

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**WILLIAN ANDREY DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE EM CONSUMIDORES  
RESIDENCIAIS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE ENERGIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2014**

WILLIAN ANDREY DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO USO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE EM  
CONSUMIDORES RESIDENCIAIS E SUA INFLUÊNCIA NA  
QUALIDADE DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Beatriz Fontana de Vargas

PATO BRANCO

2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de diplomação intitulado **AVALIAÇÃO DO USO DE ILUMINAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE ENERGIA** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **52** de 2014.

Fizeram parte da banca os professores:

**Beatriz Fontana de Vargas**

**César Augusto Portolann**

**José Donizetti de Lima**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família que no decorrer desta trajetória me mantiveram firme com suas palavras de conforto e esperança.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças nesta caminhada. Também aos meus pais por terem me apoiado neste caminho escolhido, à minha esposa por compreender meus momentos de ausência e ao meu irmão Wesley Jean da Silva, companheiro de estudo ao qual sem seus estímulos não conseguiria alcançar meus objetivos. Agradeço à professora Beatriz Fontana de Vargas por compartilhar seu tempo me ajudando no decorrer deste trabalho. Agradeço também a todos os professores e colegas que de maneira direta ou indireta, contribuíram para meu crescimento intelectual, tornando assim possível chegar ao final deste curso.

## EPÍGRAFE

*Ama-se mais o que se conquista com esforço.*

(Benjamim Disraeli).

## RESUMO

SILVA, Willian Andrey da. Avaliação do uso de iluminação eficiente em consumidores residenciais e sua influência na qualidade de energia. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

Nos últimos anos houve um aumento na utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) em substituição às lâmpadas incandescentes (LI). Isso se deve ao fato de que as LFC possuem maior eficiência energética e maior vida útil e a LI está em tendência de desuso. Porém, as LFC geram problemas que afetam a qualidade de energia. Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de iluminação eficiente em consumidores residenciais por meio de pesquisas de campo, no município de Pato Branco e verificar em laboratório, com o uso de um analisador de grandezas elétricas, a influência das LFCs na qualidade de energia. Foram medidos o fator de potência (FP), nível de distorção harmônica total (DHT) e potência ativa consumida por lâmpadas de diferentes marcas. As LFCs testadas apresentaram um elevado valor de THD de corrente, da ordem de 150%. Nesse sentido, deve haver uma preocupação com a qualidade de energia, pois as normas brasileiras vigentes não estabelecem limites máximos de THD para LFCs.

**Palavras-chave:** Pesquisa de Campo. Lâmpada Fluorescente Compacta. Qualidade de Energia. Distorções Harmônicas.

## ABSTRACT

SILVA, Willian Andrey da. Evaluation of the use of efficient lighting in residential consumers and its influence on power quality. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

In recent years there has been an increase in the use of compact fluorescent lamps (CFLs) to replace incandescent lamps. This is due to the fact that CFLs have higher energy efficiency and longer service life and IL is trending disuse. However, CFLs generate problems that affect the power quality. This work aims to evaluate the use of efficient lighting in residential consumers through field research, in the city of Pato Branco and check in the laboratory using a parser electrical quantities, the influence of these lamps in power quality. Power factor (PF), level of total harmonic distortion (THD) and active power consumed by lamps of different brands were measured. CFLs tested showed a high THD value of approximately 150%. In this sense, there must be a preoccupation for power quality, because the current Brazilian regulations do not establish maximum THD for CFLs.

**Keywords:** Field Research. Compact Fluorescent Lamps. Power Quality. Harmonic Distortion.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Influência das distorções harmônicas. ....  | 16 |
| Figura 2 – Tetraedro de Potências.....   | 20 |
| Figura 3 – Lâmpada Incandescente.....  | 22 |
| Figura 4 – Princípio de funcionamento de uma LFT.....  | 24 |
| Figura 5– Modelos de reatores eletromagnéticos.....  | 25 |
| Figura 6 – Modelo de reator eletrônico.....  | 26 |
| Figura 7 – Exemplo de lâmpada LED.....   | 27 |
| Figura 8 – Exemplo de circuito interno de uma LFC.....   | 28 |
| Figura 9 – Exemplos de LFC mais comuns no mercado.....   | 29 |
| Figura 10 – Típico circuito de um reator eletrônico de uma LFC.....  | 32 |
| Figura 11 – Analisador de Qualidade de Energia Fluke 435 II.....   | 36 |
| Figura 12: Número de consumidores residenciais estratificados por categorias.....  | 38 |
| Figura 13: Número médio de LFCs instaladas por residência.....   | 40 |
| Figura 14: Número médio de LFCs usadas à noite por residência.....   | 40 |
| Figura 15 – Forma de onda de tensão medida na rede. ....   | 41 |
| Figura 16 – Índices de THD e harmônicas de corrente.....   | 42 |
| Figura 17 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na LI.....  | 43 |
| Figura 18 – Intensidades das componentes harmônicas de corrente (a) e tensão (b) medidos na LI.....                          | 43 |
| Figura 19 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na luminária com reator eletromagnético.....          | 44 |
| Figura 20 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na luminária com reator eletromagnético.....             | 44 |
| Figura 21 – Formas de onda de tensão e corrente (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 1. .... | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 1. ....                     | 46 |
| Figura 23 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 2. ....                  | 46 |
| Figura 24 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na LFC do Fabricante 2. ....                         | 47 |
| Figura 25 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 3. ....                  | 48 |
| Figura 26 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 3. ....                     | 48 |
| Figura 27 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 4. ....                  | 49 |
| Figura 28 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 4. ....                     | 49 |
| Figura 29 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 5. ....                  | 50 |
| Figura 30 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 5. ....                     | 51 |
| Figura 31: Comparativo entre as correntes harmônicas das LFCs testadas.....  | 53 |
| Figura 32: Comparativo entre intensidades das componentes harmônicas de uma LFCe de um reator eletromagnético.....       | 54 |
| Figura 33 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência monofásica. .... | 55 |
| Figura 34 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência monofásica. ....    | 55 |
| Figura 35 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência bifásica.....    | 56 |
| Figura 36 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência bifásica.....       | 56 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 37 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência trifásica. .... | 57 |
| Figura 38 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência trifásica. ....    | 58 |
| Figura 39: Comparativo entre as correntes harmônicas dos três circuitos medidos.  | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Ordem, frequência e sequência de harmônicas .....                                       | 16 |
| Tabela 2 – Valores de referência de DHT de Tensão .....  | 21 |
| Tabela 3 – Níveis mínimos de eficiência energética – 127 V .....                                   | 23 |
| Tabela 4 – Níveis mínimos de eficiência energética – 220 V .....                                   | 24 |
| Tabela 5 – Níveis mínimos de eficiência energética para LFCs.....                                  | 30 |
| Tabela 6 – Níveis mínimos de eficiência energética para se obter o selo Procel.....                | 31 |
| Tabela 7 – Níveis de Confiança. ....   | 34 |
| Tabela 8 – Número de consumidores residenciais – Junho de 2013.....                                | 37 |
| Tabela 9 – Amostra piloto estratificada por categorias.....  | 38 |
| Tabela 10 – Amostra Estratificada por categorias.....  | 39 |
| Tabela 11 – Resultados da pesquisa em campo.....   | 40 |
| Tabela 12 – Comparativo entre os valores declarados pelos fabricantes das LFCs testadas.....       | 51 |
| Tabela 13 – Comparativo entre os valores medidos nas LFCs de diferentes fabricantes.....           | 52 |
| Tabela 14: Comparação entre o conteúdo harmônicas das LFCs e reator eletromagnético testados. .... | 53 |
| Tabela 15: Comparação entre componentes harmônicas dos circuitos testados.....                     | 58 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|            |  |
|------------|--|
| A          | Ampère   |
| Aneel      | Agência Nacional de Energia Elétrica   |
| CA         | Corrente Alternada   |
| CC         | Corrente Contínua  |
| Copel      | Companhia Paranaense de Energia Elétrica   |
| D          | Potência de Distorção  |
| $F_d$      | Fator de Distorção   |
| FP         | Fator de Potência  |
| $FP_d$     | Fator de Potência de Deslocamento  |
| LFC        | Lâmpada Fluorescente Compacta  |
| LI         | Lâmpada Incandescente  |
| lm/W       | Lumens por Watts   |
| MIC        | Ministério da Indústria e Comércio   |
| MME        | Ministério de Minas e Energia  |
| P          | Potência Ativa   |
| PEE        | Programa de Eficiência Energética  |
| Procel     | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica                                     |
| Prodist    | Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional           |
| PTC        | Coeficiente de Temperatura Positivo (do inglês <i>Positive Temperature Coefficient</i> ) |
| Q          | Potência Reativa   |
| <i>rms</i> | Valor Médio Quadrático (do inglês <i>root mean square</i> )                              |
| S          | Potência Aparente  |
| THD        | Distorção Harmônica Total (do inglês <i>total harmonic distortion</i> )                  |
| UTFPR      | Universidade Tecnológica Federal do Paraná   |
| V          | Volts  |
| W          | Watts  |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 11 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....   | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                  | 12 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....                                 | 12 |
| 2. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA     | 13 |
| 2.1 QUALIDADE DE ENERGIA .....                                   | 14 |
| 2.1.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS .....                                | 15 |
| 2.1.2 Taxa de Distorção Harmônica Total (THD) .....              | 17 |
| 2.2 CARGAS NÃO LINEARES.....                                     | 18 |
| 2.2.1 Potência em Sistemas com Cargas Não Lineares.....          | 19 |
| 2.2.2 Fator de Potência em Sistemas com Cargas Não Lineares..... | 20 |
| 2.3 HARMÔNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA .....      | 21 |
| 3. ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL.....                                   | 22 |
| 3.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES (LI) .....                           | 22 |
| 3.2 LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES (LFT) .....                 | 24 |
| 3.2.1 Reatores Eletromagnéticos .....                            | 25 |
| 3.2.2 Reatores Eletrônicos.....                                  | 26 |
| 3.3 LÂMPADAS LED.....  | 27 |
| 3.4 LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS (LFC).....                  | 28 |
| 3.4.1 Harmônicas nas LFCs.....                                   | 31 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                     | 33 |
| 4.1 Pesquisa de campo.....                                       | 33 |
| 4.2 MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO.....                                 | 35 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                  | 37 |
| 5.1 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO.....                         | 37 |
| 5.1.1 Amostra Piloto.....  | 37 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 5.1.2   | Pesquisa Final.....  | 38 |
| 5.2     | RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO.....                | 41 |
| 5.2.1   | Resultados das medições nas lâmpadas.....                  | 41 |
| 5.2.1.1 | LI 100 W.....  | 42 |
| 5.2.1.2 | Luminária com reator eletromagnético.....                  | 44 |
| 5.2.1.3 | LFC Fabricante 1 .....                                     | 45 |
| 5.2.1.4 | LFC Fabricante 2 .....                                     | 46 |
| 5.2.1.5 | LFC Fabricante 3 .....                                     | 47 |
| 5.2.1.6 | LFC Fabricante 4 .....                                     | 48 |
| 5.2.1.7 | LFC Fabricante 5 .....                                     | 50 |
| 5.2.1.8 | Conclusões parciais das medições individuais .....         | 51 |
| 5.2.2   | Medições elétricas de conjuntos de LFCs.....               | 54 |
| 5.2.2.1 | Conjunto equivalente a uma residência monofásica.....      | 54 |
| 5.2.2.2 | Conjunto equivalente a uma residência bifásica.....        | 56 |
| 5.2.2.3 | Conjunto equivalente a uma residência trifásica.....       | 57 |
| 5.2.2.4 | Conclusões parciais das medições de conjuntos de LFCs..... | 58 |
| 6.      | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                  | 60 |
|         | REFERÊNCIAS.....   | 63 |
|         | APÊNDICE.....  | 66 |

## 1. INTRODUÇÃO

Após a crise energética de 2001, houve uma crescente preocupação com a economia de energia. Assim, entrou no mercado brasileiro as Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC) como uma alternativa mais econômica para substituir as dispendiosas Lâmpadas Incandescentes (LI). Nos últimos anos, devido ao barateamento da tecnologia, houve um grande aumento na utilização das LFC.

Embora, sejam mais econômicas, as LFC interferem na qualidade de energia da rede ao qual estão conectadas. Segundo Mascia (2011), estas lâmpadas causam distorções na forma de onda de corrente e injetam níveis substanciais de harmônicos no sistema de distribuição secundária além de contribuir para a diminuição do Fator de Potência (FP).

A existência de distorções harmônicas em sistemas elétricos pode causar diversos efeitos, tais como aquecimentos excessivos, ressonância, aumento da queda de tensão, disparo de dispositivos de proteção e redução do fator de potência da instalação. Em consequência dos efeitos citados, pode haver problemas associados ao funcionamento e desempenho de motores, fios e cabos, capacitores e equipamentos eletrônicos sensíveis (INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE, 2001).

Para Torres *et al*, (2009), a qualidade da energia elétrica fornecida pelas concessionárias pode ser questionada em situações em que os níveis de distorção harmônica são elevados. O controle das distorções harmônicas é, portanto, objetivo tanto das concessionárias de energia elétrica quanto de seus clientes. Já segundo Sousa (2011), muito tem sido feito para identificar distorções de cargas não lineares industriais e minimizar os seus efeitos sobre os sistemas elétricos. Entretanto, a literatura técnica tem dedicado pouca atenção para as distorções das cargas não lineares presentes no setor residencial e comercial.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de iluminação eficiente em

consumidores residenciais e estimar a influência na qualidade de energia do sistema da concessionária local devido à substituição das Lâmpadas Incandescentes pelas Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFCs) apoiadas pelo Procel.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar estudo para definir tamanho da amostra a ser utilizada na pesquisa;
- Realizar uma pesquisa de campo para verificar o uso de iluminação eficiente em consumidores residenciais no município de Pato Branco;
- Fazer medições em laboratório das lâmpadas mais utilizadas nas residências, individualmente e em conjuntos, a fim de analisar o fator de potência (FP), nível de distorção harmônica total (DHT) e potência ativa consumida pelas lâmpadas; e
- Realizar uma análise para estimar a influência das lâmpadas eficientes na qualidade de energia.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, dispostos da seguinte maneira:

No capítulo 2, são expostos dados a respeito de programas de eficiência energética. Em seguida, no capítulo 3, discute sobre qualidade de energia, distorções harmônicas em sistemas de energia e também sobre cargas não lineares analisando o cálculo de potência aparente e fator de potência para estes tipos de equipamentos. Na sequência, o capítulo 4 dispõe a respeito da iluminação residencial, abordando os tipos de lâmpadas mais usuais em residências. O capítulo 5 se apresenta as metodologias utilizadas na elaboração deste trabalho. Já no capítulo 6 são apresentados os resultados e discussões sobre o trabalho em questão. Por fim, no capítulo 7 apresentam-se as conclusões finais sobre este trabalho.

## 2. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA

Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas que reduza os custos ou aumente a quantidade de energia ofertada, sem alteração na geração (ANEEL, 2005).

No Brasil, com o intuito de conscientizar a sociedade para o uso responsável da energia elétrica, o Ministério de Minas e Energia (MME) em conjunto com o Ministério da Indústria e Comércio (MIC) criaram em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que é gerido por uma secretaria executiva subordinada à Eletrobras. Em 1991, o Procel foi transformado em programa de governo, tendo abrangência e responsabilidade ampliadas (PROCEL, 2006).

Por meio de um decreto presidencial, em 08 de dezembro de 1993, foi criado o selo Procel, que tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Deste modo, proporciona-se economia na conta de energia, como também se estimula a fabricação e a comercialização de equipamentos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente (PROCEL, 2013).

Os equipamentos que podem ser contemplados com o selo Procel são refrigeradores, lavadoras de roupas, condicionadores de ar, ventiladores, reatores eletrônicos para lâmpadas tubulares, LFC's, entre outros. Para se obter o selo Procel, os produtos devem atender a especificações preconizadas pelo programa.

Em 24 de Julho de 2000, foi aprovada a Lei 9.991, da Agência Nacional Energia Elétrica (Aneel) que dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Esta lei obriga as concessionárias e permissionárias do setor elétrico a aplicar anualmente, o montante de, no mínimo setenta e cinco por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco décimos por cento em programas de eficiência energética no uso final (ANEEL, 2000).

A Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel), por intermédio da Lei 9.991/2000, criou o Programa de Eficiência Energética (PEE) no ano 2000. Por meio desse programa, a Copel investiu cerca de R\$ 200 milhões com a substituição de refrigeradores, chuveiros elétricos, lâmpadas incandescentes e equipamentos de aquecimento de água de famílias carentes, por equipamentos mais eficientes e com selo Procel, visando diminuir o desperdício de energia (GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2013).

## 2.1 QUALIDADE DE ENERGIA

Segundo Dias (2002), caracteriza-se como um problema de qualidade de energia qualquer distúrbio ou ocorrência manifestada nos níveis de tensão, nas formas de onda de tensão e corrente que possam resultar em insuficiência, má operação, falha ou defeito permanente em equipamentos de um sistema elétrico. Uma descrição de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é a disponibilidade de energia elétrica com forma de onda senoidal pura, sem alterações na amplitude, emanando de uma fonte de potência infinita.

Para Rodrigues (2009), uma das principais razões para a crescente preocupação com a qualidade de energia é a questão econômica. Consumidores residenciais têm em mente a qualidade de energia como sendo a continuidade no fornecimento, não havendo interrupções de energia muito prolongadas, não gerando perdas econômicas para o consumidor.

Entretanto, a visão de consumidores industriais e comerciais não é equivalente. Consumidores industriais e comerciais possuem equipamentos de alta tecnologia e extremamente sensíveis a qualquer tipo de perturbação. Desta maneira, se ocorrer uma falta de energia, mesmo que por um pequeno intervalo de tempo, todo o processo industrial pode ser comprometido. Desta maneira, é de suma importância que a energia entregue pela concessionária para estes consumidores seja livre de distúrbios. De acordo com Santos (2007), os distúrbios na qualidade de energia podem ser segmentados em cinco categorias:

- Interrupções (*blackouts*);

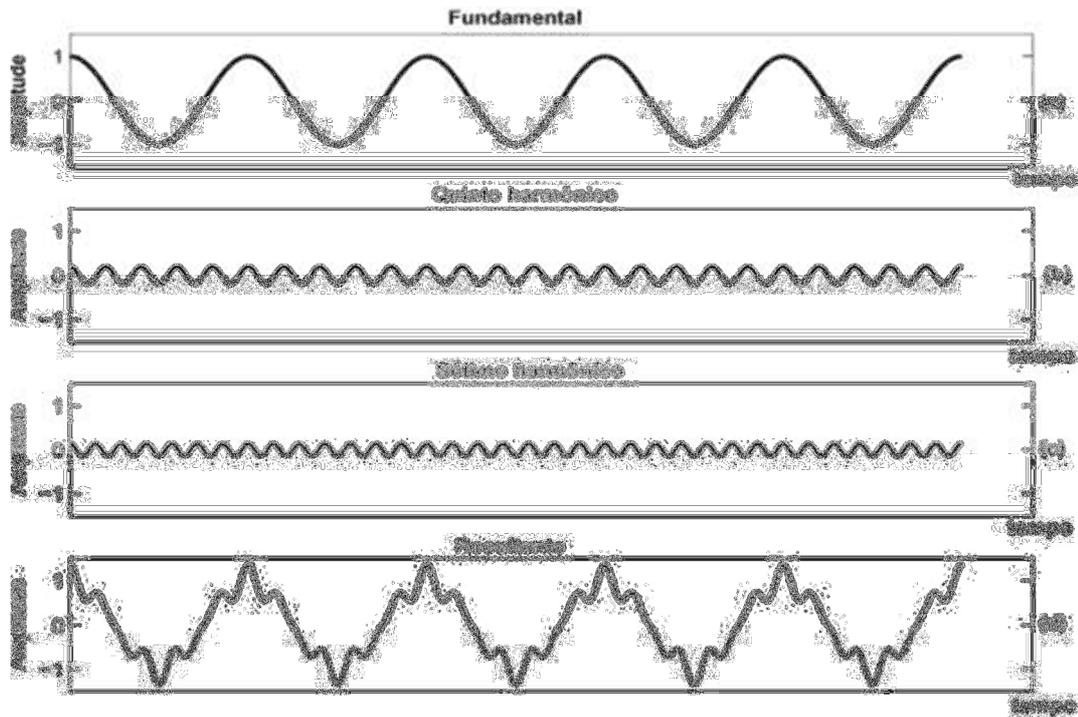
- Sub ou sobretensão de longa duração;
- Afundamento de tensão e surtos de curta duração;
- Transitório; e
- Distorções Harmônicas.

Cada um desses problemas de qualidade de energia possui diferentes causas. Alguns problemas como defeitos que ocorrem na rede podem gerar transtornos em muitos consumidores, assim como um problema em um consumidor pode gerar um transitório que irá afetar todos os outros consumidores conectados ao mesmo subsistema.

### 2.1.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Segundo Torres *et al.* (2009), a forma de onda fornecida pelas concessionárias brasileiras aos seus consumidores, idealmente, é uma senóide cuja frequência, dita fundamental, vale 60 Hz. Os harmônicos são componentes senoidais de frequências múltiplas da frequência fundamental. Pode -se observar na Figura 1, como os componentes harmônicos se adicionam à forma de onda fundamental, distorcendo-a.

Para Santos (2007), as harmônicas são um fenômeno contínuo e não devem ser confundidas com outros fenômenos de curta duração como transitórios, picos de sobretensão e subtensão. Estas perturbações no sistema podem ser normalmente serem eliminadas com a aplicação de filtros de linha (supressores de transitórios). Entretanto, estes filtros de linha não reduzem nem eliminam correntes e tensões harmônicas.



**Figura 1 – Influência das distorções harmônicas.**  
 (a) Componente Fundamental; (b) Quinto Harmônico; (c) Sétimo Harmônico;  
 (d) Resultante da soma da fundamental com as harmônicas.  
 Fonte: Torres et al. (2009)

As harmônicas podem ser classificadas quanto à sua ordem, frequência e sequência. Como pode se observar na Tabela 1, a ordem corresponde ao múltiplo da frequência fundamental e a sequência pode ser positiva, negativa ou nula. Além disso, as harmônicas podem ser classificadas como pares ou ímpares, onde as pares são de origem de corrente contínua e as ímpares de corrente alternada (SANTOS, 2007).

| Ordem | Frequência   | Sequência |
|-------|--------------|-----------|
| 1     | 60           | +         |
| 2     | 120          | -         |
| 3     | 180          | 0         |
| 4     | 240          | +         |
| 5     | 300          | -         |
| 6     | 360          | 0         |
| n     | $n \cdot 60$ | (+,-,0)   |

**Tabela 1 – Ordem, frequência e sequência de harmônicas**  
 Fonte: Santos (2007)

Segundo Sousa (2011), as distorções harmônicas não geravam maiores preocupações, pois pouco se utilizavam de cargas com características não lineares, como também os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Contudo, nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência e com a utilização de métodos que buscam a racionalização de energia elétrica, o conteúdo harmônico presente no sistema elétrico tem aumentado, comprometendo a qualidade da energia elétrica e causando efeitos indesejáveis em diversos equipamentos.

Entre estes efeitos indesejáveis, podemos citar o aquecimento excessivo de máquinas rotativas de corrente alternada, devido ao aumento das perdas no circuito magnético e no circuito elétrico, sendo reduzido o torque disponível e sua eficiência. Em transformadores, assim como em máquinas rotativas, componentes harmônicos na tensão aumentam as perdas no circuito magnético, enquanto harmônicos na corrente aumentam as perdas no circuito elétrico (TORRES *et al.*, 2009).

Para Sousa (2011), um dos principais problemas causados por harmônicas ocorre junto aos bancos de capacitores, que podem originar condições de ressonância, caracterizando uma sobretensão nos terminais das unidades capacitivas. Em decorrência desta sobretensão tem-se uma degradação do isolamento das unidades capacitivas, e em casos extremos, uma completa danificação dos capacitores. Além disso, mesmo sem condições de ressonância, um capacitor é sempre um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas e sempre estará sujeito à sobrecarga e ao aquecimento excessivo, reduzindo assim a sua vida útil.

### 2.1.2 Taxa de Distorção Harmônica Total (THD)

De acordo com Sousa (2011), a forma mais usual de exprimir o conteúdo harmônico de uma onda é pela avaliação da Distorção Harmônica Total (THD). Este índice, normalmente em percentual, é calculado pela Equação 1, sendo  $THD_i$  a distorção harmônica total de corrente,  $h$  a ordem harmônica,  $I_h$  o valor eficaz da

componente harmônica da corrente de ordem  $h$  e  $I_1$  o valor eficaz da componente fundamental da corrente.

$$THD_i = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (1)$$

A mesma formulação é utilizada para a tensão, se obtendo a Equação 2, sendo  $THD_v$  a distorção harmônica total de tensão,  $h$  a ordem harmônica,  $I_h$  o valor eficaz da componente harmônica da tensão de ordem  $h$  e  $V_1$  sendo o valor eficaz da componente fundamental da tensão.

$$THD_v = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2)$$

Em casos em que seja necessário determinar a distorção individual provocada por uma componente harmônica específica, utiliza-se as Equações 3 e 4, na qual  $DH_{iv(h)}$  é a distorção harmônica de tensão da componente de ordem  $h$  e  $DH_{i(h)}$  é a distorção harmônica de corrente da componente de ordem  $h$ .

$$DH_{v(h)} = \frac{V_h}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

$$DH_{I(h)} = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad (4)$$

## 2.2 CARGAS NÃO LINEARES

Para Mascia (2011), entende-se por cargas não lineares, aquelas em que a relação entre a tensão e corrente não é linear, ou seja, não atende a lei de Ohm. Exemplos de cargas não lineares são equipamentos eletrônicos que utilizam dispositivos semicondutores em seus circuitos para conversão de Corrente Alternada (CA) em Corrente Contínua (CC).

Segundo Dias (2002), com a invenção e desenvolvimento do tiristor, equipamentos de baixo custo e grande eficiência, se tornaram disponíveis para os motores CC ou de indução em gaiola de esquilo atuassem como acionamento de bombas, ventiladores e máquinas, com a habilidade de controlar a velocidade das mesmas. No processo básico de retificação com equipamentos de chaveamento ocorre a aparição de correntes harmônicas fluindo entre os sistemas CA e CC.

### 2.2.1 Potência em Sistemas com Cargas Não Lineares

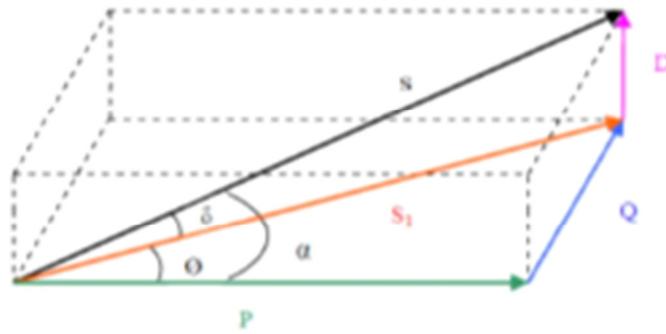
Em sistemas elétricos trifásicos com cargas lineares, utiliza-se para calcular a potência aparente (S), a Equação 5, que relaciona a potência ativa (W) e a potência reativa (Q):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

Com a introdução das cargas não lineares no sistema elétrico, não se deve mais se considerar apenas potência ativa e potência reativa. Deste modo, com a existência de componentes harmônicas, existe uma terceira parte que não realiza trabalho, denominada potência de distorção (D). Assim, a Equação 5 deve ser reformulada, devendo então se utilizar a Equação 6.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (6)$$

Graficamente, utiliza-se para cargas lineares, o conhecido triângulo das potências, enquanto que em cargas não lineares deve se considerar o chamado tetraedro de potências que leva em consideração a presença da potência de distorção, conforme se observa na Figura 2.



**Figura 2 – Tetraedro de Potências**  
**Fonte: Sousa (2011)**

### 2.2.2 Fator de Potência em Sistemas com Cargas Não Lineares

O Fator de Potência (FP) sempre foi abordado como sendo a eficiência em se realizar trabalho, sendo a relação entre a Potência Ativa (P) e a Potência Aparente (S), como se observa na Equação 7.

$$FP = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Em sistemas elétricos com cargas lineares, FP coincide com o  $\cos \phi$ , na qual  $\phi$  é o ângulo entre as formas de onda de tensão e corrente. Desta maneira, também pode ser denominado de Fator de Potência de Deslocamento (FPd). Já em sistemas elétricos com cargas não lineares, continua-se usando a Equação 7 para o cálculo do FP, porém a Potência Aparente (S) utilizada deve ser a calculada na Equação 6, ao qual é considerado a Potência de Distorção (D). Desta maneira, a partir da Figura 2, se obtém as equações de FPd,  $F_d$  que é o Fator de Distorção e finalmente o FP verdadeiro a seguir.

$$FP_d = \frac{P}{S_1} = \cos \phi \quad (8)$$

$$F_d = \frac{S_1}{S} = \cos \delta \quad (9)$$

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \alpha = \cos \phi \times \cos \delta \quad (10)$$

### 2.3 HARMÔNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Segundo Rodrigues (2009), com a introdução de diversos processadores eletrônicos de energia elétrica, como fontes chaveadas, controladores de velocidade de máquinas elétricas, equipamentos de solda e demais conversores estáticos de potência, apresentando-se como cargas não lineares, em conjunto com uma grande quantidade de dispositivos presentes nos setores comercial e residencial, tem causado um aumento significativo no nível de distorção harmônica de correntes e tensões nas redes de distribuição de energia elétrica.

Como o consumidor é dono da carga não linear, ele se torna responsável pela quantidade de corrente harmônica injetada no sistema. Porém, se a corrente harmônica injetada pelo consumidor estiver dentro de limites razoáveis, a responsabilidade pelo controle da distorção de tensão será da concessionária.

As distorções harmônicas afetam o desempenho de inúmeros dispositivos presentes no sistema de distribuição, como transformadores, bancos de capacitores, dispositivos de proteção e manobra e inclusive sistemas de medição de energia elétrica.

No Brasil, a única regulamentação de distorções harmônicas existente se encontra no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist), criado pela Aneel. O Prodist determina valores de referência para DHT de tensão conforme a faixa de tensão de distribuição, como se observa na Tabela 2.

| <b>Tensão Nominal do Barramento</b>        | <b>Distorção Harmônica Total de Tensão (%)</b> |
|--|--|
| $V_N \leq 1 \text{ kV}$                    | 10   |
| $1 \text{ kV} < V_N \leq 13,8 \text{ kV}$  | 8  |
| $13,8 \text{ kV} < V_N \leq 69 \text{ kV}$ | 6  |
| $69 \text{ kV} < V_N \leq 230 \text{ kV}$  | 3  |

**Tabela 2 – Valores de referência de DHT de Tensão**  
**Fonte: Aneel (2012)**

### 3. ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL

Segundo Santos *et al.* (2007), a iluminação é responsável por, aproximadamente, 1% do consumo no setor industrial, 44% no setor comercial e 23% no setor residencial. No setor residencial, os tipos de lâmpadas mais encontrados são as Lâmpadas Incandescentes (LI), Lâmpadas Fluorescentes Tubulares (LFT) e Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC). Além disso, estão entrando no mercado as Lâmpadas LED. Porém por ser uma tecnologia nova, seu custo ainda é muito elevado. A seguir será descrito cada uma dessas lâmpadas, apresentando as suas principais características.

#### 3.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES (LI)

De acordo com Mascia (2011), as LI foram as primeiras economicamente viáveis a serem produzidas. Seu princípio de funcionamento é baseado na passagem de corrente elétrica por um filamento de tungstênio, aquecendo o filamento a tal ponto que o mesmo entra em incandescência, emitindo luz, como pode se observar na Figura 3. Entretanto, na LI apenas 6% da energia consumida é transformado em luz visível, sendo o restante transformado em calor.



**Figura 3 – Lâmpada Incandescente**  
Fonte: Philips (2014)

Devido a pouca energia transformada em luz, a LI tem um baixo rendimento luminoso, em torno de 16 lm/W. Outra desvantagem é sua vida útil muito curta, durando em torno de 1000 h, pelo fato de o filamento se tornar cada vez mais fino devido às altas temperaturas ao qual é submetido. Ainda assim, estas lâmpadas ainda são bastante utilizadas, por terem um baixo custo inicial e por serem de fácil substituição (MASCIA, 2011).

Entretanto, no Brasil, estas lâmpadas estão prestes a serem extintas, devido a sua baixa eficiência luminosa, o governo federal, por intermédio da portaria nº 1007, de 31 de dezembro de 2010, define níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes domésticas. Nesta portaria, são definidos prazos para a interrupção da fabricação e importação de lâmpadas consideradas ineficientes, de acordo com a potência. Conforme se observa na Tabela 3 para LI 127 V e na Tabela 4 para LI 220 V, sendo que a partir da data indicada, as lâmpadas deverão atingir a eficiência mínima (MME, 2010).

| <b>Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 127 V – 750 horas</b> |                                 |                   |                   |                   |                   |
|--|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>POTÊNCIA (W)</b>  | <b>EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W)</b> |                   |                   |                   |                   |
|  | <b>30/06/2012</b>               | <b>30/06/2013</b> | <b>30/06/2014</b> | <b>30/06/2015</b> | <b>30/06/2016</b> |
| Acima de 150   | 20,0                            | 24,0              |                   |                   |                   |
| 101 a 150  | 19,0                            | 23,0              |                   |                   |                   |
| 76 a 100   |                                 | 17,0              | 22,0              |                   |                   |
| 61 a 75  |                                 | 16,0              | 21,0              |                   |                   |
| 41 a 60  |                                 |                   | 15,5              | 20,0              |                   |
| 26 a 40  |                                 |                   |                   | 14,0              | 19,0              |
| Até 25   |                                 |                   |                   | 11,0              | 15,0              |

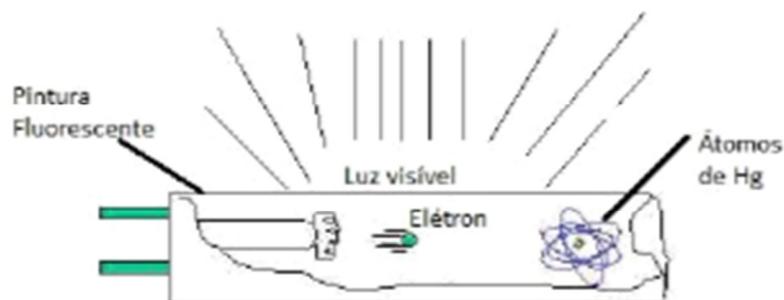
**Tabela 3 – Níveis mínimos de eficiência energética – 127 V**  
**Fonte: MME (2010)**

| Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 220 V – 1.000 horas |                          |            |            |            |            |
|---|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| POTÊNCIA (W)  | EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W) |            |            |            |            |
|   | 30/06/2012               | 30/06/2013 | 30/06/2014 | 30/06/2015 | 30/06/2016 |
| Acima de 150  | 18,0                     | 22,0       |            |            |            |
| 101 a 150   | 17,0                     | 21,0       |            |            |            |
| 76 a 100  |                          | 14,0       | 20,0       |            |            |
| 61 a 75   |                          | 14,0       | 19,0       |            |            |
| 41 a 60   |                          |            | 13,0       | 18,0       |            |
| 26 a 40   |                          |            |            | 11,0       | 16,0       |
| Até 25  |                          |            |            | 10,0       | 15,0       |

**Tabela 4 – Níveis mínimos de eficiência energética – 220 V**  
**Fonte: MME (2010)**

### 3.2 LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES (LFT)

Segundo Sousa (2011), a LFT é uma lâmpada à descarga de baixa pressão, na qual a luz é predominantemente produzida por pós fluorescentes ativados pela energia ultravioleta da descarga. Em forma de bulbo tubular longo, com um eletrodo em cada ponta, a LFT contém vapor de mercúrio a baixa pressão. Ao se ligar a lâmpada, os filamentos se aquecem pela passagem de corrente, liberando elétrons, que se movimentam de um eletrodo a outro em alta velocidade, causando uma descarga elétrica no vapor de mercúrio. Através desta descarga, é emitida radiação ultravioleta que em contato com o pó fluorescente ou pó de fósforo, se converte em luz visível, como ilustra a Figura 4.



**Figura 4 – Princípio de funcionamento de uma LFT**  
**Fonte: Mascia (2011)**

Foram feitos alguns avanços com as LFT em relação à eficiência luminosa. Com a redução do diâmetro do bulbo, se torna maior a probabilidade de colisão entre os elétrons livres e átomos de mercúrio, como também diminui a corrente elétrica. Outra avanço se refere a substituição do fósforo comum, pelo trifósforo, elevando a eficiência luminosa de 70 lm/W para até 100 lm/W.

De acordo com Silva (2008), para o acendimento de lâmpadas de descarga (fluorescentes), se faz necessário o uso de equipamentos auxiliares chamados reatores. Estes servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito funcionamento das lâmpadas, podendo ser eletromagnéticos ou eletrônicos. As características de cada um são detalhadas a seguir.

### 3.2.1 Reatores Eletromagnéticos

Os reatores eletromagnéticos são constituídos por um núcleo de aço silício e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster e com carga mineral, tendo grande poder de isolamento e dissipação térmica. São divididos entre partida convencional e partida rápida. Os reatores de partida convencional necessitam de um *starter* para acendimento da lâmpada, enquanto que os reatores de partida rápida não necessitam, pois os filamentos da lâmpada são constantemente aquecidos pelo reator. A Figura 5 apresenta modelos de reatores eletromagnéticos.



**Figura 5– Modelos de reatores eletromagnéticos**  
Fonte:Sousa (2011)

### 3.2.2 Reatores Eletrônicos

Como o próprio nome diz, os reatores eletrônicos são constituídos de componentes eletrônicos. Operam em alta frequência e têm menores perdas elétricas, comparados aos eletromagnéticos. Entre as vantagens dos reatores eletrônicos em relação aos reatores eletromagnéticos podemos citar maior eficácia, são mais leves e compactos, aumentam a vida útil das lâmpadas, entre outros. A Figura 6 mostra um modelo de reator eletrônico.



**Figura 6 – Modelo de reator eletrônico.**  
**Fonte: Sousa (2011)**

Entretanto, por serem equipamentos eletrônicos de alta frequência, podem causar interferências em equipamentos sensíveis, como ruídos em rádios, estremelecimento da imagem do televisor, entre outros.

Para Ribeiro (2007), a corrente harmônica injetada por muitos reatores eletrônicos é similar aquelas geradas por fontes de alimentação empregadas em computadores e em outros equipamentos eletrônicos. O aumento significativo de harmônicos a partir da iluminação fluorescente pode se tornar uma parcela importante devido ao fato de a iluminação ser responsável por 40 a 60% da carga elétrica comercial. Alguns fabricantes têm melhorado os seus projetos de reatores eletrônicos, obtendo uma forma de onda mais limpa.

Ainda segundo esse autor, reatores magnéticos são individualmente produtores de harmônicos, sendo que a principal fonte de distorção harmônica provém do comportamento do arco. Entretanto, alguns reatores eletrônicos, os quais

empregam alimentação por fontes chaveadas para melhorar a eficiência energética, podem dobrar ou triplicar a produção normal de harmônicos.

### 3.3 LÂMPADAS LED

Segundo Mascia (2011), nos dias de hoje a tecnologia dos diodos emissores de luz (LED), já estão migrando para a iluminação de residências, visto que nas últimas décadas eram apenas utilizados em aparelhos eletrônicos e semáforos. A tecnologia da lâmpada LED se mostra diferente das outras, pois o material utilizado na sua fabricação é semicondutor. Seu princípio de funcionamento ocorre por uma pequena corrente elétrica que circula neste dispositivo, fazendo-o emitir luz.

As lâmpadas LED possuem alta durabilidade e eficiência. Sua vida útil varia em torno 20.000 horas podendo chegar a 100.000 horas de uso ininterrupto e convertem 40% da energia elétrica que consomem em luz, enquanto uma LI converte apenas 6%.

Infelizmente, por ser uma tecnologia recente, seu custo ainda é muito alto, tornando as lâmpadas LED quase inacessível para as famílias brasileiras. Entretanto, com o passar dos anos, e o barateamento da tecnologia, espera-se um grande aumento no consumo destas lâmpadas.



**Figura 7 – Exemplo de lâmpada LED**  
**Fonte: Kruse *et al.*, (2010)**

### 3.4 LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS (LFC)

Segundo Silva (2008), as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) foram inseridas no mercado na década de 80, e apresentam alguns detalhes construtivos que a diferenciam das LFT convencionais, porém com o mesmo princípio de funcionamento. É constituída por um tubo de vidro, revestido com o pó trifósforo, preenchido com gás à baixa pressão e filamentos nas suas extremidades.

Para Sousa (2011), no decorrer da década de 80, ocorreram muitos aperfeiçoamentos nas LFCs, como o desenvolvimento das lâmpadas com reatores e *starters* integrados e os avanços nos circuitos eletrônicos de controle. Em 1986, as LFCs apareceram pela primeira vez, com reator integrado e bocal E-27, abrindo caminho para a substituição das LI. A Figura 8 mostra o circuito eletrônico acoplado na base da LFC.



**Figura 8 – Exemplo de circuito interno de uma LFC**  
**Fonte: Torres et al. (2009)**

Existem diversas formas construtivas para o tubo de descarga, sendo que os mais encontrados no mercado são as lâmpadas com três tubos independentes em forma de “U”, unidos por uma ponte e as lâmpadas com um único tubo em forma de espiral, como se mostra na Figura 9.



**Figura 9 – Exemplos de LFC mais comuns no mercado**  
**Fonte: O Autor**

De acordo com Sousa (2011), as LFCs consomem em torno de 75% menos potência ativa em comparação com as LIs para o mesmo fluxo luminoso, podendo existir variações de acordo com cada fabricante.

A praticidade de substituição imediata da LI por um LFC é o grande diferencial a favor das LFCs em relação às LFTs. Porém, um fator importante para a substituição das LIs por LFCs, é a eficiência luminosa. Como visto anteriormente, em virtude da Portaria Interministerial nº 1007 do ano de 2010 que prevê um valor mínimo de eficiência luminosa para LIs, por possuírem baixa eficiência luminosa, as LIs de uso residencial estão sendo retiradas do mercado já que não atendem a esta normativa.

De maneira semelhante, para fins de regulamentação, no ano de 2006, a Portaria Interministerial nº 132 prevê níveis mínimos de eficiência energética para LFCs, como se observa na Tabela 5. Para compreensão, entende-se por LFC com invólucro quando esta recebe uma cobertura adicional sobre o tubo de descarga, podendo o invólucro ser transparente ou translúcido.

| <b>LFC sem Invólucro</b>                 | <b>Índice Mínimo (lm/W)</b> |
|--|-----------------------------|
| Potência da lâmpada $\leq 8$ W           | 43,0                        |
| $8$ W < Potência da lâmpada $\leq 15$ W  | 50,0                        |
| $15$ W < Potência da lâmpada $\leq 25$ W | 55,0                        |
| $25$ W < Potência da lâmpada             | 57,0                        |
| <b>LFC com Invólucro</b>                 | <b>Índice Mínimo (lm/W)</b> |
| Potência da lâmpada $\leq 8$ W           | 40,0                        |
| $8$ W < Potência da lâmpada $\leq 15$ W  | 40,0                        |
| $15$ W < Potência da lâmpada $\leq 25$ W | 44,0                        |
| $25$ W < Potência da lâmpada             | 45,0                        |

**Tabela 5 – Níveis mínimos de eficiência energética para LFCs**  
**Fonte: MME (2006)**

O fabricante que desejar fazer uso do selo Procel em lâmpadas de sua fabricação, ou importadas, deverá comprovar os seguintes requisitos mínimos. Para obter o selo Procel de economia de energia, as LFCs deverão atender a alguns critérios. Estes critérios são:

- Depreciação do fluxo luminoso médio medido a 2.000 h, em relação ao fluxo luminoso médio medido a 100 h, seja de no máximo 15%.
- O FP deverá ser maior ou igual a 0,5, para lâmpadas de potência declarada até 25 W. Para lâmpadas de potência declarada maior que 25 W, o FP deverá ser maior ou igual a 0,92.

A LFC com reator integrado deverá atender as eficiências luminosas mínimas apresentadas na Tabela 6 a seguir:

| <b>LFC sem Invólucro</b>                 | <b>Índice Mínimo (lm/W)</b> |
|--|-----------------------------|
| Potência da lâmpada $\leq 6$ W           | 43,0                        |
| $6$ W < Potência da lâmpada $\leq 8$ W   | 50,0                        |
| $8$ W < Potência da lâmpada $\leq 12$ W  | 55,0                        |
| $12$ W < Potência da lâmpada $\leq 15$ W | 57,0                        |
| $15$ W < Potência da lâmpada $\leq 18$ W | 63,0                        |
| $18$ W < Potência da lâmpada $\leq 25$ W | 64,0                        |
| Potência da lâmpada > 25 W               | 65,0                        |
| <b>LFC com Invólucro</b>                 | <b>Índice Mínimo (lm/W)</b> |
| Potência da lâmpada $\leq 8$ W           | 42,0                        |
| $8$ W < Potência da lâmpada $\leq 15$ W  | 45,0                        |
| $15$ W < Potência da lâmpada $\leq 25$ W | 49,0                        |
| $25$ W < Potência da lâmpada             | 50,0                        |

**Tabela 6 – Níveis mínimos de eficiência energética para se obter o selo Procel.**  
**Fonte: Procel (2012)**

#### 3.4.1 Harmônicas nas LFCs

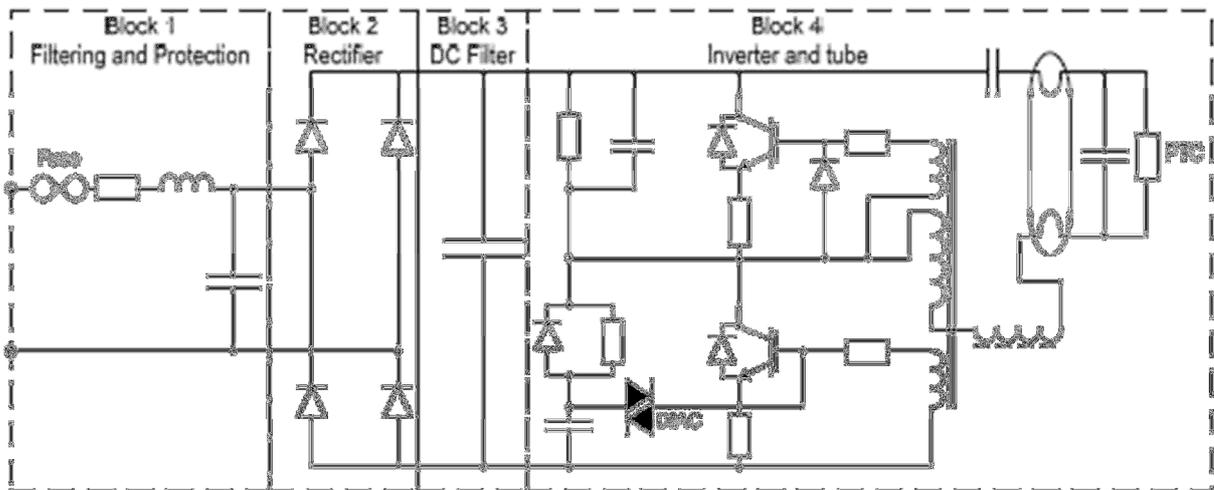
Para Mascia (2011), não existe a menor dúvida quanto à superioridade das LFCs em relação às LIs. Porém a qualidade de energia apresentada pelas LFCs é extremamente precária, sendo estas causadoras de distorções harmônicas na rede elétrica.

Segundo Sousa (2011), independentemente do fabricante e da potência da lâmpada, a corrente elétrica de uma LFC típica no mercado brasileiro, apresenta um alto índice de distorção harmônica. No Brasil inúmeras referências e catálogos de fabricantes apresentam LFCs com alto valor de THD de corrente, valores estes que situam acima de 100%.

A grande maioria das lâmpadas comercializadas no Brasil nem ao menos apresentam os valores de THD de corrente na embalagem. Como efeito direto da distorção de corrente, o fator de potência real (FP) destas LFCs fica na faixa de 0,46 a 0,57 enquanto que o fator de potência de deslocamento ( $FP_d$ ) está acima de 0,90, o que configura um maior carregamento do sistema elétrico.

Embora o fator de deslocamento e os níveis harmônicos sejam duas grandezas diferentes, o circuito que reduz os níveis de harmônicas geralmente também traz o fator de deslocamento mais próximo da unidade. Por esta razão, quando as pessoas falam sobre LFCs de alto fator de potência, estão se referindo às LFCs de baixa distorção harmônica.

Um típico diagrama de blocos do reator de uma LFC é apresentado na Figura 10. O primeiro bloco contém a proteção, filtragem e componentes de limitação de corrente de pico. O bloco 2 é a ponte de diodos que realiza a retificação de onda completa, convertendo a corrente alternada em corrente contínua. O bloco 3 é o capacitor de nivelamento, que fornece a tensão contínua de entrada do inversor para o tubo do bloco 4. O DIAC é para iniciar o inversor e o termistor PTC (*Positive Temperature Coefficient*) para prolongar a vida útil do tubo. Os PTCs são usados para promover uma rápida rajada de corrente no interior do tubo quando a LFC é ligada. O inversor normalmente opera entre 10 e 40 kHz e isso aparece como uma carga constante, tanto quanto um barramento de corrente contínua.



**Figura 10 – Típico circuito de um reator eletrônico de uma LFC**

**Fonte: Sousa (2011)**

Ainda para Sousa (2011), existe uma relação entre a geração de harmônicas e o custo, e muitas das vezes o tempo de vida de uma LFC. A ondulação da tensão contínua, medida pelo fator de crista (valor de pico dividido pelo *rms*, valor médio quadrático), influencia na vida útil do tubo. Aumentar o capacitor do filtro CC reduz a ondulação, mas aumenta o nível de distorção da corrente alternada. Alguns outros projetos de reatores também reduzem o conteúdo harmônico, mas aumentam o fator de crista. Projetos mais sofisticados visando filtrar ou reduzir o conteúdo harmônico aumentam a complexidade e, portanto, o custo da LFC.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos últimos anos, com o barateamento da tecnologia, o incentivo para substituição das ineficientes LIs, que estão em processo de encerramento de fabricação e comércio, como discutido anteriormente, o uso de LFCs em residências se tornou mais comum. Em relação à eficiência energética, ocorre um grande avanço, reduzindo assim o desperdício de energia elétrica nas residências brasileiras. Porém, no que tange a qualidade de energia, gera-se uma preocupação com a qualidade de energia da rede de distribuição da concessionária, visto que as LFCs provocam distúrbios nos sistemas ao qual estão conectadas.

Considerando esta preocupação, este trabalho pretende estimar se a utilização de LFCs em consumidores residenciais é suficiente para afetar a qualidade de energia da rede de distribuição.

Através de uma pesquisa de campo, foram coletados dados sobre a utilização das LFCs em residências no município de Pato Branco, tal como número de lâmpadas na residência, quantidade de LFCs ligadas no período noturno, marcas utilizadas, entre outros. De posse destes dados, foram então realizadas medições em LFCs das marcas mais encontradas nas residências e no comércio local, a fim de comparar os dados obtidos em laboratório com os dados fornecidos pelos fabricantes. Também foram realizados ensaios, simulando separadamente as cargas de iluminação com uso de LFC nas residências com entrada de energia monofásica, bifásica e trifásica. Foi tomando como parâmetro o número médio de LFCs que são utilizadas em tais residências e que foram obtidos por intermédio da pesquisa de campo realizada.

### 4.1 PESQUISA DE CAMPO

De acordo com Levin (1987), em uma pesquisa de campo, se procura extrair conclusões a respeito de um grande número de sujeitos. Se o pesquisador trabalha com todo o grupo que ele tenta compreender, dizemos que ele está

trabalhando com a população ou universo, o qual consiste em um conjunto de indivíduos que compartilham de, pelo menos, uma característica comum.

Entretanto, na maioria das vezes, o pesquisador trabalha com tempo e recursos limitados, se tornando inviável se trabalhar com toda a população. Desta maneira, estuda-se um pequeno grupo de indivíduos retirados da população. Este grupo denomina-se amostra. Desta maneira, o pesquisador busca generalizar conclusões referentes à amostra, estendendo-as para toda a população da qual a amostra foi extraída.

Existem diversos métodos de amostragem, mas interessam apenas os métodos probabilísticos, por permitirem que qualquer indivíduo da população possa vir fazer parte da amostra. De qualquer modo, é obvio que uma amostra não representa perfeitamente uma população, ou seja, a utilização de uma amostra implica na aceitação de uma margem de erro, o qual implica na aceitação de um erro amostral, que nada mais é do que a diferença entre o resultado amostral e o verdadeiro resultado populacional.

Segundo Fonseca e Martins (1996), se a variável escolhida for intervalar e a população considerada infinita, se pode determinar o tamanho da amostra pela Equação 11, onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $Z$  é o valor tabelado da distribuição normal padrão, com nível de confiança ( $\gamma$ ) da pesquisa em que seus valores se pode observar na Tabela 7,  $\sigma$  é o desvio padrão da população, expresso na unidade variável e  $d$  é o erro amostral, também expresso na unidade variável.

$$n = \left( \frac{Z_{\gamma} \sigma}{d} \right)^2 \quad (11)$$

| Grau de Confiança ( $\gamma$ ) | Valor Crítico |
|--------------------------------|---------------|
| 95%                            | 1,96          |
| 95,5%                          | 2             |
| 99%                            | 2,57          |

**Tabela 7 – Níveis de Confiança.**  
**Fonte: Fonseca e Martins (1996)**

De acordo com Triola (1999), quando o desvio/padrão  $\sigma$  não é conhecido, se realiza um estudo piloto, iniciando o processo de amostragem. Com base na coleção

de pelo menos 31 valores amostrais, se calcula o desvio/padrão amostral ( $S$ ) com a Equação 12 e o utiliza em lugar de  $\sigma$ . Nesta equação  $X_i$  é a amostra aleatória,  $\bar{X}$  é a média aritmética amostral e  $n$  é o tamanho da amostra.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (12)$$

## 4.2 MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO

Analisando os dados da pesquisa de campo a respeito de quais marcas e modelos de lâmpadas eram mais utilizadas, foram adquiridas as LFCs para serem medidas em laboratório. Optou-se por modelos com potência de 25 W, com selo Procel para se padronizar as potências medidas, podendo então comparar os resultados das medidas assim como também os dados fornecidos pelos fabricantes.

Em bancada, na UTFPR câmpus Pato Branco, foram medidas as seguintes grandezas elétricas de cada marca de LFC: Potência Ativa, Reativa e Aparente, Fator de Potência, Fator de Deslocamento, Corrente rms, Taxa de Distorção Harmônica Total de corrente e de tensão. Coletaram-se também as formas de onda da corrente. A partir das medições, os dados obtidos foram comparados com os declarados pelos fabricantes na embalagem das LFCs.

Também foram realizados testes em circuitos de LFCs simulando as residências de cada categoria. Para isso, foram utilizados os valores médios de LFCs utilizadas no período da noite por cada categoria.

Para realizar as medições das grandezas elétricas foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia modelo Fluke 435 II disponível na UTFPR-câmpus Pato Branco, apresentado na Figura 11. Esse analisador permite a captura e o registro de dados rms para visibilidade de todas as formas de onda, permitindo a interação de valores de tensão, corrente e frequência.



**Figura 11 – Analisador de Qualidade de Energia Fluke 435 II**  
**Fonte: Fluke Corporation (2014)**

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa de campo, que permitiram a execução dos testes em laboratório. Em seguida, serão apresentados os dados destes testes.

### 5.1 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

Primeiramente será apresentado os resultados da amostra piloto para definição do tamanho da amostra a ser pesquisada. Na sequência, mostra-se a definição da pesquisa de campo, destacando os principais resultados obtidos.

#### 5.1.1 Amostra Piloto

Segundo dados da Superintendência Comercial e de Regulação da Copel, Pato Branco possuía no mês de Junho de 2013, 26.010 consumidores residenciais, divididos entre monofásico, bifásicos e trifásicos conforme a Tabela 8 e ilustrado na Figura 12.

| <b>Município</b>   | <b>Classe</b>      | <b>Nº de Fases</b> | <b>Nº de Consumidores</b> | <b>%</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|----------|
| <b>Pato Branco</b> | <b>Residencial</b> | <b>Monofásico</b>  | 13.666                    | 52,54    |
|                    |                    | <b>Bifásico</b>    | 8.706                     | 33,47    |
|                    |                    | <b>Trifásico</b>   | 3.638                     | 13,99    |
| <b>Total</b>       |                    |                    | 26.010                    | 100      |

**Tabela 8 – Número de consumidores residenciais – Junho de 2013.  
Fonte: Superintendência Comercial e de Regulação – Copel.**



**Figura 12: Número de consumidores residenciais estratificados por categorias.**  
**Fonte: O Autor**

Considerando que não se conhecia o valor do desvio/padrão do número de LFCs por residência, fez-se necessário utilizar uma amostra piloto de 31 residências. Esta amostra piloto foi estratificada proporcionalmente nas três categorias de consumidores residenciais. Assim sendo, a amostra piloto se dividiu conforme mostra a Tabela 9.

| <b>Categoria</b>  | <b>Nº de Consumidores</b> | <b>%</b> |
|-------------------|---------------------------|----------|
| <b>Monofásico</b> | 16                        | 52,54    |
| <b>Bifásico</b>   | 10                        | 33,47    |
| <b>Trifásico</b>  | 5                         | 13,99    |
| <b>Total</b>      | 31                        | 100      |

**Tabela 9 – Amostra piloto estratificada por categorias.**  
**Fonte: O Autor**

### 5.1.2 Pesquisa Final

Com a definição da amostra piloto, foi elaborado um formulário de pesquisa para ser preenchido em cada residência. Este formulário se encontra no Apêndice A deste trabalho. Com este formulário em mãos foram visitadas 31 residências para coleta de dados. Utilizando como variável o número de LFCs instalado por residência, foi calculado o desvio padrão amostral utilizando a Equação 8, obtendo o resultado exposto na Equação 13.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 11,16 \quad (13)$$

Conhecido o valor do desvio/padrão amostral, pode-se então calcular o tamanho da amostra a ser pesquisada. Levando em consideração o pequeno intervalo de tempo disponível para se realizar a pesquisa, foi considerado utilizar o grau de confiança de 95% e um erro amostral de 2 LFCs. Assim sendo, foi calculado o tamanho da amostra, conforme é apresentado na Equação 14.

$$n = \left(\frac{z \cdot S}{d}\right)^2 = 119,71 \approx 120 \quad (14)$$

Arredondando o tamanho de amostras, se obteve o valor de 120 residências a serem pesquisadas. Essa amostra foi estratificada, como mostrado na Tabela 10, da mesma forma feita para a amostra piloto.

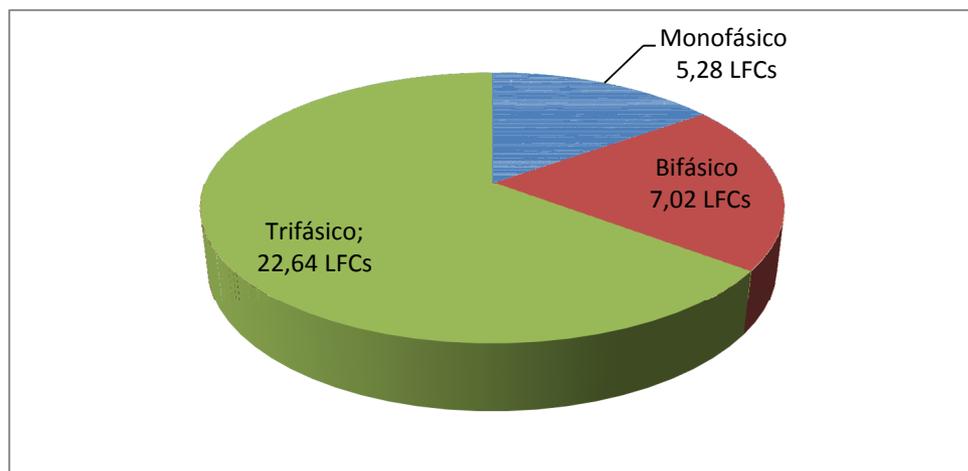
| <b>Categoria</b>  | <b>Nº de Consumidores</b> | <b>%</b> |
|-------------------|---------------------------|----------|
| <b>Monofásico</b> | 63                        | 52,54    |
| <b>Bifásico</b>   | 40                        | 33,47    |
| <b>Trifásico</b>  | 17                        | 13,99    |
| <b>Total</b>      | 120                       | 100      |

**Tabela 10 – Amostra Estratificada por categorias.**  
Fonte: O Autor

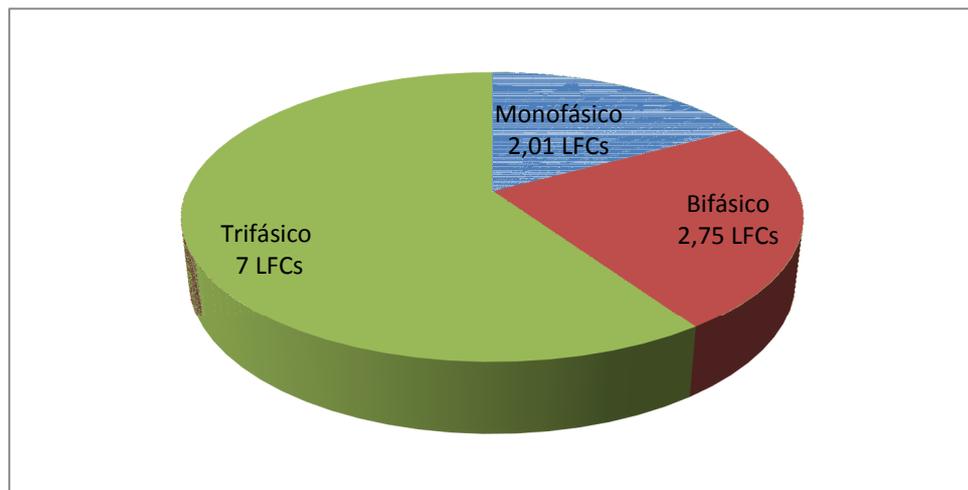
A Tabela 11 apresenta a quantidade média de LFCs instaladas nas residências por categorias, assim como a quantidade média de LFCs utilizadas no período da noite. Resultados estes, da pesquisa sobre o uso de iluminação eficiente em 120 residências no município de Pato Branco. As Figuras 13 e 14 ilustram o número médio de LFCs instaladas e utilizadas no período da noite nas residências pesquisadas.

| <b>Categoria</b>  | <b>Nº médio de LFCs instaladas</b> | <b>Nº médio de LFCs utilizadas à noite</b> |
|-------------------|------------------------------------|--|
| <b>Monofásico</b> | 5,28                               | 2,01                                       |
| <b>Bifásico</b>   | 7,02                               | 2,75                                       |
| <b>Trifásico</b>  | 22,64                              | 7  |
| <b>Geral</b>      | 8,32                               | 2,96                                       |

**Tabela 11 – Resultados da pesquisa em campo.**  
**Fonte: O Autor**



**Figura 13: Número médio de LFCs instaladas por residência**  
**Fonte: O Autor**



**Figura 14: Número médio de LFCs usadas à noite por residência**  
**Fonte: O Autor**

## 5.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO

Para as medições elétricas em laboratório, foram adquiridas e testadas um total de 7 LFCs de 25 W de diferentes fabricantes, que possuem o selo Procel, podendo então ser comparados os valores obtidos nas medições com os valores fornecidos nas embalagens. A fim de comparação, também foram testadas uma LI de 100 W, e uma luminária com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W e com reator eletromagnético.

### 5.2.1 Resultados das medições nas lâmpadas

Primeiramente, foram medidas as características da rede na qual as lâmpadas foram testadas. A Figura 15 mostra a forma de onda da tensão de alimentação, medida na bancada. Observa-se que o nível de tensão está um pouco abaixo do valor referência da rede, sendo medidos 123,6 V e há uma pequena deformação no sinal de tensão de alimentação. A Figura 16 mostra que o valor de THD na tensão de alimentação é igual 2,6% e pode ser atribuído ao sistema de iluminação, que utiliza na sua grande maioria lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos.

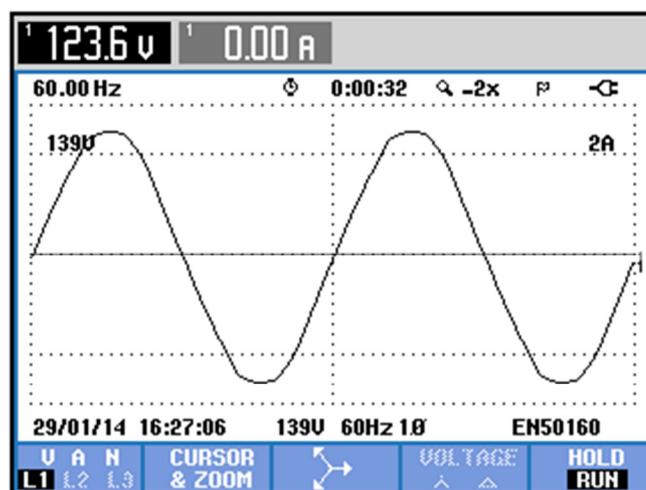


Figura 15 – Forma de onda de tensão medida na rede.  
Fonte: O Autor

| HARMONICS TABLE   |     |                |          |
|-------------------|-----|----------------|----------|
| Volt              | L1  | 0:00:06        | N        |
| THD%f             | 2.6 |                | 2.5      |
| H3%f              | 2.1 |                | 1.9      |
| H5%f              | 1.2 |                | 1.2      |
| H7%f              | 0.8 |                | 0.8      |
| H9%f              | 0.5 |                | 0.5      |
| H11%f             | 0.3 |                | 0.2      |
| H13%f             | 0.1 |                | 0.2      |
| H15%f             | 0.4 |                | 0.3      |
| 29/01/14 16:28:48 |     | 139V 60Hz 1Ø   | EN50160  |
| U A W             |     | HARMONIC GRAPH | TREND    |
| U&A               |     |                | HOLD RUN |

**Figura 16 – Índices de THD e harmônicas de corrente.**  
**Fonte: O Autor**

Na sequência foram feitas as medições nas lâmpadas. Primeiramente serão apresentados os dados obtidos a partir de medidas realizadas em uma LI de 100 W, a fim de comparação com as LFCs. Em seguida, também a nível de comparação, serão apresentados os dados obtidos a partir das medições em uma luminária 2x40 W com reator eletromagnético. Após isso, serão apresentados os dados das LFCs.

#### 5.2.1.1 LI 100 W

As medidas realizadas na LI foram as mesmas aplicadas às LFCs, para que assim se possa observar as diferenças em relação à potência consumida, FP e harmônicas geradas. Como esperado, a LI de 100 W apresentou fator de potência unitário e não há defasagem entre a forma de onda da tensão e da corrente.

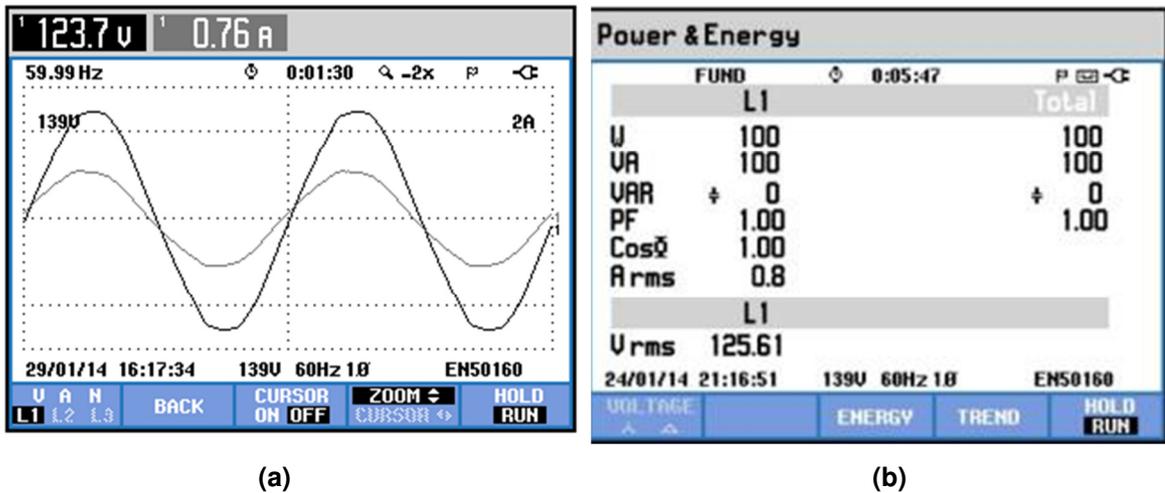


Figura 17 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na LI  
Fonte: O Autor

Na Figura 18 são apresentadas as intensidades das componentes harmônicas de corrente e de tensão medidas na LI. Como se sabe uma LI é uma carga linear, portanto não pode gerar distorções harmônicas. Os valores observados, apesar de pequenos, são distorções já contidas na rede elétrica, como foi apontado na Figura 16.

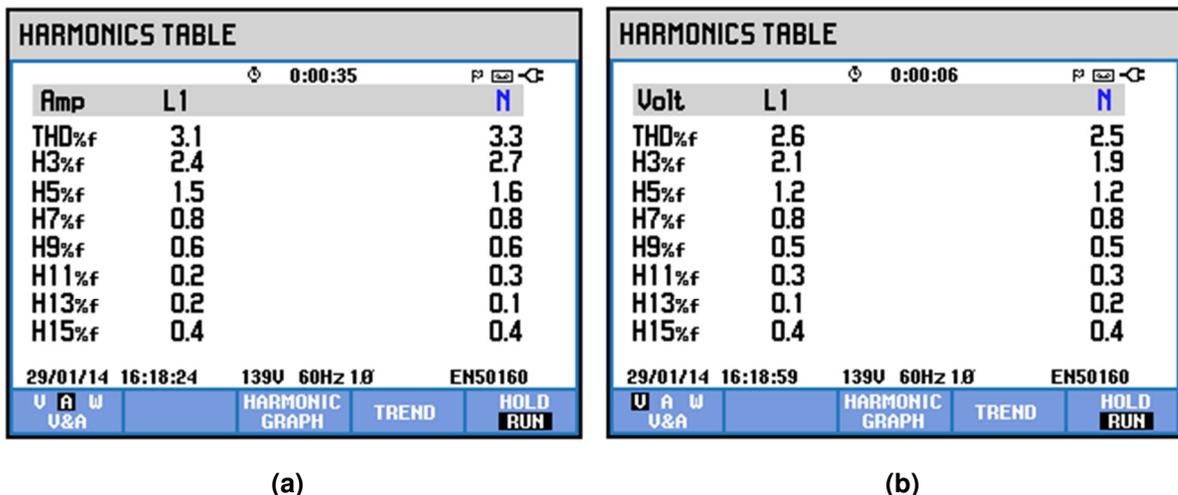
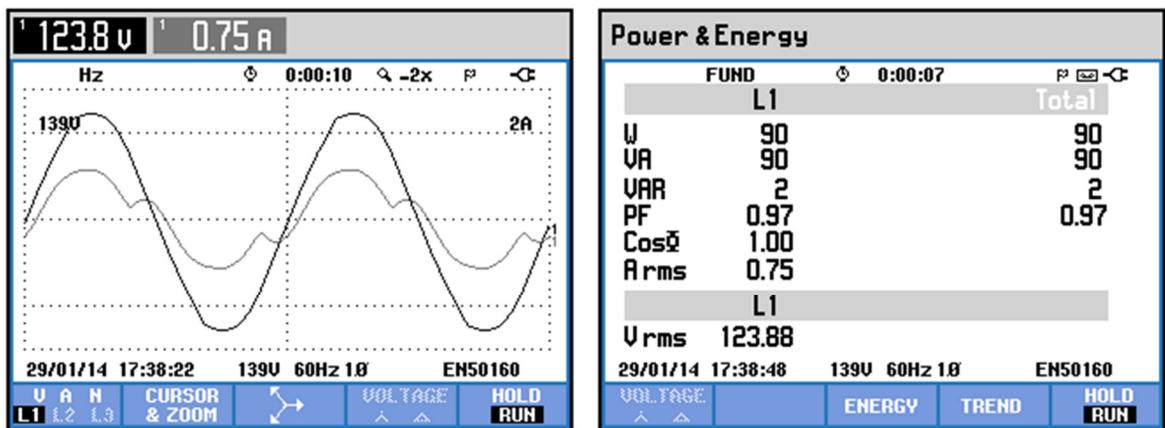


Figura 18 – Intensidades das componentes harmônicas de corrente (a) e tensão (b) medidos na LI.  
Fonte: O Autor

### 5.2.1.2 Luminária com reator eletromagnético

Também foram realizadas medições em uma luminária com duas LFT de 40 W com reator eletromagnético a fim de comparar os valores de THD com as LFCs. A Figura 19 mostra as formas de onda de tensão e corrente obtidas. Também mostra a potência consumida pelo conjunto reator/lâmpadas. Pode-se observar que não existe deslocamento entre as ondas de corrente e tensão, justificando o Fator de deslocamento ( $\cos \phi$ ) igual a 1, entretanto há uma distorção na onda de corrente devido aos efeitos de magnetização do núcleo. A Figura 20 apresenta os espectros harmônicos de corrente e tensão e observa-se que os níveis harmônicos são maiores na corrente, chegando a 25,4% da fundamental na terceira harmônica.

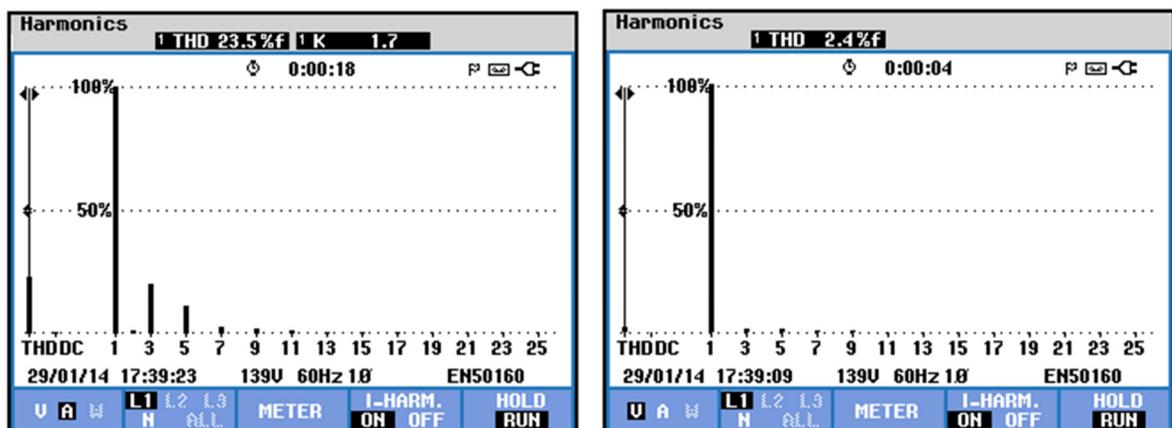


(a)

(b)

Figura 19 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na luminária com reator eletromagnético.

Fonte: O Autor



(a)

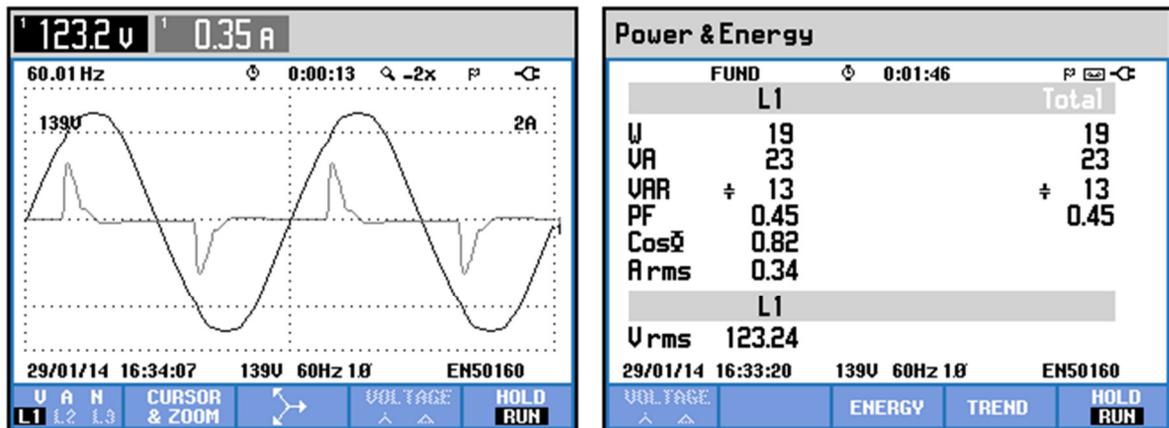
(b)

Figura 20 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na luminária com reator eletromagnético.

Fonte: O Autor

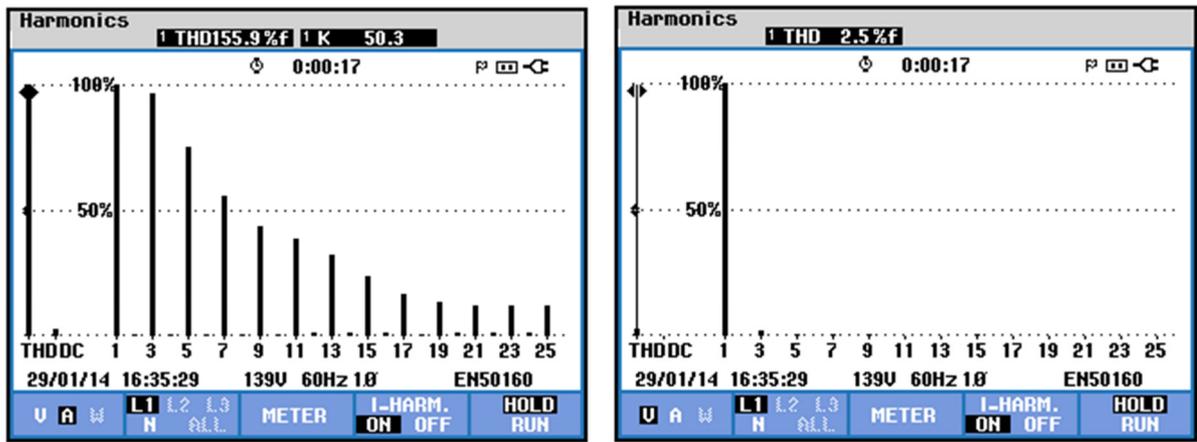
### 5.2.1.3 LFC Fabricante 1

Os seguintes dados foram declarados na embalagem desta lâmpada: potência ativa de 25 W, FP de 0,55, corrente de 0,313 A e eficiência luminosa de 61 Lm/W. Nas medições, conforme a Figura 21, os dados obtidos tiveram pouca discrepância em relação às informações do fabricante. A grandeza que apresentou maior diferença foi a potência ativa, sendo medido 19 W, enquanto na embalagem o valor informado era de 25 W, podendo ser justificado pela tensão reduzida fornecida pela rede elétrica do laboratório durante a medição. Observa-se também na Figura 21 a forte distorção na forma de onda de corrente da LFC.



(a) (b)  
 Figura 21 – Formas de onda de tensão e corrente (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 1.  
 Fonte: O Autor

Não foi encontrada nenhuma informação na embalagem desta lâmpada a respeito do valor de THD. Existe apenas uma frase alertando de que este produto pode gerar interferência em equipamentos eletroeletrônicos. A Figura 22 mostra o espectro harmônico de corrente e de tensão, apresentando altíssimos níveis de harmônicas e também um elevado THD de corrente, enquanto que as harmônicas de tensão são bastante reduzidas.



(a)

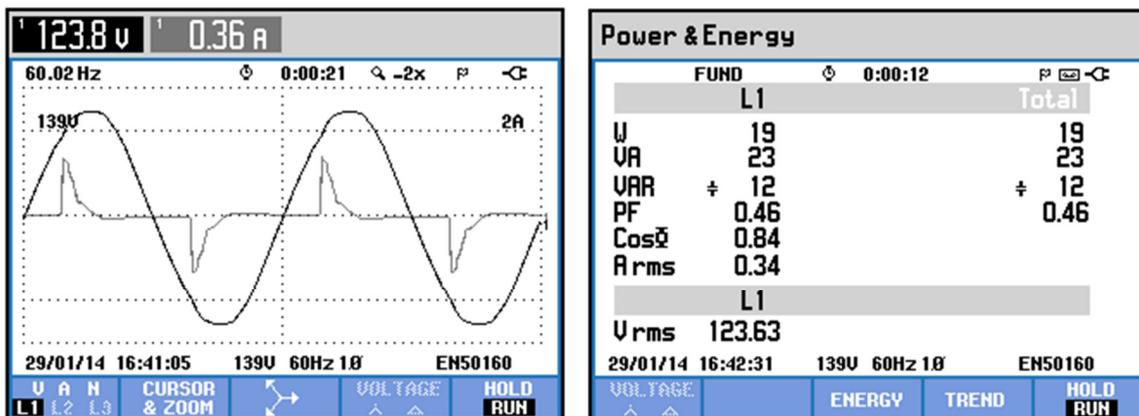
(b)

Figura 22 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 1.

Fonte: O Autor

#### 5.2.1.4 LFC Fabricante 2

Comparando com os dados fornecidos pelo fabricante, valores obtidos pelas medições tiveram pouca variação. Informado pelo fabricante que o produto possuía uma potência ativa de 25 W, possuía FP igual a 0,60, consumia uma corrente de 0,355 A e possuía uma eficiência luminosa de 61 lm/W. Novamente, a maior diferença entre os valores fornecidos e medidos se deu no valor de potência ativa, sendo o valor medido 20% menor do que o valor encontrado no produto, como pode ser observado na Figura 23. Ainda nessa Figura, pode se observar as fortes distorções na forma de onda da corrente.



(a)

(b)

Figura 23 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 2.

Fonte: O Autor

Na embalagem da LFC do Fabricante 2 não foi fornecido nenhum dado a respeito do THD do produto, sendo indicado apenas que o mesmo pode causar interferência em equipamentos eletrônicos.

A Figura 24 mostra os espectros harmônicos de corrente e de tensão desta LFC, podendo ser observado o alto valor da 3ª harmônica na corrente, enquanto que na tensão os valores são menores.

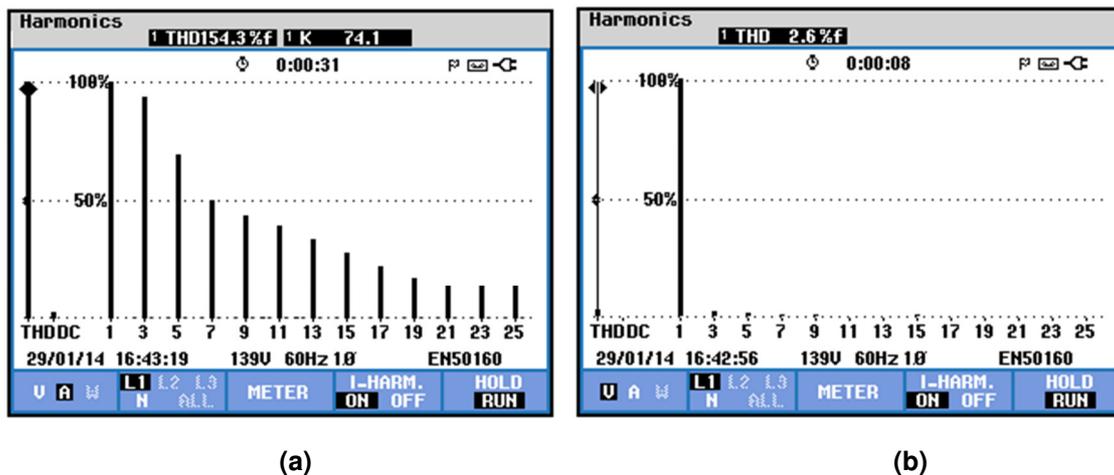
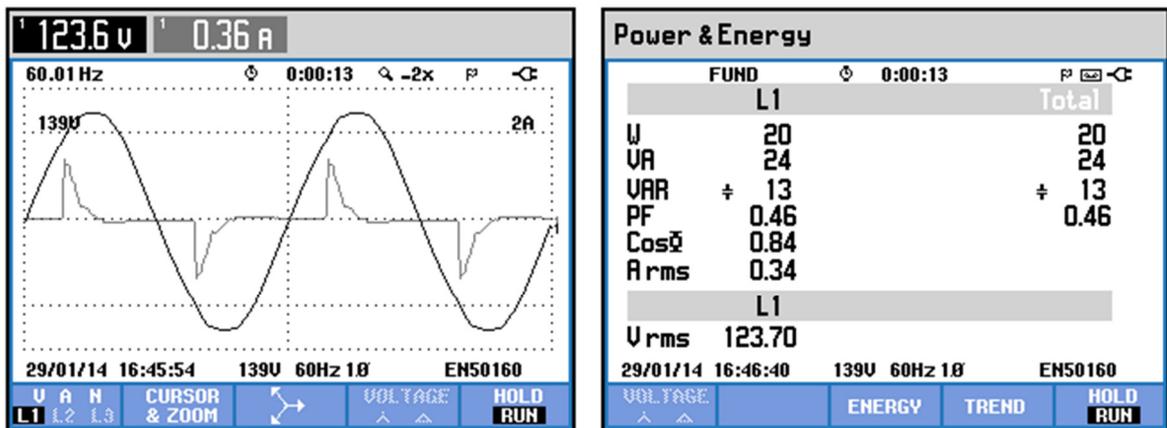


Figura 24 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na LFC do Fabricante 2.

Fonte: O Autor

#### 5.2.1.5 LFC Fabricante 3

Nesta lâmpada, o fabricante indica que ela possui 25 W, FP de 0,55, consome uma corrente de 0,358 A e possui uma eficiência luminosa de 62 lm/W. Ao se efetuar as medições, observou-se pouca discrepância dos dados medidos em relação aos do fabricante. Novamente, o valor com maior diferença foi a potência ativa, sendo o valor medido 20% menor que o valor informado na embalagem, como se observa na Figura 25. Ainda nessa Figura, pode se observar a forma de onda de corrente com alto grau de distorção.



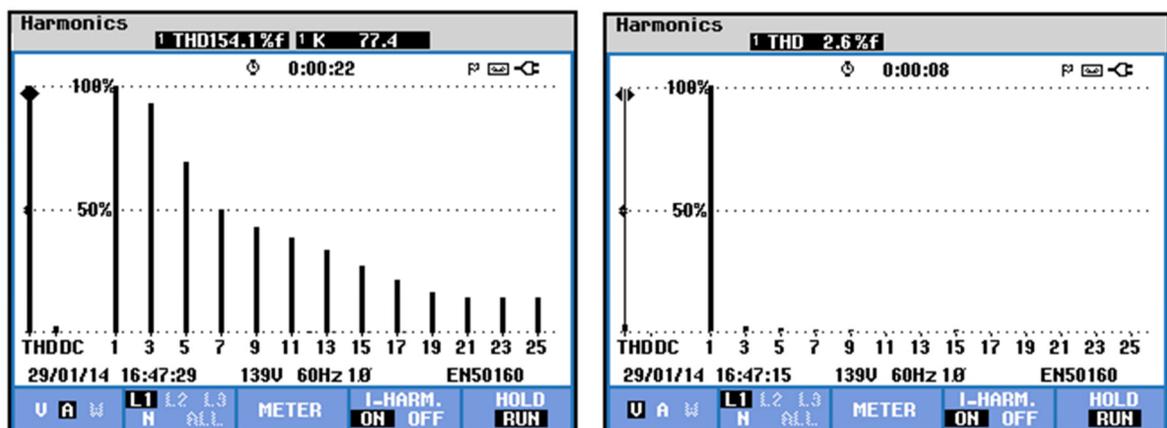
(a)

(b)

Figura 25 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 3.

Fonte: O Autor

Na Figura 26, observam-se os espectros harmônicos de corrente e tensão.



(a)

(b)

Figura 26 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 3.

Fonte: O Autor

#### 5.2.1.6 LFC Fabricante 4

Na embalagem do fabricante 4, é informado que esta lâmpada possui uma potência ativa de 25 W, FP > 0,52, consome uma corrente de 0,316 A e possui uma eficiência luminosa de 62 lm/W. Possivelmente devido a tensão aplicada ser menor que a tensão nominal da lâmpada, a potência ativa medida foi de 20 W,

ficando abaixo do valor informado. Observam-se os demais valores, na Figura 27. Também se pode verificar nesta Figura, o alto índice de distorção na forma de corrente.

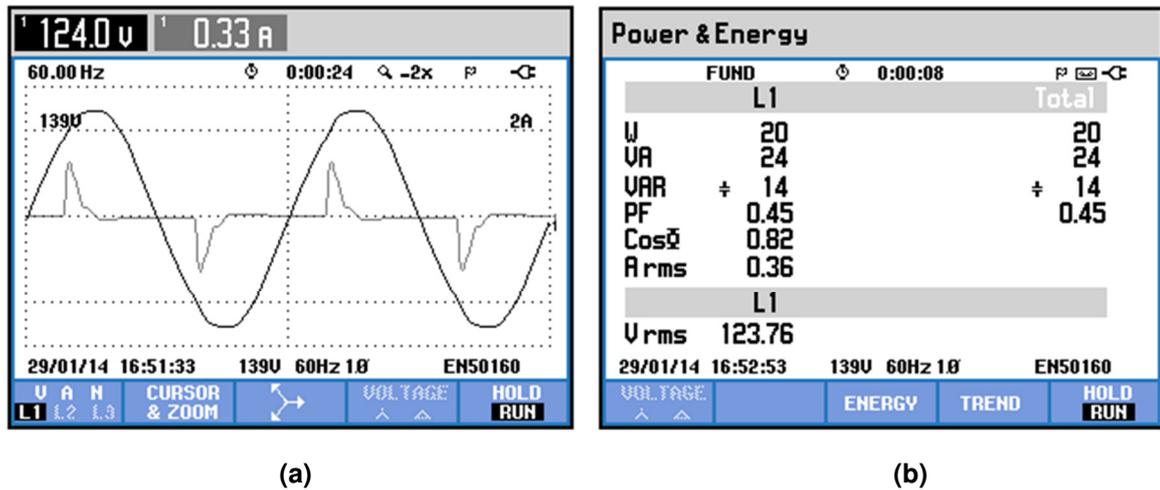


Figura 27 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 4.  
Fonte: O Autor

Na embalagem desta lâmpada, não foi encontrado nenhum dado a respeito do valor de THD. Na embalagem apenas está indicado de que este produto pode causar interferência em equipamentos eletroeletrônicos. A Figura 28 mostra o espectro harmônico de corrente e de tensão, podendo se observar os altos valores das componentes harmônicas ímpares de corrente, enquanto que na tensão, os valores são reduzidos.

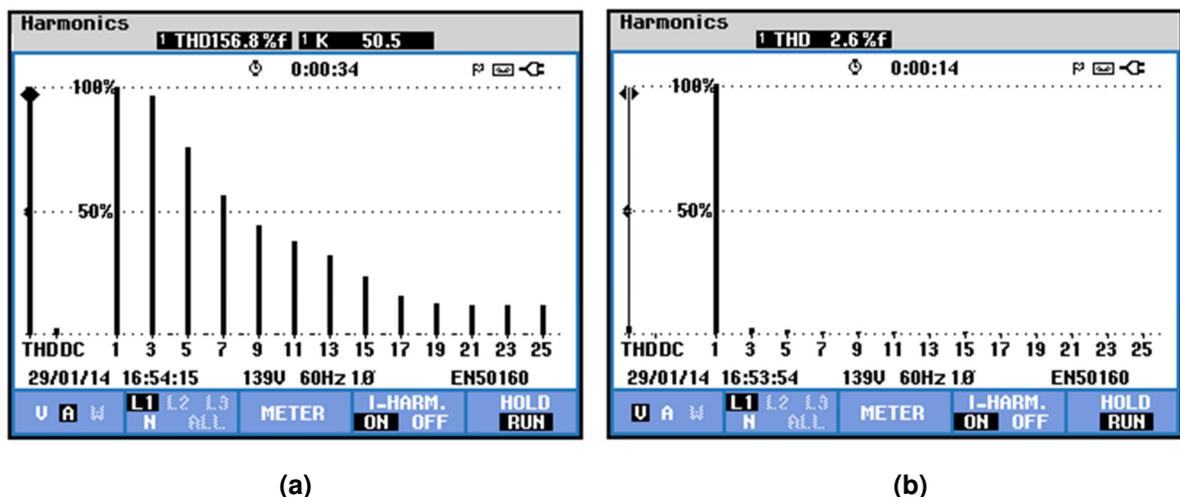
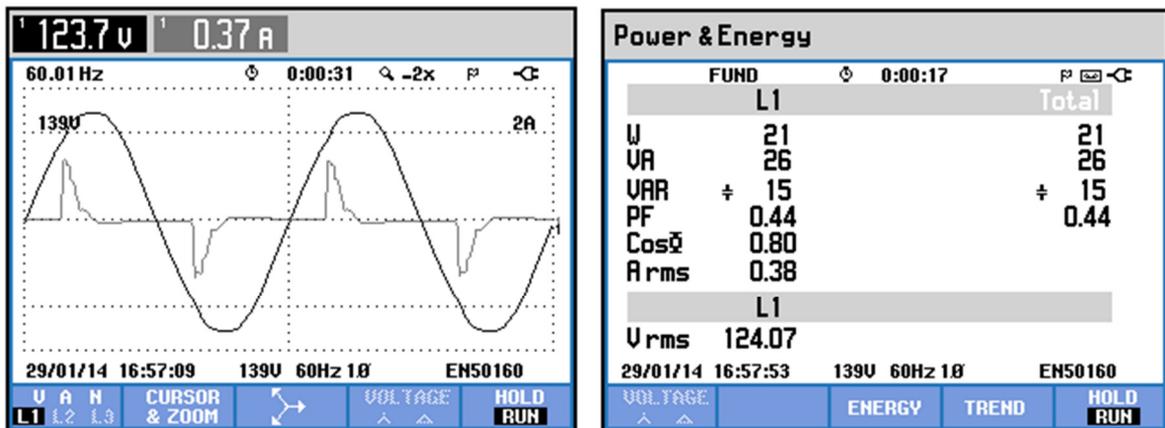


Figura 28 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 4.  
Fonte: O Autor

### 5.2.1.7 LFC Fabricante 5

Os dados a respeito das grandezas elétricas fornecidos pelo fabricante na embalagem desta lâmpada foram os seguintes: potência ativa de 25 W, FP  $\geq 0,5$ , corrente de 0,34 A e eficiência luminosa de 60,7 lm/W. A Figura 26 exibe as formas de onda de tensão e corrente gerados por esta LFC. Observa-se a grande distorção presente na onda de corrente.

Os valores medidos são os apresentados na Figura 29, mostrando pouca diferença dos valores da embalagem. Conforme ocorreu em medições anteriores, o valor de potência ativa foi menor que o declarado na embalagem.



(a)

(b)

**Figura 29 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas na lâmpada do Fabricante 5.**

Fonte: O Autor

Na Figura 30, se apresentam os espectros harmônicos de corrente e tensão, demonstrando os altos níveis de harmônicas ímpares gerados por esta LFC.

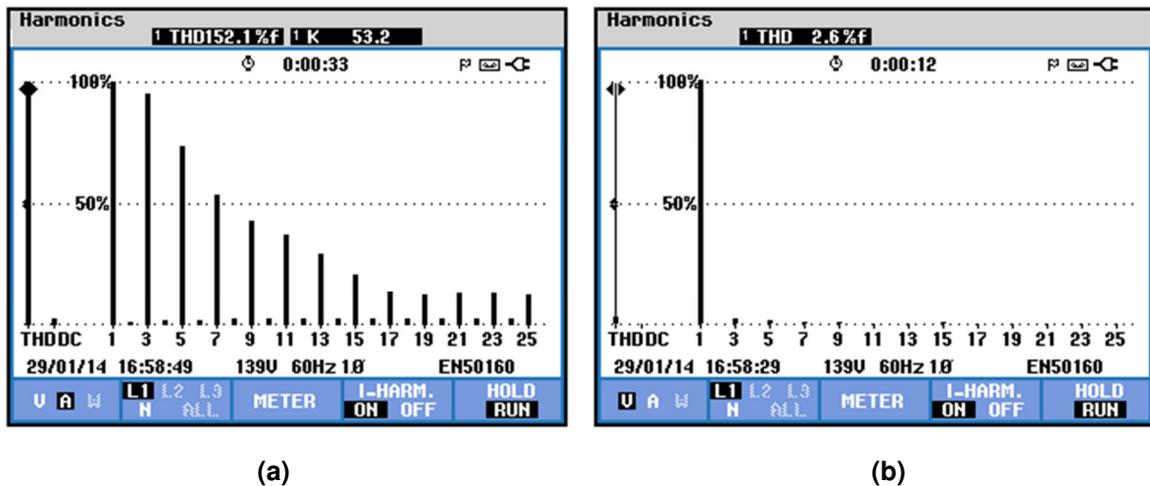


Figura 30 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos na lâmpada do Fabricante 5.  
Fonte: O Autor

#### 5.2.1.8 Conclusões parciais das medições individuais

Os valores com as características elétricas declaradas nas embalagens das LFCs testadas estão na Tabela 12. Como esperado, por serem cargas não lineares, as LFCs de todas as marcas apresentaram uma elevada distorção harmônica na forma de onda de corrente. Embora o reator eletromagnético possuísse distorções harmônicas de corrente, seus valores foram reduzidos comparados às distorções geradas pelas LFCs, enquanto que a LI não gera estas deformação na rede.

| Fabricante   | Potência (W) | Corrente (A) | Fluxo Luminoso (Lm) | Eficiência Luminosa (Lm/W) | Fator de Potência (FP) | Vida Média (horas) |
|--------------|--------------|--------------|---------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Fabricante 1 | 25           | 0,313        | 1402                | 61                         | 0,55                   | 6.000              |
| Fabricante 2 | 25           | 0,355        | 1461                | 61                         | 0,60                   | 6.000              |
| Fabricante 3 | 25           | 0,358        | 1550                | 61                         | 0,55                   | 6.000              |
| Fabricante 4 | 25           | 0,316        | 1526                | 62                         | > 0,52                 | 6.000              |
| Fabricante 5 | 25           | 0,340        | 1442                | 60,7                       | ≥ 0,5                  | 6.000              |

Tabela 12 – Comparativo entre os valores declarados pelos fabricantes das LFCs testadas.  
Fonte: O Autor

Os valores de THDs de corrente e tensão de cada LFC testada estão resumidos na Tabela 13, que também mostra a diferença entre a potência ativa declarada pelos fabricantes e a potência ativa medida. Esta diferença de valores pode ser justificada pela variação da tensão da rede, que por estar com um valor menor que a tensão nominal das lâmpadas, resultou em um consumo de potência menor.

| Fabricante   | Potência informada (W) | Potência medida (W) | THD (%)    |              |
|--------------|------------------------|---------------------|------------|--------------|
|              |                        |                     | Tensão (V) | Corrente (A) |
| Fabricante 1 | 25                     | 19                  | 2,5        | 155,9        |
| Fabricante 2 | 25                     | 19                  | 2,6        | 154,3        |
| Fabricante 3 | 25                     | 20                  | 2,6        | 154,1        |
| Fabricante 4 | 25                     | 20                  | 2,6        | 156,8        |
| Fabricante 5 | 25                     | 21                  | 2,6        | 152,1        |

**Tabela 13 – Comparativo entre os valores medidos nas LFCs de diferentes fabricantes.**  
Fonte: O Autor

Observa-se também pela Tabela 13, que em todas as LFCs testadas, os valores de THD de corrente superaram o valor de 150%, não apresentando variação significativa entre si. Isto demonstra que ainda não existe um compromisso entre eficiência energética e qualidade de energia por parte dos fabricantes, pois as normas vigentes não estabelecem limites máximos de THD para LFCs.

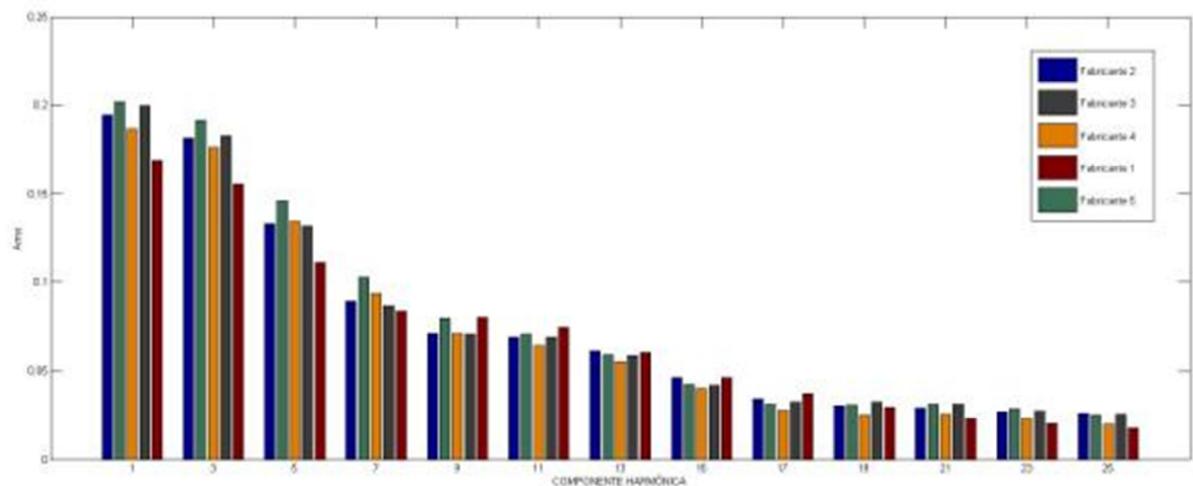
Na Tabela 14 compara-se os valores das componentes harmônicas ímpares de corrente das LFCs e do reator eletromagnético testados.

| FLC Fabricante 1 |            |        |       | FLC Fabricante 2 |            |        |       | FLC Fabricante 3 |            |        |       |
|------------------|------------|--------|-------|------------------|------------|--------|-------|------------------|------------|--------|-------|
| n                | Frequência | Arms   | %     | n                | Frequência | Arms   | %     | n                | Frequência | Arms   | %     |
| 1                | 60         | 0,1694 | 100,0 | 1                | 60         | 0,1945 | 100,0 | 1                | 60         | 0,1994 | 100,0 |
| 3                | 180        | 0,1553 | 91,7  | 3                | 180        | 0,1815 | 93,3  | 3                | 180        | 0,1830 | 91,8  |
| 5                | 300        | 0,1108 | 65,4  | 5                | 300        | 0,1333 | 68,5  | 5                | 300        | 0,1318 | 66,1  |
| 7                | 420        | 0,0836 | 49,4  | 7                | 420        | 0,0895 | 46,0  | 7                | 420        | 0,0868 | 43,5  |
| 9                | 540        | 0,0805 | 47,5  | 9                | 540        | 0,0714 | 36,7  | 9                | 540        | 0,0708 | 35,5  |
| 11               | 660        | 0,0750 | 44,3  | 11               | 660        | 0,0690 | 35,4  | 11               | 660        | 0,0690 | 34,6  |
| 13               | 780        | 0,0604 | 35,6  | 13               | 780        | 0,0610 | 31,3  | 13               | 780        | 0,0585 | 29,3  |
| 15               | 900        | 0,0462 | 27,3  | 15               | 900        | 0,0462 | 23,7  | 15               | 900        | 0,0417 | 20,9  |
| 17               | 1020       | 0,0371 | 21,9  | 17               | 1020       | 0,0341 | 17,5  | 17               | 1020       | 0,0323 | 16,2  |
| 19               | 1140       | 0,0293 | 17,3  | 19               | 1140       | 0,0301 | 15,5  | 19               | 1140       | 0,0324 | 16,2  |
| 21               | 1260       | 0,0229 | 13,5  | 21               | 1260       | 0,0288 | 14,8  | 21               | 1260       | 0,0310 | 15,5  |
| 23               | 1380       | 0,0201 | 11,9  | 23               | 1380       | 0,0267 | 13,7  | 23               | 1380       | 0,0273 | 13,7  |
| 25               | 1500       | 0,0173 | 10,2  | 25               | 1500       | 0,0258 | 13,2  | 25               | 1500       | 0,0256 | 12,8  |

| FLC Fabricante 4 |            |        |       | FLC Fabricante 5 |            |        |       | Reator Eletromagnético |            |        |       |
|------------------|------------|--------|-------|------------------|------------|--------|-------|------------------------|------------|--------|-------|
| n                | Frequência | Arms   | %     | n                | Frequência | Arms   | %     | n                      | Frequência | Arms   | %     |
| 1                | 60         | 0,1866 | 100,0 | 1                | 60         | 0,2018 | 100,0 | 1                      | 60         | 0,7604 | 100,0 |
| 3                | 180        | 0,1764 | 94,5  | 3                | 180        | 0,1915 | 94,9  | 3                      | 180        | 0,1931 | 25,4  |
| 5                | 300        | 0,1343 | 71,9  | 5                | 300        | 0,1459 | 72,3  | 5                      | 300        | 0,0878 | 11,5  |
| 7                | 420        | 0,0936 | 50,1  | 7                | 420        | 0,1027 | 50,9  | 7                      | 420        | 0,0239 | 3,1   |
| 9                | 540        | 0,0715 | 38,3  | 9                | 540        | 0,0798 | 39,6  | 9                      | 540        | 0,0109 | 1,4   |
| 11               | 660        | 0,0642 | 34,4  | 11               | 660        | 0,0710 | 35,2  | 11                     | 660        | 0,0083 | 1,1   |
| 13               | 780        | 0,0549 | 29,4  | 13               | 780        | 0,0588 | 29,2  | 13                     | 780        | 0,0057 | 0,7   |
| 15               | 900        | 0,0400 | 21,4  | 15               | 900        | 0,0421 | 20,8  | 15                     | 900        | 0,0032 | 0,4   |
| 17               | 1020       | 0,0278 | 14,9  | 17               | 1020       | 0,0310 | 15,4  | 17                     | 1020       | 0,0036 | 0,5   |
| 19               | 1140       | 0,0252 | 13,5  | 19               | 1140       | 0,0305 | 15,1  | 19                     | 1140       | 0,0017 | 0,2   |
| 21               | 1260       | 0,0254 | 13,6  | 21               | 1260       | 0,0311 | 15,4  | 21                     | 1260       | 0,0018 | 0,2   |
| 23               | 1380       | 0,0229 | 12,3  | 23               | 1380       | 0,0286 | 14,2  | 23                     | 1380       | 0,0012 | 0,2   |
| 25               | 1500       | 0,0195 | 10,4  | 25               | 1500       | 0,0252 | 12,5  | 25                     | 1500       | 0,0003 | 0,0   |

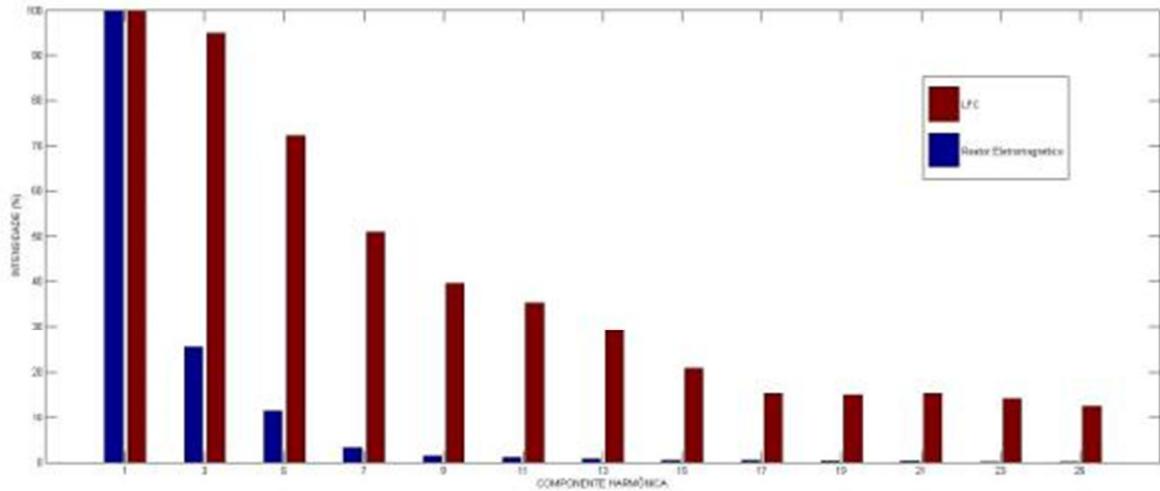
**Tabela 14: Comparação entre o conteúdo harmônicas das LFCs e reator eletromagnético testados.**  
**Fonte: O Autor**

A Figura 31 demonstra que os valores das correntes harmônicas não variam muito entre as LFCs testadas. Apresentam-se apenas as harmônicas ímpares, devido ao fato de que os harmônicos pares serem de origem de corrente contínua e possuírem intensidade quase nula. Deve-se salientar que os valores registrados são referentes à componente ativa da corrente.



**Figura 31: Comparativo entre as correntes harmônicas das LFCs testadas.**  
**Fonte: O Autor**

Na Figura 32, se observa uma grande diferença na intensidade das componentes harmônicas de uma LFC quando comparada com as componentes do reator eletromagnético.



**Figura 32: Comparativo entre intensidades das componentes harmônicas de uma LFC e de um reator eletromagnético.**  
Fonte: O Autor

## 5.2.2 Medições elétricas de conjuntos de LFCs

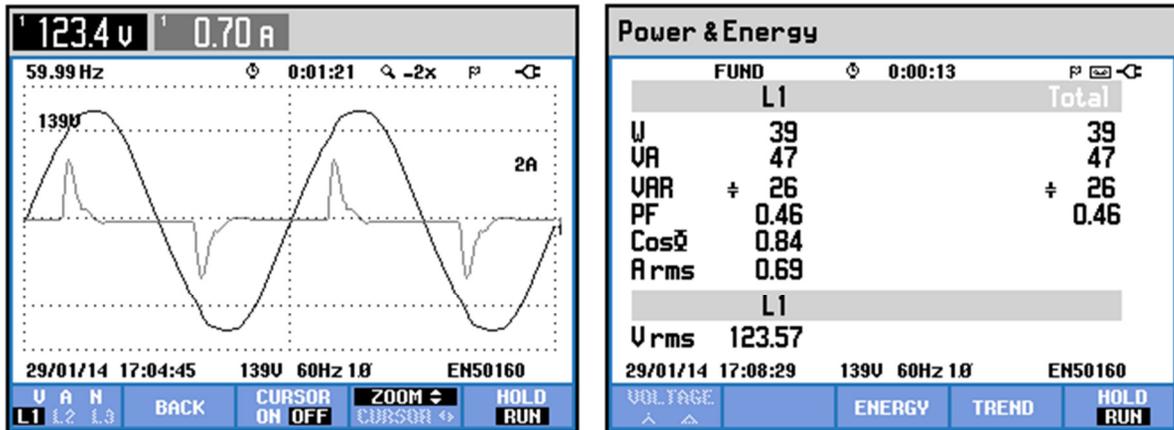
Foram realizadas medições simulando cenários de utilização das LFCs nas residências, a fim de estimar resultados na corrente demandada quanto ao conteúdo de harmônicos produzidos e os possíveis impactos na qualidade de energia da rede de distribuição da concessionária. Para tanto, as LFC foram ligadas e medidas em três diferentes conjuntos, simulando as três categorias de residências: monofásica, bifásica e trifásica.

Em cada conjunto medido utilizou-se o número médio de LFCs, obtido da pesquisa de campo realizada, referente à quantidade de LFCs que ficam ligadas durante a noite em cada categoria de residência.

### 5.2.2.1 Conjunto equivalente a uma residência monofásica

Primeiramente, a partir dos valores de LFCs ligadas durante à noite de todas as 63 residências da categoria monofásica que foram pesquisadas, foi feita

uma média aritmética obtendo o valor de 2,01, sendo utilizado 2 LFCs. Foi medido um circuito com duas LFCs de marcas aleatórias. Na Figura 33, são mostradas as formas de onda de corrente e tensão geradas por este circuito e os valores medidos nesta simulação de circuito da residência monofásica.



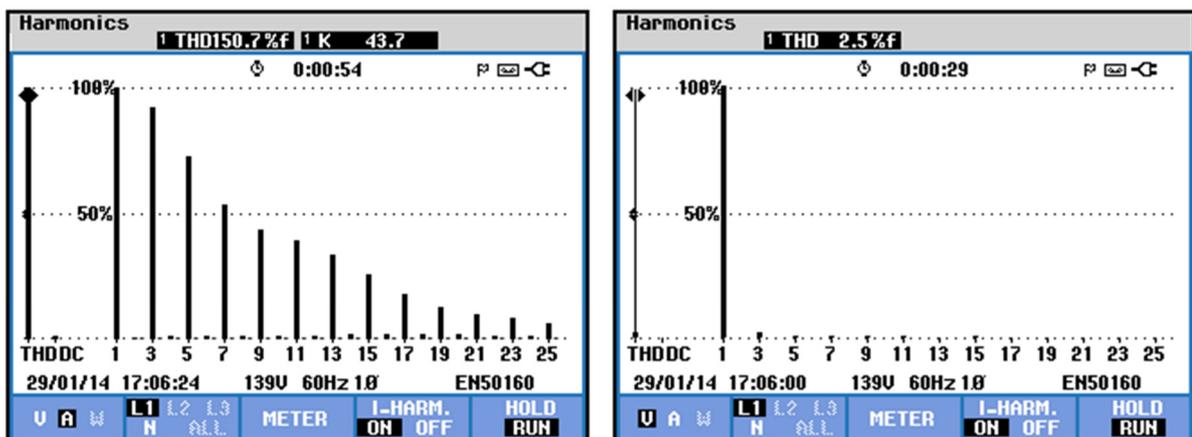
(a)

(b)

Figura 33 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência monofásica.

Fonte: O Autor

Na Figura 34 são apresentados os espectros harmônicos gerados na corrente e na tensão. Pode-se observar que os valores percentuais são similares aos medidos com apenas uma LFC.



(a)

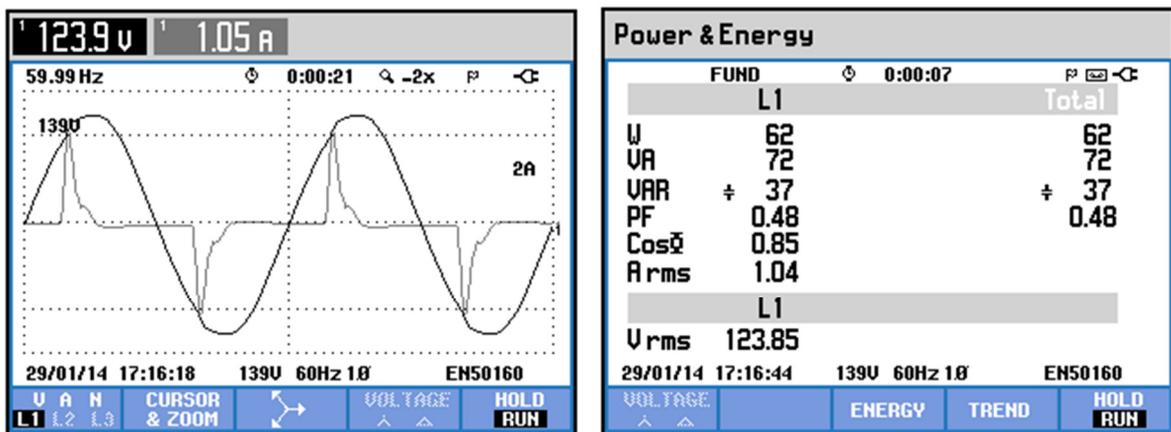
(b)

Figura 34 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência monofásica.

Fonte: O Autor

### 5.2.2.2 Conjunto equivalente a uma residência bifásica

De posse dos dados obtidos na pesquisa de campo, calculou-se a média de LFCs ligadas durante a noite nas 40 residências bifásicas pesquisadas, obtendo o valor de 2,75 LFCs, sendo este valor arredondado para 3. Acrescentou-se uma LFC ao circuito monofásico anterior e foram realizadas novas medições. Através dos dados da medição instantânea fornecidos pela Figura 35, observamos que os valores fator de potência e fator de deslocamento se mantiveram.



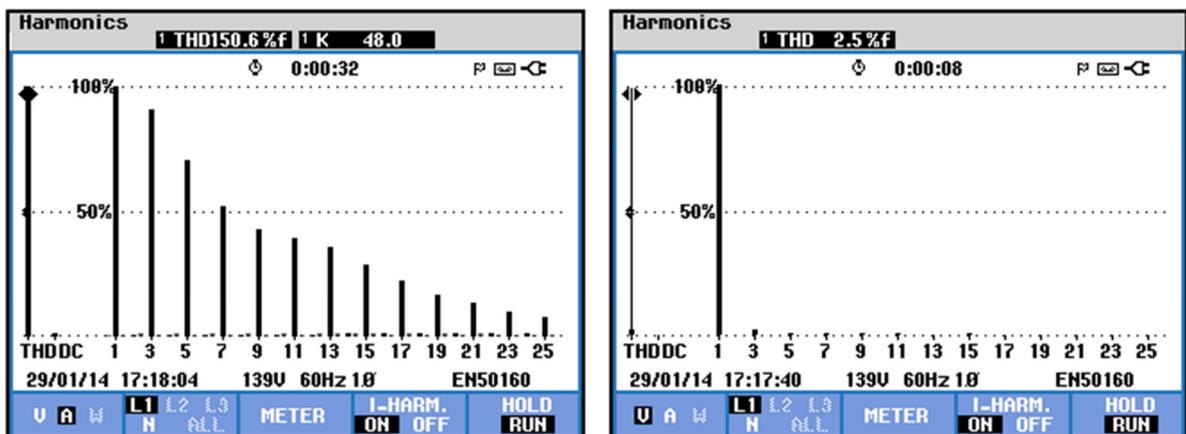
(a)

(b)

Figura 35 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência bifásica.

Fonte: O Autor

A Figura 36 apresenta os espectros harmônicos gerados na corrente e na tensão do circuito que simula uma residência bifásica, obtendo-se valores percentuais similares aos medidos no circuito anterior.



(a)

(b)

Figura 36 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência bifásica.

Fonte: O Autor

### 5.2.2.3 Conjunto equivalente a uma residência trifásica

Através do número de LFCs ligadas à noite em cada uma das 17 residências trifásicas, foi calculada a média de 7 LFCs. Assim, acrescentou-se ao circuito que simulava uma residência bifásica mais 5 LFCs. Após isto, com o circuito possuindo 7 LFCs, foram feitas as medidas das grandezas elétricas, sendo obtidos os valores instantâneos registrados na Figura 37. Conforme esperado, os valores de fator de potência e fator de deslocamento foram similares aos medidos no circuito que simulou a residência bifásica, pois a corrente absorvida aumentou em virtude que a potência do circuito também aumentou, conforme esperado. Com isso, a intensidade das correntes harmônicas aumentou, porém os valores de THD foram similares por serem proporcionais à amplitude da fundamental.

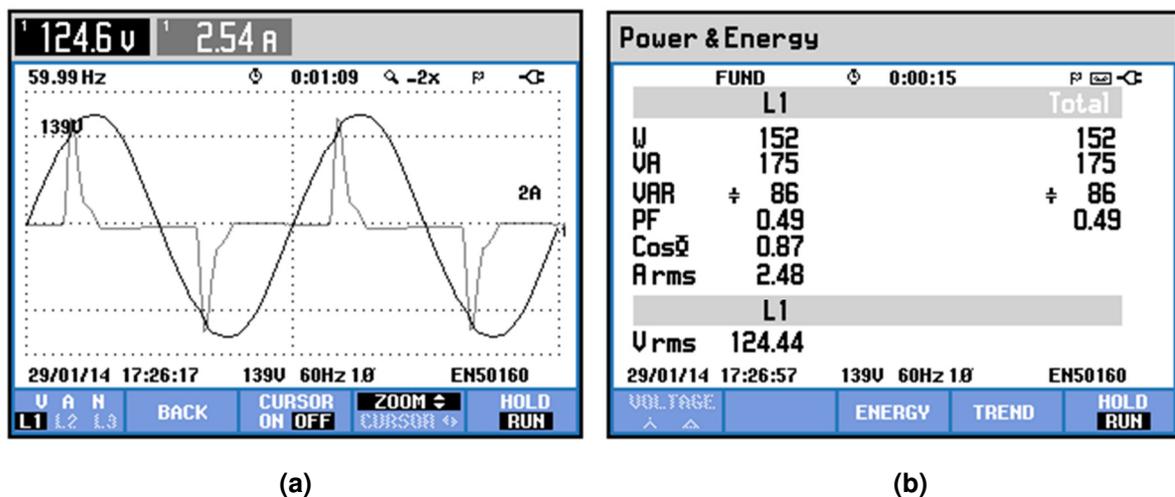
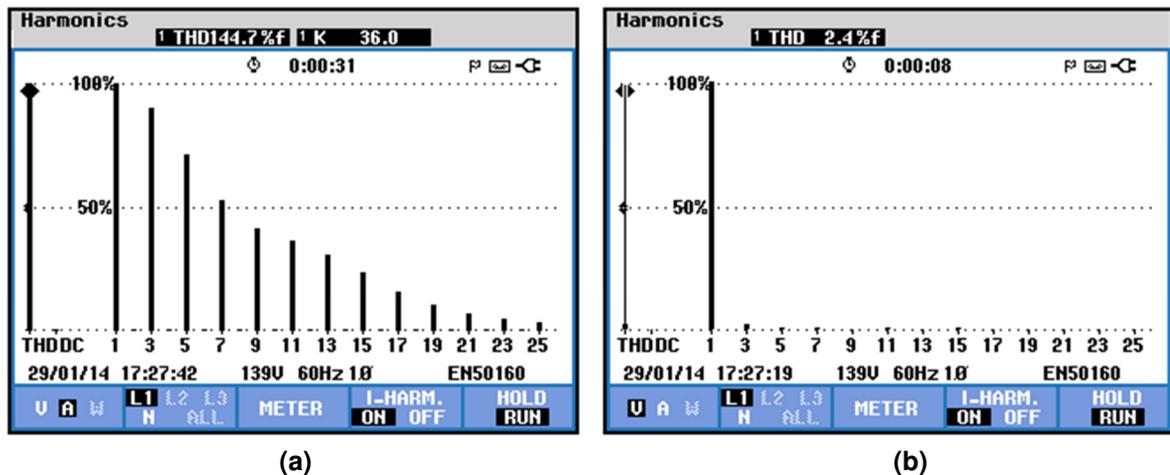


Figura 37 – Formas de onda (a) e características elétricas (b) medidas no circuito simulando residência trifásica.

Fonte: O Autor

Na Figura 38, é apresentado o espectro harmônico gerado pelo circuito que simula uma residência trifásica na corrente e na tensão. Observa-se que a 3ª harmônica não teve seu valor reduzido, continuando com um valor muito alto.



(a) (b)  
 Figura 38 – Espectro harmônico de corrente (a) e tensão (b) medidos no circuito simulando residência trifásica.

Fonte: O Autor

#### 5.2.2.4 Conclusões parciais das medições de conjuntos de LFCs

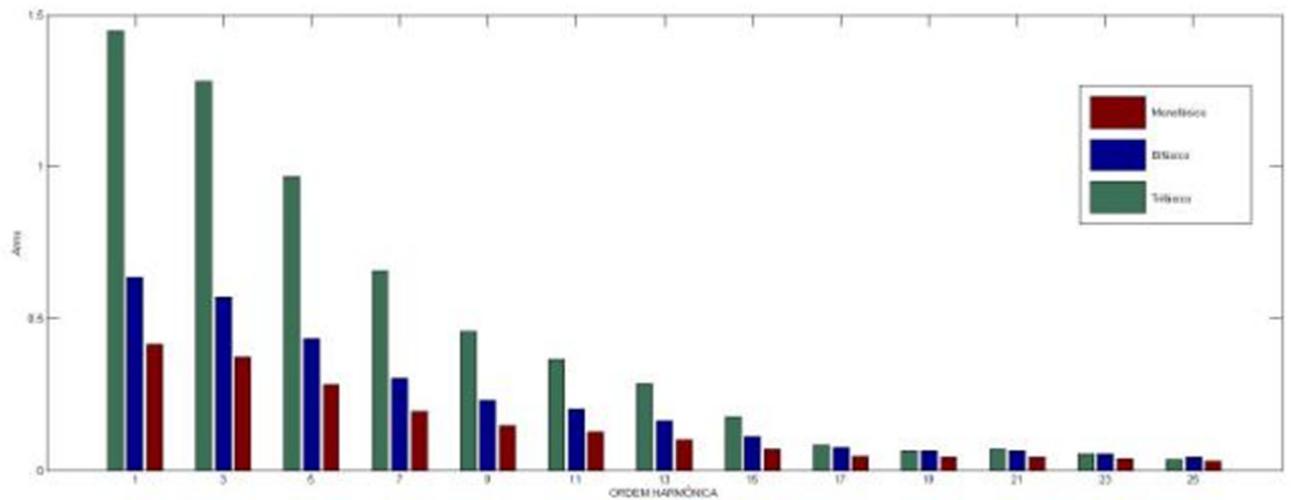
Através dos dados obtidos pelas medições nos três diferentes circuitos testados, se observa que os valores percentuais de THD não tiveram variação entre as medições. Porém deve ser observado que a amplitude da corrente dos circuitos aumentou com o acréscimo de mais lâmpadas, conforme esperado. Isto pode ser visto na Tabela 15, que compara as componentes harmônicas ímpares dos circuitos testados.

| Residência Monofásica |            |        |       | Residência Bifásica |            |        |       | Residência Trifásica |            |        |       |
|-----------------------|------------|--------|-------|---------------------|------------|--------|-------|----------------------|------------|--------|-------|
| n                     | Frequência | Arms   | %     | n                   | Frequência | Arms   | %     | n                    | Frequência | Arms   | %     |
| 1                     | 60         | 0,4163 | 100,0 | 1                   | 60         | 0,6352 | 100,0 | 1                    | 60         | 1,4470 | 100,0 |
| 3                     | 180        | 0,3755 | 90,2  | 3                   | 180        | 0,5705 | 89,8  | 3                    | 180        | 1,2794 | 88,4  |
| 5                     | 300        | 0,2821 | 67,8  | 5                   | 300        | 0,4340 | 68,3  | 5                    | 300        | 0,9678 | 66,9  |
| 7                     | 420        | 0,1949 | 46,8  | 7                   | 420        | 0,3041 | 47,9  | 7                    | 420        | 0,6566 | 45,4  |
| 9                     | 540        | 0,1478 | 35,5  | 9                   | 540        | 0,2317 | 36,5  | 9                    | 540        | 0,4578 | 31,6  |
| 11                    | 660        | 0,1274 | 30,6  | 11                  | 660        | 0,2016 | 31,7  | 11                   | 660        | 0,3675 | 25,4  |
| 13                    | 780        | 0,1015 | 24,4  | 13                  | 780        | 0,1649 | 26,0  | 13                   | 780        | 0,2852 | 19,7  |
| 15                    | 900        | 0,0674 | 16,2  | 15                  | 900        | 0,1133 | 17,8  | 15                   | 900        | 0,1764 | 12,2  |
| 17                    | 1020       | 0,0442 | 10,6  | 17                  | 1020       | 0,0727 | 11,4  | 17                   | 1020       | 0,0812 | 5,6   |
| 19                    | 1140       | 0,0419 | 10,1  | 19                  | 1140       | 0,0641 | 10,1  | 19                   | 1140       | 0,0628 | 4,3   |
| 21                    | 1260       | 0,0417 | 10,0  | 21                  | 1260       | 0,0632 | 10,0  | 21                   | 1260       | 0,0690 | 4,8   |
| 23                    | 1380       | 0,0363 | 8,7   | 23                  | 1380       | 0,0540 | 8,5   | 23                   | 1380       | 0,0530 | 3,7   |
| 25                    | 1500       | 0,0303 | 7,3   | 25                  | 1500       | 0,0434 | 6,8   | 25                   | 1500       | 0,0349 | 2,4   |

Tabela 15: Comparação entre componentes harmônicas dos circuitos testados.

Fonte: O Autor

Observando a Figura 39, verifica-se que a corrente harmônica injetada na rede pelo circuito simulando uma residência trifásica é maior que a corrente do circuito bifásico, conforme esperado. Da mesma forma ocorre entre os circuitos que simulam as residências bifásicas e monofásicas. Desta maneira, pode-se concluir que embora as LFCs possuam uma baixa potência, o seu uso em larga escala pode ser prejudicial à rede ao qual elas estão conectadas, afetando a qualidade de energia.



**Figura 39: Comparativo entre as correntes harmônicas dos três circuitos medidos.**  
Fonte: O Autor

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da pesquisa de campo, foi comprovado o grande uso das LFCs em consumidores residenciais no município de Pato Branco. Apenas uma pequena minoria não possuía nenhum exemplar de LFC em sua residência. Embora o consumidor confirmasse que conhecia e que sabia de sua eficiência, justificavam a ausência de LFCs no domicílio pelo alto custo da mesma. Foi observada também a redução no uso de LFTs, sendo substituída em várias residências pelas LFCs. Ainda na pesquisa de campo, foi comprovado o conhecimento das LFCs e de sua eficiência, sendo esta chamada de “lâmpada econômica”, ao não conhecer seu nome correto.

Constatou-se também a preocupação dos consumidores com a economia de energia elétrica, principalmente na categoria de residências monofásicas, em que quando questionados sobre a quantidade de lâmpadas que ficam acesas na residência durante a noite, a resposta pouco mudou, dizendo que apenas o necessário, sendo desligadas todas as lâmpadas ao ir dormir. Ficou evidente que existe uma maior utilização de LFCs por parte da categoria trifásica, provavelmente por possuir maior poder aquisitivo, enquanto nas outras categorias, os moradores criticavam o custo elevado das LFCs.

As maiores dificuldades nesse trabalho ocorreram no decorrer da pesquisa de campo, como foi previsto inicialmente na proposta e que demandou um tempo maior. Embora o tamanho da amostra não fosse excessivamente grande, a maior parte das visitas aos domicílios ocorreu em finais de semana devido ao fato de que a maioria dos consumidores está ausente de sua residência em horário comercial.

As amostras de LFCs, usadas em iluminação residencial, foram testadas de forma a verificar-se os valores de potência, corrente, FP, o fator de deslocamento e conteúdo de harmônicos gerados por cada uma delas individualmente e em conjuntos. Em cada conjunto medido utilizou-se o número médio de LFCs, obtido da pesquisa de campo realizada, referente à quantidade de LFCs que ficam ligadas durante a noite em cada uma das três categorias de residência, monofásica, bifásica e trifásica.

Foi verificado que, em todas as LFCs testadas, os valores de THD de corrente superaram o valor de 150%, enquanto que o FP ficou em torno de 0,45, não apresentando variação significativa entre si, nas cinco diferentes marcas testadas.

As magnitudes das componentes harmônicas ímpares possuíam um alto valor, principalmente a terceira harmônica, que ficou em torno de 0,18 A, valores estes que chegam a 90% da componente fundamental.

Já a luminária com duas LFTs de 40 W e com reator eletromagnético testada apresentou 23% de THD na onda de corrente devido aos efeitos de magnetização do núcleo, possuindo componentes harmônicas com magnitudes inferiores às da LFC. Sua terceira harmônica possuía valor de 0,1931 A, porém representa apenas 254% da componente fundamental.

Através das medições das LFCs realizadas em laboratório, constatou-se que as grandezas medidas são similares com os valores declarados nas embalagens das mesmas. Os valores de FP medidos situam-se dentro da faixa especificada nas embalagens, em torno de 0,45 e os valores de potência medidos são menores, pois a tensão aplicada durante o ensaio realizado foi menor que a suposta tensão nominal. Entre as cinco LFCs testadas, apenas uma apresentava uma faixa de tensão de trabalho, de 90 a 130 V, enquanto as outras apresentavam a tensão de trabalho no valor de 127 V.

Embora elas possuíssem o selo Procel, como ainda não existe regulamentação no Brasil para equipamentos geradores de harmônicas, não existe nenhuma informação na embalagem sobre o THD gerado pelo equipamento. As embalagens apresentam apenas uma indicação de que com a utilização destas lâmpadas, podem ocorrer interferências em equipamentos eletroeletrônicos.

O resultado obtido demonstra que ainda não existe um compromisso entre eficiência energética e qualidade de energia por parte dos fabricantes, pois as normas vigentes não estabelecem limites máximos de THD para LFCs.

Convém lembrar que a distorção de corrente, indicada pela  $THD_i$ , é provocada pela carga, ao passo que a distorção de tensão ( $THD_v$ ), é produzida pela fonte geradora como consequência da circulação de correntes distorcidas pela instalação.

Através dos resultados das medições em conjuntos das LFCs, pode-se observar que com o uso massivo destas lâmpadas e com os padrões de qualidade atual das mesmas, pode-se comprometer a qualidade de energia da rede de

distribuição da concessionária. Para quantificar estes efeitos seria necessário um estudo mais aprofundado que incluísse, entre outros aspectos, uma modelagem do sistema de distribuição.

São necessárias futuras avaliações de penetração de distorções harmônicas na rede de distribuição e em circuitos elétricos de consumidores residenciais e comerciais. Uma sugestão para trabalhos futuros seria realizar a medição do nível de harmônicas em residências para verificar estes níveis juntamente com outras cargas típicas de residências funcionando simultaneamente.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Lei nº 9991, de 24 de julho de 2000**. Agência Nacional de Energia Elétrica. [S.l.], p. 4. 2000.

ANEEL. **Manual para Elaboração de Eficiência Energética**. Brasília: [s.n.], 2005.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Agência Nacional de Energia Elétrica. [S.l.]. 2012.

DIAS, Guilherme A. D. **Harmônicas em Sistemas Industriais**. 2. Edição. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

FLUKE CORPORATION. Analisador de Qualidade de Energia Fluke 435 série II. **Fluke**, 2014. Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/Ferramentas-de-Qualidade-de-Energia/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

FONSECA, Jairo S. D.; MARTINS, Gilberto D. A. **Curso de Estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Copel fornece equipamentos a famílias de baixa renda e instituições sociais. **Agência Estadual de Notícias**, 2013. Disponível em: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=74526&tit=Copel-fornece-equipamentos-a-familias-de-baixa-renda-e-instituicoes-sociais>>. Acesso em: 07 jun. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE. **Harmônicas nas Instalações Elétricas**. São Paulo: [s.n.], 2001.

KRUSE, Artur B. *et al.* **Avaliação de lâmpadas LED (*lighting emitting diode*) em termos de Qualidade de Energia Elétrica**. Grupo de Estudos em Tecnologias e Qualidade. [S.l.], p. 7. 2010.

LEVIN, Jack. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. 2 Edição. São Paulo: Harbra, 1987.

MASCIA, Antonio R. **Estudo Comparativo entre Lâmpadas Fluorescentes Compactas e Lâmpadas Incandescentes, Considerando a Viabilidade Econômica**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2011.

MME. **Portaria Interministerial nº 132, de 12 de Junho de 2006.** Ministério de Minas e Energia. [S.l.]. 2006.

MME. **Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010.** Ministério de Minas e Energia. [S.l.], p. 6. 2010.

PHILIPS. Lâmpadas. **Philips**, 2014. Disponível em: <[http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq\\_lampadas.wpd](http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd)>. Acesso em: 25 jan. 2014.

PROCEL. Procel Info - Informações Institucionais. **Procel Info**, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B63888157-B10C-4A4A-82B8-B694CFC53FCE%7D>>. Acesso em: 24 jan. 2014.

PROCEL. **Critérios para a concessão do selo Procel Eletrobras de economia de energia a lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado.** Eletrobras. [S.l.], p. 5. 2012.

PROCEL. Selo Procel - Apresentação. **Eletrobrás**, 2013. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=>>>. Acesso em: 24 jan. 2014.

RIBEIRO, Cristiano F. **Influência dos Harmônicos na Qualidade da Energia Elétrica.** 2007. 45p.Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

RODRIGUES, Augusto M. **Influência de Distorções Harmônicas e Desequilíbrios em Medidores de Energia Elétrica Ativa.** 2009. 11p.Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SANTOS, Afonso H. M. et al. **Eficiência Energética: Teoria e Prática.** Itajubá: Fupai, 2007.

SANTOS, Felipe M. F. D. **Qualidade de Energia - Comparação das Normas IEC 61000-3-2 e IEEE 519.** 2007. 51p.Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, Cíntia G. M. D. **Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil.** 2008. 105p.Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOUSA, Eduardo D. C. **Harmônicas Geradas por Lâmpadas Fluorescentes Compactas**. 2011.[s.n.], Uberlândia, 2011.

TORRES, Igor S. M. et al. **Lâmpadas Fluorescentes e Distorções Harmônicas: Eficiência Energética e Qualidade de Energia**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, p. 5. 2009.

TRIOLA, Mário F. **Introdução à Estatística**. 7 Edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

## APÊNDICE



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Campus Pato Branco  
 Curso de Engenharia Elétrica  
 Trabalho de Conclusão de Curso  
 Acadêmico: Willian Andrey da Silva



## FORMULÁRIO DE PESQUISA

AVALIAÇÃO DO USO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE ENERGIA

|   |                                |               |           |
|---|--------------------------------|---------------|-----------|
| ENDEREÇO:   |                                |               |           |
| CATEGORIA:  | MONOFÁSICO                     | BIFÁSICO      | TRIFÁSICO |
| QUANTIDADE DE CÔMODOS NA RESIDÊNCIA:                        |                                |               |           |
| POSSUI LÂMPADAS INCANDESCENTES?                             | SIM                            | NÃO           |           |
| POSSUI LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS?                    | SIM                            | NÃO           |           |
| QUANTAS LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS?                   | ATÉ 25 W                       | ACIMA DE 25 W |           |
| QUAL A MARCA DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS?          |                                |               |           |
| POSSUI LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES?                    | SIM                            | NÃO           |           |
| QUANTAS LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES?                   | ATÉ 25 W                       | ACIMA DE 25 W |           |
| QUANTAS LÂMPADAS FICAM ACESAS NO PERÍODO DAS 19:00 ÀS 23:00 |                                |               |           |
| POSSUI QUANTAS LÂMPADAS EXTERNAS?                           | QUANTAS FICAM LIGADAS À NOITE? |               |           |
| ELAS POSSUEM SENSOR FOTOELÉTRICO?                           | SIM                            | NÃO           |           |

OPINIÃO SOBRE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS:

---



---



---



---