**A nova abordagem da luz: a tecnologia como ponte para o futuro**" Eletricidade Moderna, Agosto de 1999.

Kaufman, J. E. "**IES Lighting Handbook**", Illuminating Engineering Society, Fourth Edition, 1966.

Informações técnicas - "**Venture Lighting**". Modelo de documento digital disponível em <www.venturelighting.com>. Acesso em: 5 Abr. 2011.

Corrêa. L. Rafael, "**A evolução da luz**" Modelo de documento digital disponível em < http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_264235.shtml >. Acesso em: 17 Abr. 2011.

Informações técnicas - "**ANEEL**" Documentos digitais disponíveis em <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 8 Abr. 2011.

PENNA, C; RESENDE, J. W.; SAMESIMA, M. I. "**Avaliação das características elétricas, de iluminação e de suportabilidade a chaveamentos de lâmpadas fluorescentes compactas**" Artigo apresentado no II CITENEL, 2003.

RESENDE, J. W.; SAMESIMA, M. I. "**Substituição de lâmpada incandescente por fluorescente compacta**" Eletricidade Moderna, n.381, p.90-108, Dez. 2005.

Informações técnicas - "**Comunicado 77 - IPEA de fevereiro de 2011**" Modelo de documento digital disponível em < <http://www.ipea.gov.br> >. Acesso em: 8 Mai. 2011.

Manual técnico - ANEEL "**Programa de Eficiência Energética, 2008**" Modelo de documento digital disponível em < www.aneel.gov.br >. Acesso em: Jul.2011.