

**MARÍA FERNANDA TRUJILLO LEÓN**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS  
CONSIDERANDO O NOVO AMBIENTE DE MEDIÇÃO DE CONSUMO.**

Guaratinguetá - SP  
2016

L579e

León, María Fernanda Trujillo

Eficiência energética em instalações residenciais considerando o novo ambiente de medição de consumo / María Fernanda Trujillo León – Guaratinguetá, 2017.

96 f : il.

Bibliografia: f. 92-96

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

1. Iluminação Elétrica. 2. Energia Elétrica - Consumo.
3. Energia Elétrica – Fontes alternativas. I. Título

CDU 628.9(043)

**MARIA FERNANDA TRUJILLO LEON**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA**

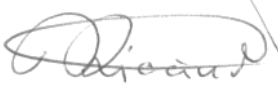
**ÁREA: Energia**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA**  
UNESP/FEG

  
**Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI**  
UNESP/FEG

  
**Prof. Dr. PEDRO DA COSTA JUNIOR**  
UNESP/BAURU

**MARÍA FERNANDA TRUJILLO LEÓN**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS  
CONSIDERANDO O NOVO AMBIENTE DE MEDIÇÃO DE CONSUMO.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador:  
Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga.

Guaratinguetá  
2016

## **DADOS CURRICULARES**

**MARÍA FERNANDA TRUJILLO LEÓN**

|                   |                                                                                                                                                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NASCIMENTO</b> | 04.09.1989 – QUITO –EQUADOR                                                                                                                                               |
| <b>FILIAÇÃO</b>   | Martha Cecilia León Álvarez.<br>Fernando Ruperto Trujillo Verdesoto.                                                                                                      |
| <b>2009-2014</b>  | Curso de Graduação Engenharia Elétrica–Universidade Estadual Paulista<br>Júlio de Mesquita Filho, UNESP - Campus Guaratinguetá, SP-Brasil.                                |
| <b>2015-2016</b>  | Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, na área de Energia,<br>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP -<br>Campus Guaratinguetá, SP-Brasil. |

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional e exemplo de dedicação, esforço e amor, sobretudo pela cumplicidade e incentivo para que todos e cada um dos meus objetivos de vida sejam realizados com o maior dos êxitos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir viver esta experiência me cuidar e guiar neste caminhar da vida.

ao meu orientador, Prof. Dr. Oscar Armando Astorga Maldonado, pela paciência, dedicação, conselhos e por todos os ensinamentos na área de pesquisa.

aos meus colegas de estudo e trabalho no DEE e LESIP pelo companheirismo, ajuda e convivência diária. Em especial a Soninha pelas suas palavras constantes de ânimo e força.

à minha família, pelo seu apoio incondicional e orações diárias para conseguir ir em frente neste trabalho, especialmente a minha mãe por ser esse exemplo de perseverança, dedicação e entrega e ao Matheus por sua ajuda, amor e apoio incondicional.

a esta casa, a FEG, por ser meu segundo lar, por ter me acolhido em um dos períodos mais importantes da minha vida. Onde cheguei inundada de expectativas e emoções, onde chorei, caí e levantei, mas sobretudo onde me formei não só com títulos senão com experiências e tive a honra de servir e ser parte desta comunidade.

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas”.

Claude Lévi-Strauss

TRUJILLO, M. F. L. **Eficiência energética em instalações residenciais considerando o novo ambiente de medição de consumo.** 2016, 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

## RESUMO

O uso de novas tecnologias em equipamentos e dispositivos de consumo de energia elétrica, vem sendo uma ferramenta cada vez mais utilizada para aumentar a eficiência energética na geração, transporte e distribuição de energia. Mesmo com a crise econômica dos últimos anos, a demanda de energia elétrica tem apresentado um crescimento constante em alguns setores da distribuição, principalmente no consumo de instalações residenciais. Neste tipo de instalação, a introdução de tecnologia LED no sistema de iluminação vem crescendo de forma sistêmica resultando em economia para o consumidor que paga a energia consumida em kWh, sem preocupação com aspectos importantes que o consumidor industrial enfrenta como o baixo fator de potência e a distorção harmônica presente na instalação. Este quadro tende rapidamente a mudar com a instalação, nas residências, dos novos medidores digitais pelas distribuidoras, capazes de medir estes tipos de parâmetros. Atualmente, quando vista do lado do sistema de geração, a economia do consumidor em kWh pode não representar uma economia na geração de energia pois, por tratar-se de cargas não lineares, a relação entre o consumo na instalação e a energia necessária que precisa ser gerada nas Usinas para o seu atendimento, medido em kVA, pode não apresentar a mesma vantagem ou mesmo ser uma desvantagem para o sistema elétrico. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise da utilização de tecnologia LED na iluminação em instalações residenciais, levando em consideração a não linearidade desta nova tecnologia e a consequente introdução na instalação, do aumento das perdas elétricas que isto pode acarretar. Com esta finalidade foi realizada uma montagem experimental, utilizando alguns dos eletrodomésticos mais encontrados em instalações residenciais, operando em conjunto com o sistema de iluminação. Assim os resultado das diversas análises tem como consequência a apresentação de considerações para o consumidor e os órgãos de certificação, sobre os principais requisitos a serem observados na aquisição, instalação e operação desta nova tecnologia, colaborando desta forma para o aproveitamento correto desta em sistemas de iluminação residencial, no novo cenário de medição digital que está sendo implantado no país.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de Iluminação, Eficiência Energética, LED, Qualidade de Energia, harmônicas, consumo residencial.

TRUJILLO, M. F. L. **Eficiência energética em instalações residenciais considerando o novo ambiente de medição de consumo.** 2016, 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

### **ABSTRACT**

The use of new technologies in equipments and power consumption devices, it has been a tool to increase energy efficiency in the generation, transmission, and distribution of energy. Even with the economic crisis of recent years, electricity demand has shown a steady growth in some distribution sectors, especially in the consumer residential. In this type of plant facilities, the use of LED technology in lighting grows systemically resulting in the economy for the residential consumer who pays per kWh, without regard to important aspects that industrial consumers face as a low power factor and harmonic distortion present in the installation. This frame quickly tends to change with home electrical circuits, new digital meters by distributors, capable of measuring such parameters. Currently, from the viewpoint of the power generation system, the consumer economy in kWh may not represent savings in energy production. This assumption is valid because, as it is in non-linear loads the ratio between consumption in the installation and the required power must be provided in plants for your service, measured in kVA, can not present the same advantage or even be a disadvantage to the electrical system. This study aims to present an analysis of the use of LED technology in lighting in residential systems, considering the non-linearity of this new technology and the subsequent introduction in the installation, the increase in electrical losses this may entail. For this purpose, an experimental setup was performed using some of the most common appliances in residential appliances. These devices operate in conjunction with the lighting system. Thus, the outcomes of the different analyses led to considerations for the consumer and the certification agency. The Brazilian utilities are deploying a new digital measurement scenario, and the service clients must observe requirements in the purchase, installation and operation of this new technology, contributing this way to the correct use of this technology in residential lighting systems.

**KEYWORDS:** Lighting Systems, Energy Efficiency, LED, Energy Quality, harmonics, residential consumption.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Mapa conceitual do aumento de necessidades energéticas. ....                   | 17 |
| Figura 2. Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico .....        | 21 |
| Figura 3. Entrada em operação de novos empreendimentos de geração. ....                  | 23 |
| Figura 4. Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita. ....  | 23 |
| Figura 5. Consumo Final Energético por Setor (em milhares de tep) .....                  | 24 |
| Figura 6. Evolução da Participação das Fontes no Consumo Final de Energia. ....          | 25 |
| Figura 7. Matriz de produção de energia elétrica no Brasil.....                          | 26 |
| Figura 8. Quantificação das Energias Renováveis .....                                    | 27 |
| Figura 9. Consumo de energia elétrica no mês de março 2016 e acumulado em 12 meses. .... | 28 |
| Figura 10. Número de unidades consumidoras no Brasil: estratificação por classe.....     | 29 |
| Figura 11. Uso final de eletricidade no Brasil ao longo do verão (a) e inverno (b). .... | 30 |
| Figura 12. Demanda de Energia Residencial por Uso Final .....                            | 30 |
| Figura 13. Regulamentação da Lei 10.295/2001 no Setor Residencial.....                   | 33 |
| Figura 14. Diversas tecnologias de lâmpadas de uso residencial .....                     | 36 |
| Figura 15. Lâmpadas LED.....                                                             | 37 |
| Figura 16. Etiqueta INMETRO-lâmpadas LED. ....                                           | 40 |
| Figura 17. Requisitos técnicos de limite das correntes harmônicas .....                  | 41 |
| Figura 18. Posse Média de Equipamentos Eletrodomésticos no Setor Residencial. ....       | 42 |
| Figura 19. Posse Média de Equipamentos Eletrodomésticos. ....                            | 42 |
| Figura 20. Selo PROCEL equipamentos eletrodomésticos. ....                               | 43 |
| Figura 21. Onda distorcida e componentes harmônicas. ....                                | 44 |
| Figura 22. Forma de onda e o espectro harmônico de um sinal senoidal.....                | 45 |
| Figura 23. Forma de onda e o espectro harmônico de um sinal com perturbações.....        | 45 |
| Figura 24. Limites individuais de harmônicos de corrente em % fundamental. ....          | 51 |
| Figura 25. Dimensionamento do condutor neutro .....                                      | 51 |
| Figura 26. FLUKE 435, analisador de qualidade de energia.....                            | 54 |
| Figura 27. Medidor eletrônico digital.....                                               | 54 |
| Figura 28. Fonte <i>Pacific Smart Source</i> .....                                       | 55 |
| Figura 29. Esquema de montagem-bancada educacional. ....                                 | 56 |
| Figura 30. Esquema de montagem-ambiente residencial .....                                | 57 |
| Figura 31. Formas de onda de tensão e corrente das lâmpadas incandescentes.....          | 58 |
| Figura 32. Forma de onda de tensão e corrente das lâmpadas halógenas. ....               | 59 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 33. Formas de onda de tensão e corrente da lâmpada fluorescente L3. ....        | 60 |
| Figura 34. DHTi da lâmpada fluorescente L3. ....                                       | 60 |
| Figura 35. Forma de onda de tensão e corrente da lâmpada LED, L6. ....                 | 61 |
| Figura 36. DHTi da lâmpada LED, L6. ....                                               | 62 |
| Figura 37. Formas de onda de tensão e corrente da lâmpadas LED, L8. ....               | 62 |
| Figura 38. DHTi da lâmpadas LED, L8. ....                                              | 62 |
| Figura 39. Gráfico Potências - Análise individual por lâmpada REDE. ....               | 63 |
| Figura 40. Gráfico Potência aparente - Análise individual por lâmpada REDE. ....       | 64 |
| Figura 41. Gráfico DHTi - Análise individual por lâmpada REDE. ....                    | 65 |
| Figura 42. Gráfico FP - Análise individual por lâmpada REDE. ....                      | 65 |
| Figura 43. Formas de onda de tensão e corrente tecnologia fluorescente compacta. ....  | 67 |
| Figura 44. Formas de onda de tensão e corrente tecnologia LED. ....                    | 67 |
| Figura 45. Gráfico Potências - Análise por tecnologia de iluminação REDE. ....         | 68 |
| Figura 46. Gráfico Potência aparente - Análise por tecnologia de iluminação REDE. .... | 68 |
| Figura 47. Gráfico DHTi - Análise por tecnologia de iluminação REDE. ....              | 69 |
| Figura 48. Gráfico FP - Análise por tecnologia de iluminação REDE. ....                | 69 |
| Figura 49. Formas de onda de tensão e corrente da TV. ....                             | 70 |
| Figura 50. DHTi daTV. ....                                                             | 71 |
| Figura 51. Formas de onda de tensão e corrente do purificador de água. ....            | 72 |
| Figura 52. DHTi do purificador de água. ....                                           | 72 |
| Figura 53. Formas de onda de tensão e corrente do microondas. ....                     | 73 |
| Figura 54. DHTi do microondas. ....                                                    | 73 |
| Figura 55. Formas de onda de tensão e corrente do liquidificador. ....                 | 74 |
| Figura 56. DHTi do liquidificador. ....                                                | 74 |
| Figura 57. Gráfico DHTi - Análise individual por eletrodoméstico REDE. ....            | 75 |
| Figura 58. Gráfico Potências - Análise individual por eletrodoméstico REDE. ....       | 76 |
| Figura 59. Gráfico Potências - Análise individual por eletrodoméstico REDE. ....       | 76 |
| Figura 60. Formas de onda de tensão e corrente do S1. ....                             | 77 |
| Figura 61. THDi do S1. ....                                                            | 78 |
| Figura 62. Formas de onda de tensão e corrente do S2 THDi_S2. ....                     | 78 |
| Figura 63. THDi do S2. ....                                                            | 78 |
| Figura 64. Formas de onda de tensão e corrente do S3. ....                             | 79 |
| Figura 65. DHTi do S3. ....                                                            | 79 |
| Figura 66. Formas de onda de tensão e corrente do S4. ....                             | 79 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 67. DHTi do S4. ....                                       | 80 |
| Figura 68. Gráfico Potências – Análise sistema completo_REDE..... | 80 |
| Figura 69. Gráfico DHTi – Análise sistema completo_REDE.....      | 81 |
| Figura 70. Gráfico FP – Análise sistema completo_REDE. ....       | 81 |
| Figura 71. Gráfico FP – Comparação DHT's Fonte e Rede.....        | 82 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Requisitos técnicos para FP .....                                          | 40 |
| Tabela 2. Análise individual por lâmpada incandescente.....                          | 58 |
| Tabela 3. Análise individual por lâmpada halógena.....                               | 59 |
| Tabela 4. Análise individual por lâmpada fluorescente. ....                          | 59 |
| Tabela 5. Análise individual por lâmpada LED. ....                                   | 61 |
| Tabela 6.Comparação de resultados nos estudos Dias e Filippo; Trujillo.....          | 63 |
| Tabela 7. Análise por tecnologias: incandescente e halógeno.....                     | 66 |
| Tabela 8. Análise por tecnologias: fluorescente compacta.....                        | 66 |
| Tabela 9. Análise por tecnologia: LED .....                                          | 67 |
| Tabela 10. Análise individual por eletrodoméstico Eletrônicos.....                   | 70 |
| Tabela 11. Análise individual por eletrodoméstico Refrigeradores. ....               | 71 |
| Tabela 12. Análise individual por eletrodoméstico Aquecimento. ....                  | 72 |
| Tabela 13. Análise individual por eletrodoméstico Refrigeradores. ....               | 73 |
| Tabela 14.Comparação de resultados nos estudos Pires; Trujillo. ....                 | 74 |
| Tabela 15. Análise sistema complete tecnologias de iluminação+eletrodomésticos. .... | 77 |
| Tabela 16. Análise individual por lâmpada incandescente.....                         | 82 |
| Tabela 17. Preço médio de lâmpadas LED e FC.....                                     | 84 |
| Tabela 18. Payback.....                                                              | 85 |
| Tabela 19. Dados de sistema com FP dentro da norma.....                              | 85 |
| Tabela 20. Dados de sistema com FP fora da norma.....                                | 86 |
| Tabela 21. Penalização por número de residências. ....                               | 88 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Equação 1. DHT de tensão .....                 | 46 |
| Equação 2. DHT da corrente .....               | 47 |
| Equação 3. Cálculo do fator de Potência.....   | 48 |
| Equação 4. Cálculo da corrente de neutro ..... | 52 |
| Equação 5. Cálculo de consumo.....             | 83 |
| Equação 6. Cálculo consumo de iluminação.....  | 83 |
| Equação 7. Cálculo consumo de LED .....        | 84 |
| Equação 8. Cálculo de penalização .....        | 87 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                               | <b>17</b> |
| 1.1 Objetivos da dissertação .....                                                                      | 19        |
| 1.2 Estrutura da dissertação .....                                                                      | 19        |
| <b>2 A ENERGIA ELÉTRICA.....</b>                                                                        | <b>20</b> |
| 2.1 Conceitos Fundamentais.....                                                                         | 20        |
| 2.2 Matriz energética brasileira-evolução. ....                                                         | 20        |
| <b>2.2.1 Inserção de novas fontes geradoras de energia.....</b>                                         | <b>22</b> |
| <b>2.2.2 Prospectiva - visão 2030 .....</b>                                                             | <b>23</b> |
| 2.3 Produção .....                                                                                      | 26        |
| 2.4 Mercado consumidor .....                                                                            | 27        |
| <b>2.4.1 Consumo de energia elétrica.....</b>                                                           | <b>27</b> |
| 2.4.1.1 Consumo de energia elétrica por setor .....                                                     | 27        |
| <b>3 INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS e EFICIENCIA ENERGÉTICA,<br/>CONSIDERANDO A QUALIDADE DE ENERGIA.....</b> | <b>34</b> |
| 3.1 Iluminação .....                                                                                    | 34        |
| <b>3.1.1 Retrospectiva das diversas tecnologias de lâmpadas de uso residencial .....</b>                | <b>34</b> |
| <b>3.1.2 Tecnologia LED .....</b>                                                                       | <b>37</b> |
| <b>3.1.3 Regulamentos e Normas para o uso das lâmpadas LED .....</b>                                    | <b>39</b> |
| 3.2 Aparelhos eletrodomésticos.....                                                                     | 41        |
| 3.3 Qualidade de energia .....                                                                          | 43        |
| <b>3.3.1 Conceitos fundamentais .....</b>                                                               | <b>44</b> |
| 3.3.1.1 Distorções harmônicas.....                                                                      | 44        |
| 3.3.1.2 Espectro harmônico .....                                                                        | 45        |
| 3.3.1.3 Taxa de distorção harmônica total.....                                                          | 46        |
| 3.3.1.4 Fator de Potência .....                                                                         | 47        |
| 3.3.1.5 Cargas geradoras de harmônicas .....                                                            | 48        |

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.3.2 Efeitos e consequências das harmônicas.....</b>                              | <b>49</b> |
| <b>3.3.3 Normas e regulamentação de harmônicas .....</b>                              | <b>50</b> |
| 3.3.3.1 Normas de compatibilidade entre redes elétricas e produtos. ....              | 50        |
| 3.3.3.2 Normas de emissão aplicáveis aos produtos geradores de harmônicas. ....       | 50        |
| <b>3.3.4 Soluções para atenuar as harmônicas.....</b>                                 | <b>51</b> |
| <b>4 ENSAIOS, ANÁLISES E RESULTADOS.....</b>                                          | <b>53</b> |
| 4.1 Instrumentos de medição .....                                                     | 53        |
| 4.2 Metodologia utilizada.....                                                        | 55        |
| 4.3 Montagem experimental .....                                                       | 56        |
| 4.4 Medições e aquisição de dados.....                                                | 57        |
| <b>4.4.1 Análises com alimentação da rede: .....</b>                                  | <b>58</b> |
| 4.4.1.1 Análise individual por lâmpada:.....                                          | 58        |
| 4.4.1.2 Análise por tecnologia de iluminação: .....                                   | 66        |
| 4.4.1.3 Análise individual por eletrodoméstico:.....                                  | 70        |
| 4.4.1.4 Análise sistema completo (por sistemas de iluminação+eletrodomésticos): ..... | 77        |
| <b>4.4.2 Análises com alimentação de uma fonte externa: .....</b>                     | <b>82</b> |
| 4.4.2.1 Análise individual por lâmpada:.....                                          | 82        |
| 4.5 Análise de viabilidade econômica .....                                            | 83        |
| 4.6 Resultados Finais.....                                                            | 85        |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>                                                              | <b>89</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                              | <b>92</b> |

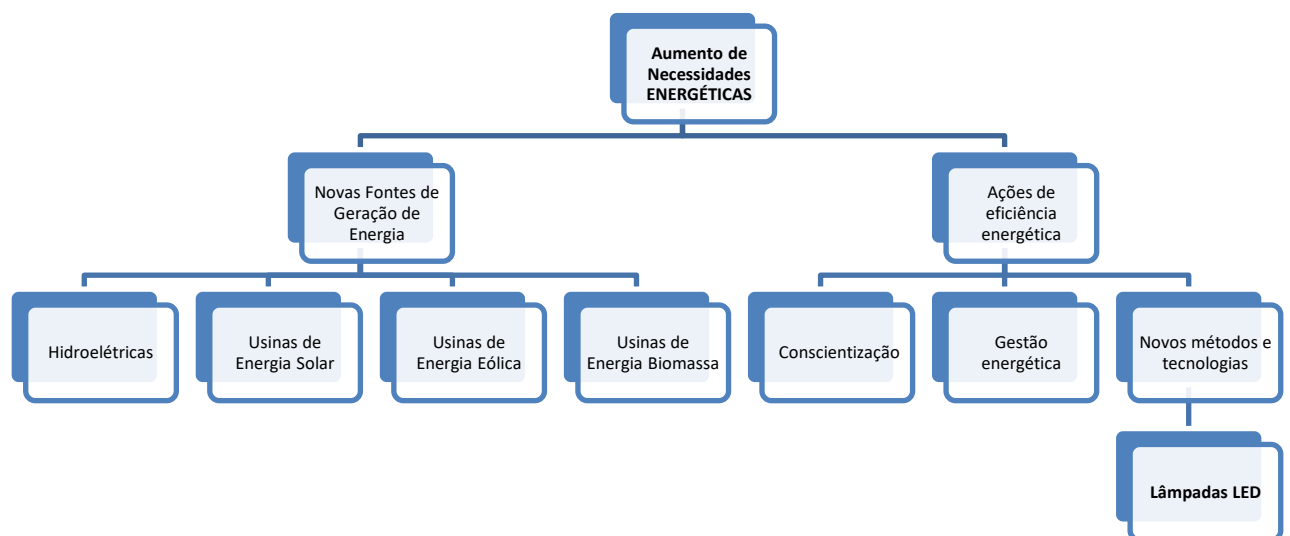
## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população, a escassez de recursos naturais, e a necessidade pelo cuidado ao nosso planeta, determina uma preocupação do uso indiscriminado dos meios que a natureza oferece, levando ao mundo todo a sua reflexão, surgindo assim novos conceitos como o da Eficiência Energética, o qual está ligado à redução das perdas na conversão de energia primária em energia útil. As perdas ocorrem para qualquer tipo de energia, seja térmica, mecânica ou elétrica (SOLA et al., 2007). Colocando-as, nos dias de hoje, como uma das principais ferramentas para a redução dos custos e, conseqüente obtenção do desenvolvimento sustentável do setor produtivo ou de serviço (VIANA et al., 2012).

Segundo uma análise da *United Nations Environment Programme-UNEP*, sobre os grandes problemas mundiais da atualidade em relação ao ambiente, aponta-se o aumento progressivo das necessidades energéticas e suas conseqüências ambientais como uns dos doze maiores problemas que preocupam os pesquisadores.

Soluções como o aumento da capacidade da matriz energética com a inserção de novas fontes geradoras de energia não poluentes, como as usinas de energia solar, eólica, maremotriz, cogeração e biomassa, e as ações de eficiência energética através dos programas de conscientização, de gestão energética e adoção de novos métodos e tecnologias energeticamente eficientes vem sendo implantados, a seguir a Figura 1 apresenta um mapa conceitual que ilustra o esquema sobre o aumento das necessidades de energia e as soluções que tem sido adotadas.

Figura 1. Mapa conceitual do aumento de necessidades energéticas.



Fonte: Autoria própria.

Por esta razão a demanda por equipamentos de alta eficiência elétrica tem crescido exponencialmente nas últimas décadas. Esta demanda acontece nos campos residencial, comercial e industrial (BRAVO; ABED, 2013).

Sendo objetivo deste trabalho a área residencial, destaca-se o constante aumento da demanda neste setor a nível nacional e mundial, em função da utilização cada vez maior de equipamentos elétricos; seja para a realização das atividades domésticas cansativas, para as atividades de comunicação, de conforto ou lazer. Pode-se constatar que no mês de junho de 2016 na Resenha Mensal de Consumo de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética-EPE (2016), órgão público Brasileiro, a qual informa em relação ao consumo nacional de energia elétrica o seguinte: “A classe industrial retraiu 3,3% e a comercial 2,9%, enquanto a demanda nas residências cresceu 4,6%, sendo a quarta alta seguida no consumo de eletricidade no segmento residencial, puxada principalmente pelas baixas temperaturas e pelo afrouxamento nas medidas de redução de consumo após o choque tarifário do ano 2015”.

Assim, cada vez mais pesquisadores são atraídos para a tarefa de desenvolver tecnologias, equipamentos ou metodologias que, sem comprometer os benefícios sociais destes novos equipamentos, permitam uma redução do consumo de energia elétrica.

Uma dessas novas tecnologias inseridas no mercado, as quais tem crescido nos últimos anos com o intuito de economia de energia e alta eficiência são as denominadas Lâmpadas LED “Light Emitting Diode”, oferecendo inúmeras vantagens em comparação às tecnologias de iluminação residencial convencionais (incandescentes, halógenas, fluorescentes, fluorescentes compactas).

As lâmpadas de LED proporcionam tanto eficiência quanto durabilidade superior à de lâmpadas comuns e consomem muito menos energia elétrica em iluminação. Ainda sua maior vantagem é a alta eficiência, pois não provoca muita quantidade de energia térmica dissipada, sendo a maior porcentagem da energia elétrica consumida é usada para a produção de luz, consequentemente poupando energia (MARTINEZ; TOMIOKA, 2009), entretanto algumas desvantagens se apresentam por serem cargas não lineares, trazendo efeitos nocivos como as distorções harmônicas e, consequente, baixo fator de potência além de seu alto custo inicial atualmente porém vem caindo com o aumento da produção.

Diante desse cenário, regulamentar o mercado e exigir a certificação das lâmpadas LED foi uma opção desejada por associações da iluminação e por empresários que há décadas trabalham neste segmento (GROSSO, 2015). Expõe-se então as normas vigentes e organismos responsáveis pela sua regulamentação no Brasil, como a regulamentação do INMETRO e PROCEL.

Por fim com o advento da substituição das lâmpadas convencionais por esta tecnologia nova, não se pode deixar de lado o estudo em conjunto da mesma com os aparelhos eletrodomésticos presentes nas residências com objetivo de analisar seus comportamentos no sistema elétrico.

## **1.1 Objetivos da dissertação**

O trabalho tem por objetivo apresentar um estudo e análise da utilização da tecnologia a LED na iluminação em instalações residenciais, levando em consideração a não linearidade desta nova tecnologia e a consequente introdução na instalação, do aumento das perdas elétricas que isto pode acarretar.

## **1.2 Estrutura da dissertação**

Este trabalho está dividido em seis capítulos, os quais apresentam os conceitos essenciais aplicados na pesquisa, a relevância do tema a ser estudado, o estudo e análise de corpos de prova com seus respectivos resultados e conclusões.

No capítulo 1 se apresenta a introdução com os objetivos de pesquisa a importância e o interesse do tema da dissertação através de resultados da pesquisa bibliográfica.

No capítulo 2, são apresentados os conceitos de energia elétrica, dificuldades de nova geração para atendimento à demanda futura, assim como a expansão da energia com a inserção de novas fontes geradoras e seus incentivos com uma perspectiva para 2030 na matriz energética brasileira.

As instalações residenciais e eficiência energética considerando a qualidade de energia são apresentadas no capítulo 3, assim como seu consumo no setor residencial. As tecnologias de iluminação convencionais e tecnologia LED são apresentadas também neste capítulo.

Já, no capítulo 4 apresentam-se os ensaios realizados em laboratório, a metodologia para verificação dos prós e contras da tecnologia de iluminação LED. A aquisição de dados e os resultados obtidos nos ensaios com suas respectivas análises dos diferentes tipos de sistemas de iluminação atuando em conjunto com os outros equipamentos residenciais são também apresentados, os dados econômicos e resultados finais.

Finalmente, no capítulo 5 apresentam-se as conclusões deste trabalho de dissertação.

## **2 A ENERGIA ELÉTRICA**

### **2.1 Conceitos Fundamentais**

Uma das variáveis que define um país como desenvolvido é o fácil acesso da população aos serviços de infra-estrutura, como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. O primeiro está diretamente relacionado à saúde pública. Os dois seguintes, à integração nacional. Já a energia é o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social de uma nação (ANEEL, 2008).

A energia se apresenta de diversas formas, que podem ser convertidas entre si, assim a energia elétrica é um tipo especial de energia através da qual pode-se produzir calor, trabalho mecânico, luz, entre outros benefícios. Este tipo de energia é usada para transmitir e transformar a energia primária da fonte produtora que aciona os geradores em outros tipos de energia como aquecimento, resfriamento e iluminação, quais são aproveitadas nas residências (CREDER, 2007).

Segundo Cavalin (2007), a energia elétrica é uma das formas mais práticas de energia, podendo ser transportada a grandes distâncias pelos condutores elétricos, desde o local de geração até os centros de consumo, como os lares, indústrias ou comércio e ainda existindo a possibilidade de ser transformada em outras modalidades de energia, sem muitas dificuldades e com custos relativamente baixos.

### **2.2 Matriz energética brasileira-evolução.**

Segundo Segura (2012) nos primórdios da indústria brasileira, na época da colônia, a lenha era a principal fonte de energia no Brasil. Como a economia era impulsionada pelo ciclo da cana e do ouro, a demanda energética era baixa, impulsionando assim o crescimento do país e a indústria, deixando de ser fonte primária de energia a lenha e dando lugar ao carvão mineral.

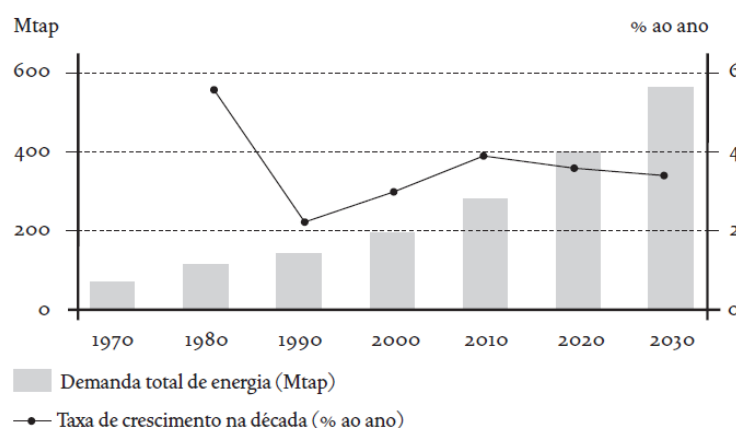
Logo em seguida o mundo enfrenta sua primeira grande guerra, dificultando a importação de carvão mineral e também de petróleo. O governo brasileiro então investe em recursos hídricos nacionais e a partir da década de 1940, várias empresas estatais foram criadas com o intuito de suprir a demanda de energia elétrica das indústrias metalúrgicas, automobilísticas e petrolífera que impulsionaram a economia e deram ao país uma posição de emergente na economia mundial, dando lugar à industrialização do setor energético como consequência dos investimentos estatais.

O presidente brasileiro Juscelino e seu plano de metas deu avanço à era desenvolvimentista com o crescimento da indústria nacional e reduzindo a dependência brasileira da exportação de *commodities* agrícolas e minerais.

Com relação ao petróleo, cabe ressaltar que a causa pela sua penetração na economia nacional e mundial era o preço, economia que se viu afetada quando a OPEP aumentou de forma significativa o preço em 1973. Surgiram reações das mais diversas e o governo brasileiro desencadeou ações e programas, tais como: a prospecção e extração de petróleo em águas profundas; a intensificação da construção de hidrelétricas para reduzir a dependência do petróleo na indústria; a associação com a Alemanha com repasse de tecnologia nuclear, resultando na construção de Angra 1 e Angra 2 e compra dos principais itens de Angra 3; e o Proálcool- Programa Nacional do Álcool, que levou a todo um progresso na área energética do etanol, de biodiesel de soja, entre outras fontes (HAGE, 2008).

Dados da Empresa de Pesquisa Energética vinculada ao Ministério de Minas e Energia mostram que depois da queda no gasto energético por fatores causados pela crise de 1980 o país tem uma pequena acessão nos índices de consumo pois a indústria nacional se recuperava dos problemas políticos e econômicos em que o país se encontrava. A Figura 2 apresenta no gráfico a evolução da demanda de energia vs taxa de crescimento econômico, mostrando a queda da taxa de crescimento até 1990.

Figura 2. Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico



Fonte: EPE.

Fonte: Tolmasquim et al. (2007)

No início da década de 1990 houve um crescimento econômico no país, pois o gasto energético foi maior durante esse período devido ao processo de desenvolvimento onde o consumo aumentou devido à necessidade de se produzir mais e com eficiência, filosofia da emergente indústria automotiva nacional que teve um grande crescimento na época.

Estimava-se que a oferta interna de energia crescerá 3,6% ao ano no período 2010-2020 e de 3,4% ao ano entre 2020-2030 devido uma maior eficiência energética tanto do lado da demanda como da oferta (TOLMASQUIM et al., 2007).

Pelas avaliações antecipadas e porque a energia proveniente do petróleo e de usinas hidroelétricas apresentam um esgotamento dos potenciais de expansão, o potencial energético do país necessita continuar no caminho da diversificação da matriz energética brasileira, sendo redimensionado e atualizado, inserindo fontes não poluentes com visão de conservação e uso racional da energia assim como o aproveitamento de recursos naturais renováveis prevendo o atendimento à demanda futura.

### **2.2.1 Inserção de novas fontes geradoras de energia**

O Brasil tem um enorme potencial energético, não só na produção de combustíveis fósseis como também possui um grande potencial de exploração de Urânio para ser utilizado na construção de novas usinas nucleares. No entanto, hoje o objetivo mundial é incentivar à redução das emissões de gases de efeito estufa para deixar de agredir ao planeta e amenizar o aquecimento global, assim compondo o novo quadro da matriz energética com o potencial existente nas fontes renováveis, usufruindo da abundância de energia solar disponível em quase toda superfície do planeta, a força dos ventos e de marés do mesmo modo que o aproveitamento da matéria de origem vegetal dando origem às novas fontes geradoras de energia.

Incentivos para a inserção destas novas fontes geradoras iniciaram-se com o programa de incentivo às fontes alternativas-PROINFA o qual teve uma duração de aproximadamente nove anos, desde 2002 até 2010. Após isto, começou-se com a iniciativa de leilões em energia eólica e solar. Segundo a empresa de energia eólica-ENERCON, presente no Brasil desde 1995, a partir da criação dos leilões de energia eólica a produção deu um salto enorme no incentivo da sua produção.

A criação da Empresa Pública de Energia-EPE, aliada ao Ministério de Minas e Energia-MME, é também um dos projetos existentes neste âmbito realizando estudos constantes de balanceamentos e previsões do uso da Energia. A EPE também lançou o WEBMAP do setor energético brasileiro com o objetivo de ajudar a conhecer melhor o setor energético brasileiro, esta nova ferramenta permite aos usuários efetuarem consultas, medições, visualizações e *zooms* a partir de uma base de dados georreferenciados, que são utilizados nos estudos do planejamento do setor energético nacional.

Segundo o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – Abril 2016 o empreendimento de entrada em operação de novos empreendimentos de geração no mês de abril totalizou 1077,430 MW e acumulou no decorrer do ano até o mesmo mês 2758,961 MW, como apresentado na Figura 3.

Figura 3. Entrada em operação de novos empreendimentos de geração.

| Fonte             | Realizado em Abr/2016 (MW) | Acumulado em 2016 (MW) |
|-------------------|----------------------------|------------------------|
| <b>Eólica</b>     | 177,790                    | 1.142,590              |
| <b>Hidráulica</b> | 796,540                    | 1.413,771              |
| PCH + CGH         | 0,000                      | 20,301                 |
| UHE               | 796,540                    | 1.393,470              |
| <b>Solar</b>      | 0,000                      | 0,000                  |
| Fotovoltaica      | 0,000                      | 0,000                  |
| <b>Térmica</b>    | 103,100                    | 202,600                |
| Biomassa          | 80,000                     | 179,500                |
| Carvão            | 0,000                      | 0,000                  |
| Gás Natural       | 0,000                      | 0,000                  |
| Nuclear           | 0,000                      | 0,000                  |
| Outros            | 0,000                      | 0,000                  |
| Petróleo          | 23,100                     | 23,100                 |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1.077,430</b>           | <b>2.758,961</b>       |

Fonte dos dados: MME / ANEEL / ONS

Fonte: MME (2016).

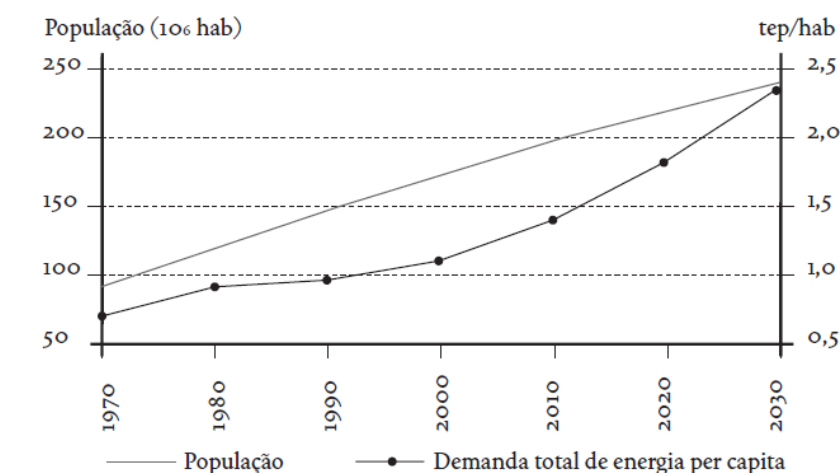
### 2.2.2 Prospectiva - visão 2030

Segundo Tolmasquim et al. (2007) apresentam projeções que apontam que o consumo de energia terá um crescimento representativo a taxas superiores às das últimas décadas podendo superar o dobro da capacidade atual da oferta energética instalada em todos os segmentos, especialmente os de petróleo, gás natural, etanol e eletricidade.

Projeta-se para 2030 uma circunstância em que mais fontes de energia serão necessárias para satisfazer a mesma porcentagem de consumo que atualmente era respondida por menor quantidade de fontes: além de petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural.

No que se diz respeito à energia e desenvolvimento, pode-se observar a continuação que o aumento populacional é proporcional à demanda total de energia per capita, Figura 4.

Figura 4. Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita.



Fonte: EPE.

Fonte: Tolmasquim et al. (2007)

Neste cenário estima-se um consumo de energia primária ao redor de 560 milhões de tep para uma população de mais de 238 milhões de habitantes.

Estima-se que o consumo final energético crescerá num valor médio de 3,7% ao ano no período de 2005 a 2030, sendo que este crescimento será fortemente baseado no setor industrial, o qual cresce 3,5% ao ano e no setor de transportes. No geral em todos os setores a demanda de eletricidade é significativa.

A expansão de consumo de energia no setor agropecuário é maior ou igual à média do país, crescimento acelerado devido à mecanização da lavoura e maior disseminação da eletricidade para a irrigação, já o consumo de energia residencial tem o crescimento inferior à média nacional num valor de 2,5% ao ano, mesmo com a expansão da renda per capita. Isso se deve ao aumento da eficiência do uso da energia. O consumo final energético por setor apresenta-se na Figura 5 a seguir.

Figura 5. Consumo Final Energético por Setor (em milhares de tep)

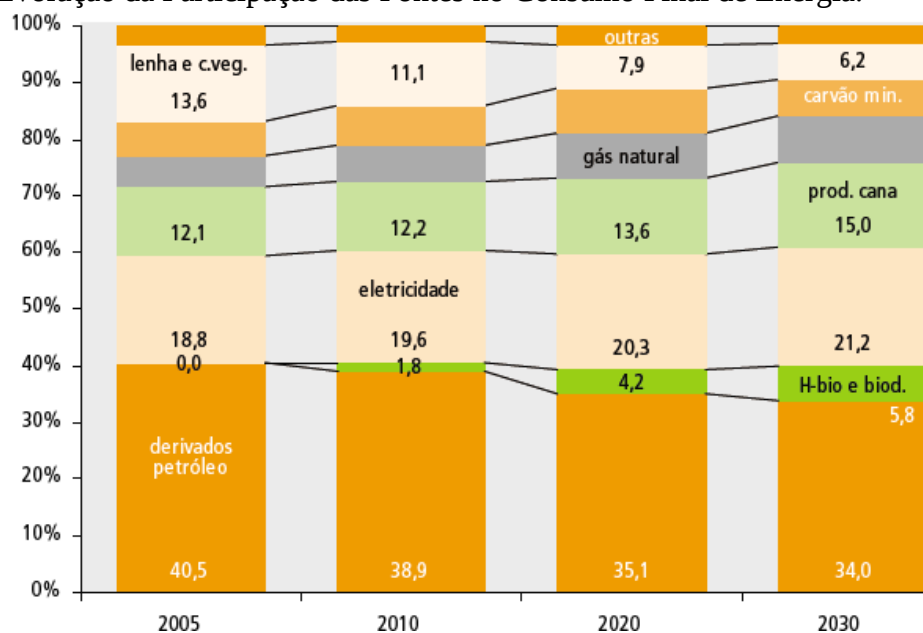
|                     | 2005           | 2010           | 2020           | 2030           |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Residencial</b>  | <b>21.827</b>  | <b>23.839</b>  | <b>29.223</b>  | <b>40.461</b>  |
| <b>Serviços</b>     | <b>61.363</b>  | <b>77.063</b>  | <b>109.085</b> | <b>166.074</b> |
| Transportes         | 52.459         | 65.898         | 92.655         | 139.119        |
| Comercial/Público   | 8.904          | 11.165         | 16.430         | 26.955         |
| <b>Agropecuário</b> | <b>8.358</b>   | <b>10.456</b>  | <b>14.997</b>  | <b>21.356</b>  |
| <b>Industrial</b>   | <b>73.496</b>  | <b>94.791</b>  | <b>135.358</b> | <b>174.930</b> |
| <b>TOTAL</b>        | <b>165.044</b> | <b>206.149</b> | <b>288.663</b> | <b>402.821</b> |

Fonte: MME (2007)

Os derivados do petróleo devem permanecer na liderança da matriz do consumo final de energia (com queda entre 34% a 36%) tendo a eletricidade com a segunda forma de energia

mais utilizada (com elevação entre 22% a 24%). Os produtos da cana também ganham participação devido ao crescimento do etanol para 14% e o gás natural passa a ter 8% participação no consumo final de energia. A evolução da participação das fontes no consumo final de energia representa-se no gráfico da Figura 6.

Figura 6. Evolução da Participação das Fontes no Consumo Final de Energia.



Fonte: MME, 2007

Na geração de eletricidade, as participações de fontes renováveis como a eólica e a biomassa crescem, inclusive, o aproveitamento de resíduos urbanos para a geração, respondendo por cerca de 4% da oferta interna de eletricidade, ainda o setor industrial será o principal consumidor de energia atingindo 42%, restando 25% para o setor terciário e 26% para o setor residencial que pode se justificar o aumento de acordo com a possível melhoria de renda.

No ano de 2030 o consumo de energia elétrica pelo Brasil está estimado em 1.083,4 TWh, para atender tal demanda necessita-se de uma expansão do sistema de 4% ao ano desde 2005 isso considerando que todas as melhorias na linha de transmissão e abastecimento tenham sido concluídas, no entanto segundo essa mesma projeção ainda em 2030 as perdas totais seriam de 13,8%. Ainda nesse estudo a energia hidráulica segue como a fonte mais utilizada entre outras fontes de produção, contudo em menor volume cerca de 70%, pois, outras fontes como nuclear, gás natural e carvão mineral aumentam sua participação na produção de 7% a 15%.

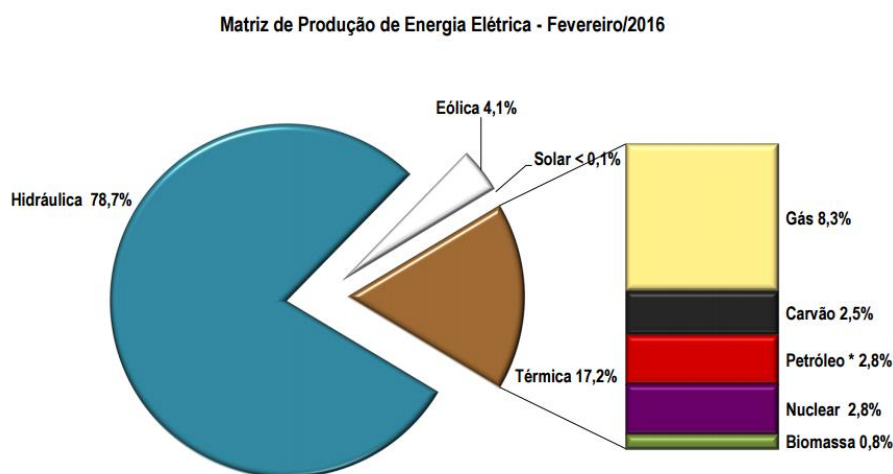
Também se prevê ações no campo da eficiência energética, através de iniciativas e programas, a economia de energia poderia chegar a 53 TWh em 2030.

## 2.3 Produção

O desenvolvimento da eletricidade abriu perspectivas para o aproveitamento direto da energia hidráulica. Em alguns países e ainda no Brasil, a água é a fonte predominante para suprimento da população (FERRAZ FILHO; PATELLO DE MORAES, 2002).

Com base nos estudos atualizados mantidos pelo Ministério de Minas e Energia-MME (2016) a produção acumulada de energia elétrica no Brasil no período de março de 2015 a fevereiro de 2016 atingiu 537.690,00 GWh. Mantendo a sua representatividade como principal fonte de geração a energia hidráulica, no mês de fevereiro de 2016, a geração hidráulica correspondeu a 78,7% do total gerado no país, 17,2% a participação de usinas térmicas, 4,1% a geração eólica e menor a 0,1% a geração solar na matriz de produção de energia elétrica. A Figura 7 representa as porcentagens de cada uma das fontes de energia na matriz de produção de energia elétrica com melhor detalhe no segmento térmico.

Figura 7. Matriz de produção de energia elétrica no Brasil.



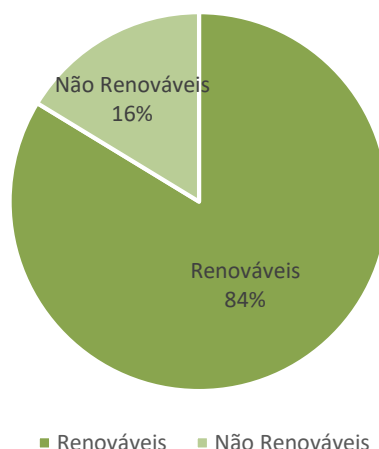
Fonte: MME (2016)

Destaca-se a energia eólica que desde o ano 2014, segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 2.686 MW, alcançando 4.888 MW ao final de 2014. Prevendo ainda o aumento para 7% até o final do decênio (EPE, 2012).

Na atualidade, a matriz energética brasileira é reconhecida internacionalmente por seu potencial de fontes renováveis, destacando-se os empreendimentos hidrelétricos para produção de eletricidade (REIS; FADIGAS; CARVALHO 2012). Em base aos dados da matriz de produção de energia elétrica as fontes renováveis representam 83,7% da produção de energia elétrica ao mês base de fevereiro/2016, como observa-se na Figura 8.

Figura 8. Quantificação das Energias Renováveis

Quantificação das Energias Renováveis  
Matriz de Produção de Energia Elétrica



Fonte: Autoria própria

## 2.4 Mercado consumidor

### 2.4.1 Consumo de energia elétrica

Documentos do MME (2016) em março do presente, informam os dados do consumo de energia elétrica atingiu 51.973 GWh, considerando autoprodução e acrescido das perdas, valor 5,7% superior ao verificado no mês anterior e representando aumento de 3,9% em relação ao consumo de março de 2015, comparando assim também em relação a este último no âmbito residencial foi registrado um aumento de 1,7%. Com certeza devido à expansão de unidades consumidoras residenciais, a qual ficou além da média histórica, 3,5%, desde 2004. Em 2015, 1,6 milhão de novas unidades foram acrescidas à base, o que significa um crescimento de 2,5% em relação a dezembro de 2014.

#### 2.4.1.1 Consumo de energia elétrica por setor

Os principais setores ou classes representantes pelo consumo da energia elétrica brasileira são: residencial, industrial, comercial, rural, outras classes e perdas. Em outras classes estão consideradas poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio das distribuidoras.

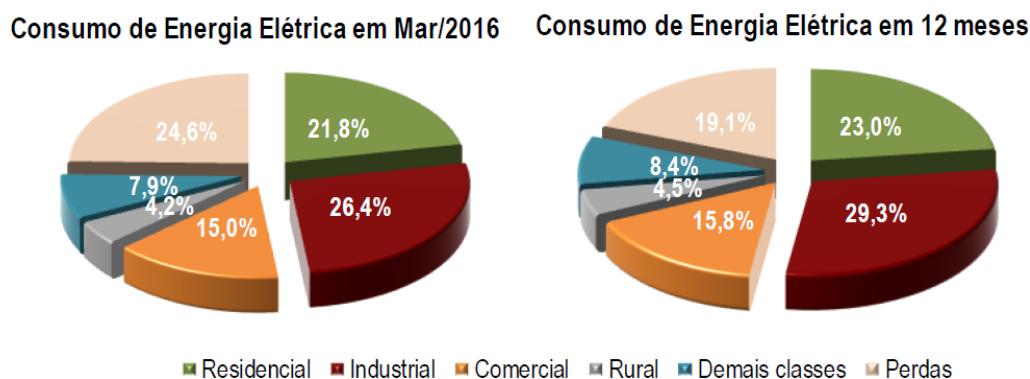
Entre 1980 e 2007, o consumo brasileiro de energia elétrica cresceu a uma taxa anual de 4,5%, passando de 122,7 a 412,6 TWh. No setor residencial presenciou-se um crescimento no

consumo maior do que o global, passando de 23,3 TWh em 1980 para 90,9 TWh em 2007, um aumento anual de 5,2% (ACHÃO; SCHAEFFER, 2009).

O setor residencial é representativo a um dos principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica no país. Segundo dados apresentados no Balanço Energético Nacional – BEN 2012 (BRASIL, 2012a), o setor residencial atingiu um consumo de 23,6% da energia elétrica total, em 2011, ficando atrás apenas do setor industrial, com 46,3%.

Após 5 anos observa-se o cenário residencial, foco desta dissertação, nos seguintes dados: no mês de março de 2016 existe uma porcentagem de consumo de 21,8% da energia elétrica total, somada ao 26,4% representante do setor industrial, 15% do comercial, 4,2% do rural, 7,9 % das outras classes e 24,6% de perdas com furtos e transmissão. O consumo de energia elétrica acumulado em 12 meses foi 23% no setor residencial, e os valores correspondentes em porcentagens aos outros setores se apresentam na Figura 9 (MME, 2016):

Figura 9. Consumo de energia elétrica no mês de março 2016 e acumulado em 12 meses.



Fonte: MME (2016)

As variáveis em destaque que influenciam o crescimento do consumo no setor residencial são entre elas o panorama do consumo das famílias.

A partir de 1994 começa a ocorrer uma elevada aquisição de diversos eletrodomésticos pelas famílias brasileiras (além do aumento da quantidade de horas de uso dos mesmos), o que impactou diretamente o consumo elétrico neste setor. O número de domicílios também influencia o consumo de energia, no decorrer do período de 22 anos a quantidade de lares aumentou 77%. A tentativa de reduzir o passivo habitacional, combinado ao crescimento populacional, colocaram no mercado nesse período cerca de 27 milhões de novas unidades consumidoras de energia (MME, 2014).

Representa-se na Figura 10 o número de unidades consumidoras por classe nos períodos março/2015 e março/2016, tendo uma evolução de 2,5% na classe residencial (MME, 2016).

Figura 10. Número de unidades consumidoras no Brasil: estratificação por classe.

| Número de Unidades Consumidoras | Período           |                   | Evolução    |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|
|                                 | Mar/15            | Mar/16            |             |
| Residencial (NUCR)              | 66.441.431        | 68.103.757        | 2,5%        |
| Industrial (NUCI)               | 571.973           | 545.750           | -4,6%       |
| Comercial (NUCC)                | 5.589.576         | 5.650.819         | 1,1%        |
| Rural (NUCR)                    | 4.280.783         | 4.382.969         | 2,4%        |
| Demais classes*                 | 747.250           | 759.008           | 1,6%        |
| <b>Total (NUCT)</b>             | <b>77.631.013</b> | <b>79.442.303</b> | <b>2,3%</b> |

Fonte: MME (2016)

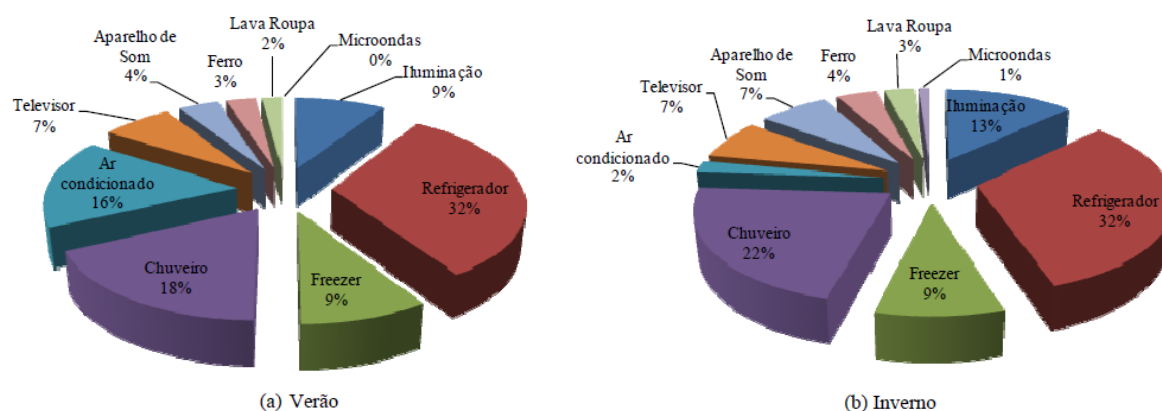
#### 2.4.1.2 Uso final de energia no setor residencial

Este trabalho concentra-se no estudo dos principais modos de usos finais de energia elétrica, no que se refere à iluminação e aparelhos eletrodomésticos.

Os primeiros a relatar sobre o uso final da eletricidade no setor residencial do Brasil abrangendo apenas algumas localidades no estado de São Paulo foram Jannuzzi e Schipper (1991) na década de 90. Depois foi a vez de Almeida et al. (2001), que baseados em um levantamento realizado em 1989 e patrocinado pelas Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás) e o Programa Brasileiro para a Conservação Eletricidade (PROCEL), narraram sobre os usos finais de eletricidade no setor residencial para as cinco regiões geográficas brasileiras. Seis anos mais tarde Ghisi et al. (2007) realizaram um estudo similar novamente patrocinado pela Eletrobrás e PROCEL. Logo em 2014 o Ministério de Minas e Energia (MME) com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) fizeram um estudo com anos base de 2005 e 2010, e ainda tendo informações relevantes ao ano de 2012.

Com base nos estudos realizados por Ghisi et al. (2007), as estações verão e inverno foram analisadas por separado, os quais apresentam a geladeira como a responsável pelo maior consumo de energia elétrica nas residências no Brasil em ambas estações, seguida do chuveiro com 18% no verão e 22% no inverno, logo após vem o ar condicionado com 18% e a iluminação com 9% no verão e no inverno com 13%, os outros aparelhos eletrodomésticos representam valores menores em termos de porcentagem aos já mencionados como pode-se observar na Figura 11.

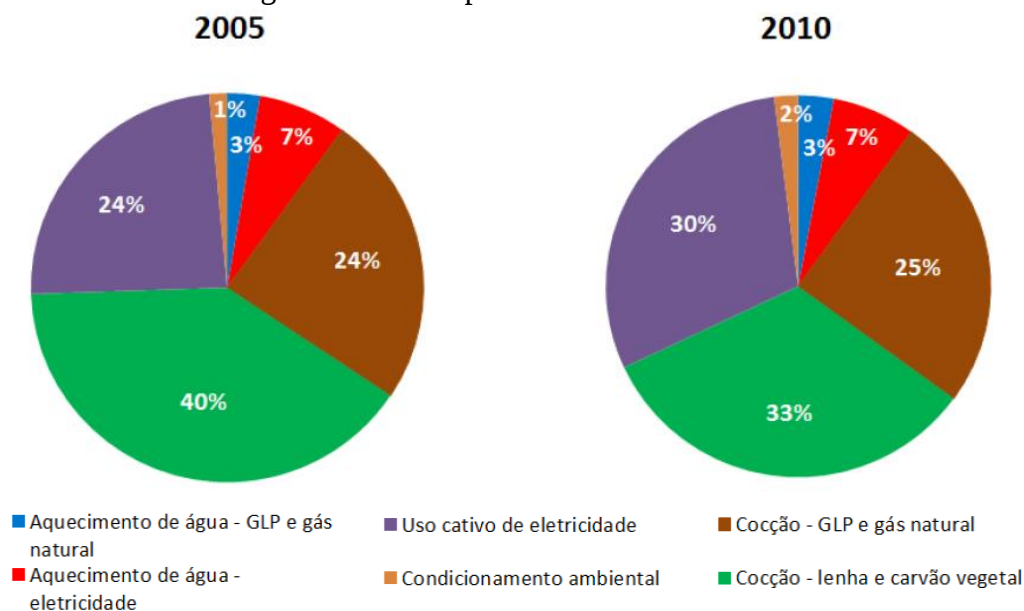
Figura 11. Uso final de eletricidade no Brasil ao longo do verão (a) e inverno (b).



Fonte: Original de Ghisi et al., adaptada por Fedrigo et al. (2009).

A tendência crescente de eletrificação tem sido corroborada ao analisar os diferentes usos finais de energia nas residências mostrando a distribuição da demanda de energia das famílias brasileiras, nos anos 2005 e 2010 (MME; EPE, 2014). Apresentando os resultados exibidos na Figura 12.

Figura 12. Demanda de Energia Residencial por Uso Final



Fonte: MME (2014), adaptada pelo autor.

Em ambos os anos, a cocção é o uso final com maior consumo energético nos lares: 64% do total em 2005 e 58% em 2010. A segunda maior parcela é o uso elétrico cativo, que inclui todos os eletrodomésticos de uso regular (geladeira, televisão, DVD, entre outros), além das lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Com 24% em 2005 e aumentando mais 6 pontos totalizando 30% em 2010. Consequentemente em terceiro lugar aparece o aquecimento de água,

com 10% da demanda de energia nos domicílios. Nestes dois anos amostrais verifica-se que a eletricidade foi a fonte de energia predominante para esta finalidade, com participação de 70%. A parcela restante, 30%, se deve aos aquecedores de água por combustão, a gás natural e a GLP. E finalmente está o uso final climatização de ambientes, com seu principal representante, o aparelho de ar condicionado, totalizando 1% em 2005 e 2% em 2010.

Em 2005 a média anual foi de 1.574 kWh/domicílio, sendo que mais da metade (71,0%) era destinada a eletrodomésticos, já em 2012 o consumo total aumentou atingindo 1.870 kWh/domicílio e os eletrodomésticos continuaram sendo a parcela majoritária, com 73,9% (1.382 kWh/domicílio), concluindo-se que o aumento da posse e uso de equipamentos elétricos efetivamente é o que pode explicar a elevação do consumo de eletricidade por domicílio (MME, 2014) e em 2014 segundo o Balanço Energético Nacional-BEN o setor residencial apresentou crescimento de 5,7%.

Por tanto devido ao aumento da demanda em 2007, segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) afirmam que em conformidade com a perspectiva que se pode formular para a economia brasileira, os estudos de longo prazo conduzidos pela EPE apontam forte crescimento da demanda de energia nos próximos 25 anos.

Levando em consideração a alta quantidade das perdas existentes no Brasil, segundo o *Institute Business Machine*, 14,7% do total da energia produzida no Brasil é dissipada no processo de distribuição (MANDELM, 2011) e o pouco crescimento do parque gerador nos últimos anos associado ainda aos inícios de uma crise hídrica como a sentida em 2015. Segundo o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (2008) haverá um balanço negativo na energia hidroelétrica no ano de 2020, nesse estágio, 80% do potencial de geração provavelmente já estará sendo utilizada e restrições ambientais não permitirão o uso pleno dos 20% restantes.

Cria-se então uma situação de alto risco da falta de energia elétrica no país direcionando-o à uma crise energética onde racionamentos de energia podem acontecer como o vivenciado em 2001. A população foi imposta frente à edição da Medida Provisória n. 2198/2001. Um racionamento de energia já previsto, mas anunciado de forma surpresa deixando a todos limitados ao uso daqueles equipamentos modernos que tinha crescido de forma notória nos últimos anos, os quais ofereciam mais conforto nos lares brasileiros. “Desligaram-se os fornos de micro-ondas e os freezers e apagaram-se muitas lâmpadas. As ruas começaram a ficar mais escuras. Os luminosos foram sendo desligados. E por aí fomos caminhando, surpreendidos com o que a gíria popular batizou de apagão.” (FERRAZ FILHO; PATELLO DE MORAES, 2002)

## 2.5 Eficiência Energética

A necessidade de um sistema elétrico confiável e o aumento nas perdas de energia e pressões ambientais, principalmente da comunidade internacional, tem feito com que fossem intensificadas as ações de eficiência energética na geração, distribuição e no consumo final (SOLA et al., 2007).

Com base na Nota Técnica DEA 10/14 sobre Consumo da energia no Brasil: Análises Setoriais (2014) no que se refere aos principais programas de eficiência energética estabelecidos no país, todos englobam ações no segmento residencial. Este é o caso do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e do Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e gás natural (CONPET), que atuam na aferição de desempenho de eletrodomésticos, na conscientização e na redução das demandas elétrica e energética em edificações, respectivamente.

Ademais houve a publicação de diversas portarias interministeriais que regulamentaram a Lei de Eficiência Energética n. 10.295/2001 dentro da expectativa de eficiência energética no Brasil, que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Esta lei determina que os equipamentos devem obedecer níveis mínimos de eficiência, representando a importância em termos das ações de política pública capaz de intensificar o sucesso dos programas desenvolvidos pelo PROCEL e CONPET.

Surgiram também incentivos ao uso racional de energia pelo estabelecimento do Programa de Eficiência Energética das distribuidoras (PEE) da ANEEL (Lei nº 9.991/2000), a qual implanta de forma obrigatória a aplicação do montante mínimo de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica em programas de eficiência energética. No programa existem 1.500 projetos registrados, os quais preveem uma economia de 3.900 GWh/ano e uma demanda retirada de ponta de 1.256 MW, cujos investimentos são destinados prioritariamente a projetos voltados para população de baixa renda (60,0 %), aos setores residencial (10,6%) e público (10,5 %) (ROCHA DOS SANTOS et al., 2015).

A Figura 13 a seguir apresenta um quadro, o qual resume as onze portarias que tiveram aplicação no setor residencial e abrangeram seis diferentes categorias de produtos.

Figura 13. Regulamentação da Lei 10.295/2001 no Setor Residencial

| <b>Legislação Específica</b>                                          | <b>Equipamentos Contemplados</b> |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Portarias Interministeriais<br>nº 132/2006 e nº 1008/2010             | Lâmpadas Fluorescentes Compactas |
| Portarias Interministeriais<br>nº 362/2007 e nº 326/2011              | Refrigeradores e Congeladores    |
| Portarias Interministeriais<br>nº 363/2007 e nº 325/2011              | Fornos e Fogões a Gás            |
| Portarias Interministeriais<br>nº 364/2007, nº 323/2011 e nº 324/2011 | Condicionadores de Ar            |
| Portaria Interministerial nº 298/2008                                 | Aquecedores de Água e Gás        |
| Portaria Interministerial nº 1007/2010                                | Lâmpadas Incandescentes          |

Fonte: EPE (2014)

Neste contexto, este trabalho procura fazer uma análise do impacto causado para o consumidor quanto para o sistema elétrico da consequente introdução das lâmpadas a LED nas instalações residências.

### **3 INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, CONSIDERANDO A QUALIDADE DE ENERGIA**

Nas instalações residenciais encontram-se a classificação de equipamentos de utilização pertencentes à categoria equipamentos elétricos. Os equipamentos de utilização podem ser classificados em três grandes categorias: equipamentos industriais ou análogos, aparelhos de iluminação e equipamentos não industriais (COTRIM, 2010), sendo objeto de estudo deste capítulo as duas últimas categorias.

#### **3.1 Iluminação**

A iluminação é um dos principais usos finais da energia elétrica. Sendo relevante no seu consumo e demanda de potência no setor residencial correspondendo à utilização de lâmpadas. A primeira lâmpada disponível para uso residencial foi a de Thomas Edison, no final do século XIX e, no decorrer do tempo descobertas e pesquisas levaram ao alcance de diversidade de lâmpadas residenciais existentes hoje no mercado. Cada uma com suas vantagens e desvantagens buscando eficiência luminosa, encanto decorativo e ainda redução no consumo de energia.

Nas últimas duas décadas, os sistemas de iluminação vem sofrendo transformações no quesito evolução em equipamentos e dispositivos eletrônicos auxiliares para os processos de ignição, com o objetivo principal de promover a eficiência e reduzir o consumo energético destes novos sistemas (BRAGA et al., 2014).

Segundo o estudo de avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil, com a análise de cinco setores territoriais, a participação do uso iluminação em relação ao consumo médio faturado representa 19% do consumo total por domicílio no Sudeste, valor máximo em comparação aos outros setores.

##### **3.1.1 Retrospectiva das diversas tecnologias de lâmpadas de uso residencial**

A primeira lâmpada elétrica comercializada surgiu a partir do desenvolvimento da lâmpada incandescente por Thomas Edison em 1879 com base na patente de Woodward e Evans e outros inventores que vinham desenvolvendo e aprimorando a ideia de criar dispositivos para gerar luz artificialmente desde 35 anos antes. Este tipo de lâmpada foi umas das maiores

invenções de toda a história, pois acabaram substituindo os lampiões a gás, os quais eram bastante perigosos, poluentes e apresentavam uma luminosidade relativamente limitada.

Este tipo de lâmpada é composta por um filamento de carbono de alta resistência em um alto vácuo contido em um bulbo de vidro. Quando a corrente flui pelo filamento fino, por efeito joule ele se aquece e se torna incandescente emitindo luz, quanto maior a temperatura do filamento mais energia é radiada em forma de luz e calor. É uma lâmpada confortável aos olhos, de cor amarelada, entretanto pouco eficiente, somente de 5 a 10% da energia consumida se transforma em luz.

Após a patente de Edison, 63 anos mais tarde, a denominada lâmpada fluorescente, invenção de Nikola Tesla, foi introduzida no mercado consumidor em 1938. Caracterizada por ser um tipo de lâmpada mais eficiente por emitir mais energia eletromagnética em forma de luz do que calor.

Pertencente ao grupo de lâmpadas de descarga por produzir a luz por uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, precisando de um dispositivo regulador de corrente ligado no circuito com a função de limitar a corrente para que a reação seja sempre controlada e a emissão de luz seja uniforme. A lâmpada é composta por um bulbo externo, tubo de descarga, um distanciador mecânico ou suporte, eletrodo de partida e o eletrodo auxiliar, um resistor e a base.

Em 1958 as lâmpadas halógenas foram introduzidas. Com filamento de tungstênio em um gás inerte com uma pequena quantidade de halogênio. Tem como vantagens em relação às incandescentes comuns: a sua vida mais longa, 30% mais econômicas, ausência de enegrecimento do tubo, excelente reprodução de cores e dimensões reduzidas.

Existem as lâmpadas fluorescentes tubulares que são de baixa pressão, onde a luz é produzida por fluorescentes ativados pela luz ultravioleta resultante da reação do vapor de mercúrio com a descarga elétrica vinda do eletrodo, presentes em dois modelos: com starter e sem starter. No modelo sem starter a reação inicia pelo reator que fornece uma alta tensão, já no modelo com starter um circuito eletrônico de alta frequência cuida do início da reação de forma mais eficaz e mais rápida consumindo menos eletricidade para seu funcionamento.

Tem-se também as lâmpadas fluorescentes compactas, cujo princípio de funcionamento é semelhante à lâmpada fluorescente tubular, a diferença vem da base conjugada com o reator eletrônico de baixo consumo de energia. Estas conseguem emitir uma luz com coloração mais próxima à da luz incandescente tendo efeito decorativo agradável (COTRIM, 2007).

As lâmpadas fluorescentes tornaram-se populares em muitos países pela sua economia em energia, sendo 80% mais econômicas que as incandescentes, além do maior tempo de vida.

Já em outras nações, como nos EUA por exemplo, esta mudança de tecnologia não foi tão bem-sucedida, pois a transição dos consumidores das antigas incandescentes para os modelos mais eficientes foi lenta, principalmente em lugares onde as incandescentes eram muito mais baratas. O consumidor migrou para as fluorescentes quando proibido o uso das incandescentes pelo governo (KASTRENAKES, 2016).

No Brasil, a lâmpada de filamento tem sido restrita de forma gradual no mercado de acordo ao estabelecido pela Portaria Interministerial 1.007/2010, com o objetivo de minimizar o desperdício no consumo de energia elétrica. As de 150, 100 e 60W já foram retiradas do mercado enquanto as lâmpadas de 25 a 40W tem prazo de até junho de 2017 para deixarem de ser comercializadas. Assim como Cuba as proibiu em 2005; Argentina, em 2008; Rússia, em 2011 e nos EUA em 2014.

Finalmente nesta evolução histórica das lâmpadas de uso residencial se apresentam as lâmpadas LED que chegaram ao ramo iluminação a partir de 1999 e agora estão mais presentes no mercado, mas foram criadas em 1961 por pesquisadores da Texas Instruments, Robert Biard e Gary Pittman, nos EUA. Objeto de estudo deste trabalho apresentam-se mais detalhes desta tecnologia na seguinte seção, a continuação na figura 14 observa-se as diversas tecnologias de lâmpadas de uso residencial mencionadas.

Figura 14. Diversas tecnologias de lâmpadas de uso residencial



Fonte: Revista Pré-Univesp, adaptada pelo autor (2016)

### 3.1.2 Tecnologia LED

Na tecnologia LED a luz é emitida através de um fluxo de corrente por um diodo com uma junção cátodo-ânodo (P-N) que polariza o diodo fazendo com que muitos elétrons não tenham energia suficiente para passarem da banda de valência para a banda de condução eles ficam em uma zona não estável chamada de zona proibida, como não é possível sua permanência nesse estado, o elétron necessita perder energia para retornar a banda de valência, a energia é perdida em forma de fóton de luz.

No final do século XX, o uso deste tipo de lâmpadas na iluminação geral, ainda estava em sua infância. No entanto, desde a virada do século existe uma revolução em iluminação e a iluminação LED está a caminho para se tornar a norma principal tanto dentro como fora de casa (KASIER, 2016).

Este tipo de lâmpadas é composto por materiais como o alumínio, estanho, cobre e níquel, além do plástico, componentes eletrônicos, fenóis e vidro. Nenhum destes componentes é nocivo, porém a reciclagem dos componentes eletrônicos só é possível com a separação dos materiais, a seguir na Figura 15 apresentam-se imagens desta tecnologia.

Figura 15. Lâmpadas LED.



Fonte: ML (2016)

No avanço desta tecnologia existe a integração da unidade de controle do LED nas mais variadas formas de lâmpadas. Existem LEDs monocromáticos, brancos, LEDs multicoloridos que contêm três LEDs dentro de uma única embalagem, também referidos como LEDs RGB. RGB representa as cores vermelho, verde e azul, com estas três cores e os controles certos, pode-se definir uma grande variedade de cores de iluminação, permitindo escolher a cor adequada para cada lugar e ocasião.

Também existem as faixas de LED, que são relativamente flexíveis e maleáveis, as quais se podem encontrar de acordo com o comprimento desejado e são conectadas por um cabo de alimentação comum.

O baixo consumo de energia, vida útil mais longa, sua versatilidade e menor impacto ambiental são as principais características desta nova tecnologia.

### **3.1.2.1 Vantagens do uso da Tecnologia LED**

As lâmpadas LED são mais eficientes, quase toda a energia fornecida é transformada em luz. Em comparação com outras tecnologias elas produzem muito mais luz por unidade de energia fornecida (lumen / Watt), conduzindo a poupanças de até 90% da energia utilizada para a iluminação, diretamente resultando numa baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Além disso não é utilizado enxofre, vapores de mercúrio nem outros metais perigosos para o meio ambiente durante a sua produção.

Têm uma longa vida útil em comparação com outros tipos de lâmpadas. Em relação a média de vida de uma lâmpada halógena de 3.000 horas com o tempo de vida de LEDs que vão desde 50.000 até 100.000 horas. Quando usado 8 horas por dia, a lâmpada de halogéneo dura cerca de um ano, ao passo que as LEDs tem uma duração de pelo menos 17 anos. No entanto, isso não significa que estas sempre vão durar todo esse tempo na vida real, como os LEDs são controlados pela eletrônica de potência, esta deve ter qualidade suficiente, a fim de coincidir com a expectativa de vida do LED.

As lâmpadas LED emitem muito pouco calor em comparação às fontes de luz anteriores, por isto também da sua maior durabilidade. Tornando-as mais seguras para tocá-las enquanto estão em funcionamento. Os LEDs não são sensíveis à vibração e frio, podendo ser também dispositivos a prova de água tornando-as ideais para uso externo e condições mais rigorosas de temperatura. Os fabricantes fazem todo o possível para manter a temperatura de funcionamento tão baixa quanto possível para seus acessórios.

Uma outra vantagem deste tipo de lâmpadas é o aproveitamento total do fluxo luminoso diferente das fluorescentes, onde parte deste fluxo é perdido no rebatimento nas luminárias.

Na atualidade a introdução desta tecnologia é cada vez maior, e as políticas de uso estão aumentando. No Brasil, a comercialização de lâmpadas de LED tem aumentado de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux), atualmente, as lâmpadas de LED representam 10% do mercado total (MOREIRA, 2015).

Nos EUA por exemplo a General Electric está acelerando o tempo de mudança para tecnologias mais eficientes, fazendo desaparecer as lâmpadas fluorescentes compactas das prateleiras norte-americanas até 2017. A General Electric anunciou que até o fim deste ano encerrará a produção das fluorescentes no país para se focar apenas na Tecnologia LED como modelo de lâmpada eco-consciente (KASTRENAKES, 2016).

O único ponto desfavorável é o alto custo de aquisição destes equipamentos, porém com os incentivos de produção tendem a melhorar.

A sua longa vida útil e maior eficiência energética evidencia superioridade quando comparadas com as lâmpadas incandescentes, no entanto o uso destas novas tecnologias traz comprometimento ao que se refere qualidade de energia ofertada e consequentemente injetada na rede do sistema onde elas são empregadas devido ao surgimento de distorções indesejadas e ao baixo fator de potência (BRAGA et al., 2014).

### **3.1.3 Regulamentos e Normas para o uso das lâmpadas LED**

A preocupação enquanto à qualidade dos novos equipamentos de iluminação introduzidos no mercado não faltou, por isto o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO lançou a cartilha de lâmpadas LED com regulamentos e informações ao consumidor, propondo que estas devem ser certificadas, atendendo a requisitos mínimos com foco no desempenho energético, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética (MDIC, 2016).

Deve-se informar o que se precisa conhecer no momento de adquirir uma lâmpada LED, assim por exemplo: os tipos de lâmpadas pela sua potência (alta ou baixa), pela sua distribuição luminosa (direcional, não direcional, tubulares), pela sua temperatura de cor (quente, fria ou neutra), assim como a etiquetagem que permite reconhecer quando um equipamento está avaliado pelo INMETRO, a qual especifica:

- A potência em Watts (W), para o efeito do consumo ao longo do tempo em uso do equipamento.
- O fluxo luminoso em lúmens (lm), quantidade de luz emitida.
- Eficiência luminosa (lm/W), relação do fluxo luminoso com a potência.
- E um número que identifica o registro de certificação junto ao selo da OCP (Organismo de Certificação de Produto), que realizou a certificação.

- A lâmpada LED também deverá apresentar a equivalência com relação à fluorescente, além da comparação com a incandescente já existente na embalagem, conforme se apresenta a Figura 16.

Figura 16. Etiqueta INMETRO-lâmpadas LED.



Fonte: MDIC (2016)

O INMETRO publicou a portaria n. 389 na qual se apresenta o Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ) para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado a base, que dispõe sobre os requisitos mínimos exigidos tais como desempenho, requisitos de segurança entre outros. Na qual se estabelece normas de fator de potência e limite das correntes harmônicas (INMETRO, 2014).

Os requisitos técnicos estabelecidos para o fator de potência, FP, se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Requisitos técnicos para FP

| Potência da lâmpada                | Portaria<br>n. 389/2014 |
|------------------------------------|-------------------------|
| Potência < 5W                      | N.A.                    |
| $5W \leq \text{Potência} \leq 25W$ | $\geq 0,70$             |
| Potência > 25W                     | $> 0,92$                |

Fonte: Autoria própria

Já as correntes harmônicas não devem exceder os limites relativos expostos na Figura 17, de acordo com a norma IEC 61000-3-2.

Figura 17. Requisitos técnicos de limite das correntes harmônicas

| Ordem Harmônica<br>( $n$ )                        | Correntes harmônicas máximas permitidas,<br>expressas como porcentagem da corrente de<br>entrada na frequência fundamental (%) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                                                 | 2                                                                                                                              |
| 3                                                 | $30 \lambda$                                                                                                                   |
| 5                                                 | 10                                                                                                                             |
| 7                                                 | 7                                                                                                                              |
| 9                                                 | 5                                                                                                                              |
| $11 < n < 39$<br>(Somente harmônicas ímpares)     | 3                                                                                                                              |
| onde: $\lambda$ é o fator de potência do circuito |                                                                                                                                |

Fonte: INMETRO (2014)

Uma vez que as lâmpadas de LED tubulares são destinadas a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares em aplicações onde o sistema já contempla alto fator de potência, as lâmpadas de LED tubulares devem apresentar fator de potência maior que 0,92 e as correntes harmônicas não devem exceder os limites relativos dados na Figura 17 (INMETRO, 2014).

Enquanto o INMETRO informa as características dos produtos disponíveis no mercado, o Selo PROCEL, Programa coordenado pela Eletrobrás, destaca aqueles mais eficientes, facilitando a escolha dos consumidores.

O Selo PROCEL de Economia de Energia, ou simplesmente Selo PROCEL, tem como finalidade ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia (PROCELINFO, 1993). Dentro das categorias avaliadas tem-se: eletrodomésticos, lâmpadas e reatores, bombas e motores e sistemas solares.

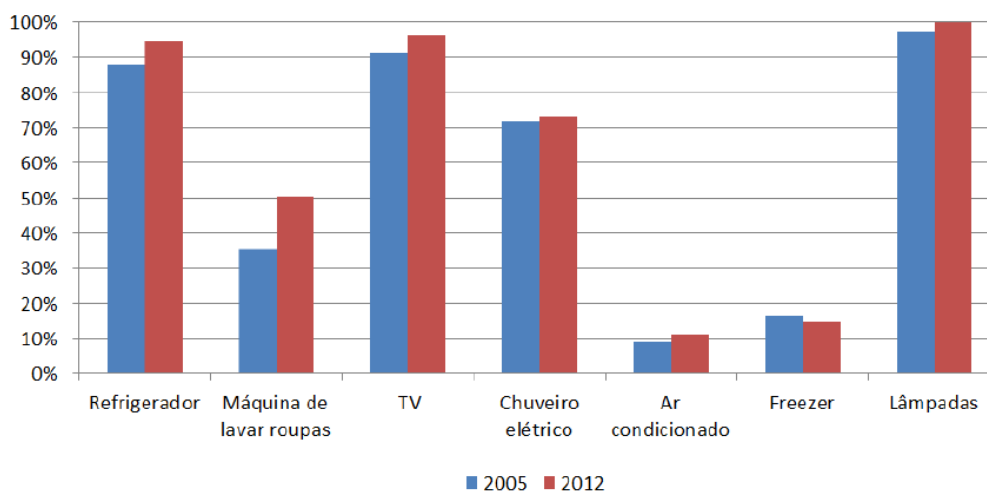
No caso as lâmpadas LED pertencem a uma subcategoria que para a obtenção do Selo PROCEL, estas tem que seguir rigorosamente as normas estabelecidas no documento *Critérios para a concessão do selo PROCEL de economia de energia a lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base*, o qual é de fácil acesso no site ProcelInfo, sendo preocupação absoluta dos fabricantes. Já os consumidores devem ter o cuidado de verificar a presença do selo na embalagem do equipamento. O PROCEL também disponibiliza a lista de Lâmpadas LED já cadastradas no seu site.

### 3.2 Aparelhos eletrodomésticos

Os aparelhos eletrodomésticos pertencentes à categoria de equipamentos não industriais tem se caracterizado por apresentar crescimento no uso das famílias brasileiras, próprio de um

país em desenvolvimento, como pode-se observar a continuação no gráfico da Figura 18 a qual indica a evolução da posse de alguns equipamentos eletrodomésticos entre 2005 e 2012 segundo a EPE.

Figura 18. Posse Média de Equipamentos Eletrodomésticos no Setor Residencial.



Fonte: MME (2014)

Segundo estudo feito pela EPE (2014), verifica-se que em quase todos os casos houve aumento no percentual de posse, é o caso das amostras analisadas: refrigeradores, máquinas de lavar roupas, televisores, chuveiros elétricos, condicionadores de ar e lâmpadas. A exceção foi com os *freezers*, onde se verificou redução de 16,5% para 14,7% nos domicílios.

No ano 2012 os sete equipamentos discutidos acima foram responsáveis por 81% do consumo de eletricidade nos domicílios brasileiros, conforme a Figura 19.

Figura 19. Posse Média de Equipamentos Eletrodomésticos.

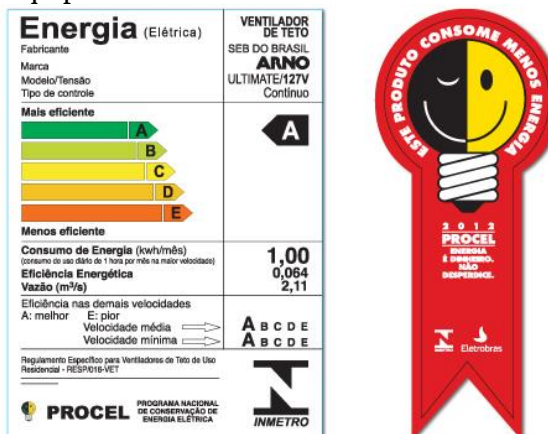


Fonte: MME (2014).

Quantifica-se à geladeira e chuveiro elétrico como os pioneiros em consumo com 18% cada um, seguidos da iluminação 16%, TV 13%, condicionador de ar 8%, freezer 5% e máquina de lavar roupas 2%. Significando maior desenvolvimento do país e melhoria do bem-estar das famílias. Da mesma forma que a iluminação, os eletrodomésticos também são supervisionados pelo INMETRO e PROCEL para a sua classificação quanto à eficiência energética,

classificando-se com nível A, o mais eficiente, até o nível E, menos eficiente, como representado na Figura 20.

Figura 20. Selo PROCEL equipamentos eletrodomésticos.



Fonte: PROCEL (2016).

Neste estudo as cargas a serem analisadas na instalação residencial nos ensaios do capítulo 4 representam ao redor de 50% na ordem do estudo de posse média de equipamentos eletrodomésticos nas residências brasileiras.

### 3.3 Qualidade de energia

A qualidade de energia segundo Martinho (2010) passa por uma variedade de termos que transitam por inúmeras áreas do sistema de energia elétrica, desde geração, transmissão e distribuição até o consumo, passando por problemas relacionados com funcionamento de equipamentos, comunicação, telefonia, dados, entre outros.

O termo em si é usado para caracterizar qualquer variação de amplitude, de frequência, e/ou qualquer deformação de forma de onda das grandezas elétricas, quer seja em condições de regime transitório ou permanente num sistema elétrico de energia que pode causar a falha ou o mau funcionamento dos equipamentos elétricos.

Devido ao crescimento da automação nos prédios residências e uso da eletrônica de potência nos aparelhos elétricos os segmentos residências, comerciais e industriais começaram a sentir a necessidade de tratar os distúrbios causados pela introdução das cargas não lineares e consequentemente a demanda por equipamentos de melhor qualidade para suportar ou suprimir estes ruídos.

### 3.3.1 Conceitos fundamentais

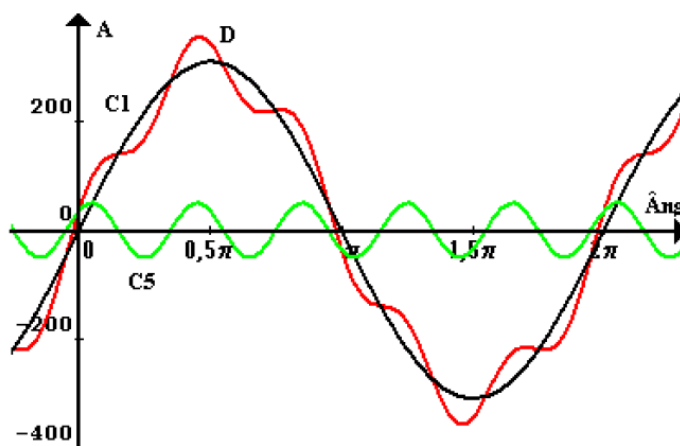
Vários conceitos relevantes podem-se citar, nesta secção mencionam-se os utilizados neste trabalho, como são: distorções harmônicas, espectro harmônico, taxa de distorção harmônica total, fator de potência e cargas geradoras de harmônicas.

#### 3.3.1.1 Distorções harmônicas

As harmônicas são fenômenos contínuos e periódicos ocorrendo quando há combinação da sua componente fundamental com seus múltiplos inteiros de amplitudes peculiares (BITZER, 2004), estão entre os responsáveis pela distorção das formas de onda, pelas alterações da frequência e do valor eficaz da tensão e da corrente e classificam-se quanto a sua ordem, frequência e sequência.

Existem dois tipos de harmônicas, as ímpares e as pares. As ímpares são encontradas nas instalações elétricas em geral, e as pares existem nos casos de haver assimetrias do sinal devido à presença de componente contínua. A sequência pode ser positiva, negativa ou nula, a seguir a figura 21 representa uma onda repleta de harmônicas.

Figura 21. Onda distorcida e componentes harmônicas.



Fonte: Damato (2005)

Estas perturbações são responsáveis por sobreaquecimento de cabos e transformadores, aumento de perdas elétricas, redução do fator de potência, elevação do potencial do neutro, má operação do controle digital de equipamentos, conjugados pulsantes em máquinas elétricas e

falhas em equipamentos de uma instalação elétrica, entre outras perturbações (DAMATO, 2005).

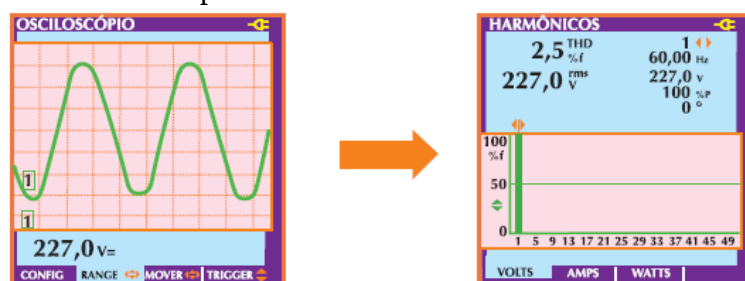
### 3.3.1.2 Espectro harmônico

O denominado espectro harmônico permite decompor um sinal em suas componentes harmônicas e representa-lo na forma de um gráfico de barras, onde cada barra representa uma harmônica com sua respectiva frequência, valor eficaz e defasagem (MORENO, 2001)

O espectro harmônico é uma representação da forma de onda no domínio da frequência. Na teoria o espectro harmônico de qualquer sinal deformado teria componentes infinitas, mas na prática uma boa precisão da medição é obtida considerando as harmônicas até a ordem 30. Segundo a Schneider os distribuidores de energia supervisionam as harmônicas de ordem 3, 5, 7, 11 e 13.

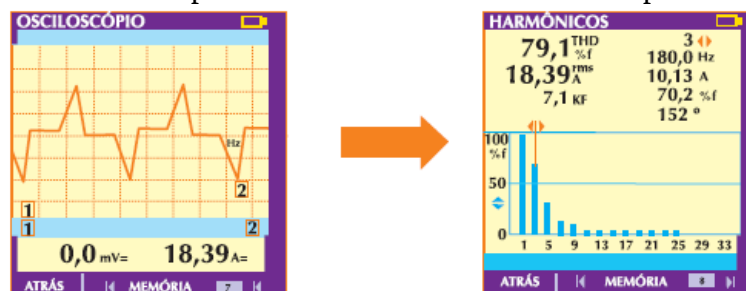
A figura 22 apresenta a forma de onda e o espectro harmônico de um sinal senoidal enquanto a figura 23 apresenta uma forma de onda com perturbações e consequentemente a presença de harmônicas no seu espectro.

Figura 22. Forma de onda e o espectro harmônico de um sinal senoidal.



Fonte: Moreno (2009)

Figura 23. Forma de onda e o espectro harmônico de um sinal com perturbações.



Fonte: Moreno (2009)

### 3.3.1.3 Taxa de distorção harmônica total

No que se refere à quantificação da qualidade de energia elétrica, uma das formas mais conhecidas em relação as harmônicas, é o valor total da distorção harmônica encontrada em uma forma de onda, dado seu conteúdo harmônico. Através de uma unidade quantitativa, a Distorção Harmônica Total (DHT) pode ser expressa em porcentagem.

A DHT pode-se definir tanto para tensão como para corrente.

#### 3.3.1.3.1 DHT em tensão

A Distorção Harmônica Total em tensão ( $DHT_v$ ) caracteriza a forma de onda da tensão, e pode ser calculada pela equação (1) a seguir.

Equação 1. DHT de tensão

$$DHT_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$V_h$  é o valor eficaz da componente da tensão harmônica de ordem  $h$ ;

$V_1$  é o valor eficaz da componente fundamental da tensão harmônica.

Valor do  $DHT_v$  medido e fenômenos absorvidos em uma instalação:

Um valor de  $DHT_v$  inferior à 5% é considerado como normal. Alguma irregularidade não é temida.

Um valor de  $DHT_v$  compreendido entre 5 e 8% revela uma poluição harmônica significativa. Quaisquer irregularidades são possíveis.

Um valor de  $DHT_v$  superior a 8% revela uma poluição harmônica considerável. Irregularidades são prováveis, uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessários.

#### 3.3.1.3.1 DHT em corrente

A procura do poluidor se efetua medindo o DHT em corrente na entrada e em cada uma das saídas de diferentes circuitos, afim de se orientar em direção ao perturbador.

A Distorção Harmônica Total em corrente (DHT<sub>i</sub>) caracteriza a forma de onda da corrente, e pode ser calculada pela equação (2) a seguir.

Equação 2. DHT da corrente

$$DHT_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$I_h$  é o valor eficaz da componente de corrente harmônica de ordem  $h$ ;

$I_1$  é o valor eficaz da componente fundamental de corrente harmônica.

Valor do DHT<sub>i</sub> medido e fenômenos absorvidos em uma instalação:

Um valor de DHT<sub>i</sub> inferior a 10% é considerado como normal. Alguma irregularidade não é temida.

Um valor de DHT<sub>i</sub> compreendido entre 10 e 50% revela uma poluição harmônica significativa. Existe risco de aquecimento, este que implica o sobredimensionamento dos cabos e das fontes.

Um valor de DHT<sub>i</sub> superior a 50% revela uma poluição harmônica considerável. Irregularidades são prováveis. Uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessários.

#### 3.3.1.4 Fator de Potência

O fator de potência (FP) é um dos indicadores essenciais que permitem quantificar e avaliar a distorção harmônica das ondas de tensão e de corrente.

O termo FP e  $\cos \varphi$  geralmente são usados como sinônimos, o que é apropriado somente quando no circuito não existirem harmônicas, ou seja se os sinais forem senoidais puros. O fator de potência real considera os ângulos de fase de cada componente harmônica e a potência reativa necessária para reproduzi-las, sendo o valor que deve ser corrigido nas instalações elétricas.

A representação matemática do FP levando em consideração as harmônicas, apresenta-se na equação (3) a seguir.

Equação 3. Cálculo do fator de Potência.

$$FP \cong \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{1 + DHT_1^2}} \quad (3)$$

Como se observa na equação (3) o fator de potência é inversamente proporcional à distorção harmônica total do equipamento, quanto maior a taxa de distorção harmônica menor o FP.

### 3.3.1.5 Cargas geradoras de harmônicas

Os harmônicos resultam da instalação de cargas não-lineares, que são cargas em que a corrente que é absorvida pelo equipamento não tem a mesma forma da onda da tensão de alimentação, o que acontece quando se faz uso da eletrônica de potência no controle de diversos equipamentos, como lâmpadas fluorescentes compactas, retificadores, controladores de velocidade e outras cargas alimentadas por dispositivos eletrônicos de potência, a qual faz uso de diodos, transistores e tiristores, sendo que de forma geral todos operam em modo de interrupção.

O resultado ocasionado pela introdução deste tipo de cargas sem linearidade resulta na circulação de correntes não senoidais pelo circuito e a consequente distorção harmônica.

Existem também as cargas lineares, que são constituídas por resistências, indutâncias e capacitâncias, cujas formas de onda de corrente tem a mesma forma da onda de tensão, sempre senoidais.

Com estas características, nas instalações residenciais podem-se agrupar as cargas conforme ao seu comportamento na rede. Com este critério é possível encontrar quatro categorias:

Cargas com comportamento não linear: a corrente se encontra praticamente em fase com a tensão apresentando com frequência um leve comportamento capacitivo. Exemplo: televisores, microondas, equipamentos de som, computadores, iluminação fluorescente com equipamentos auxiliares de eletrônica de potência sem filtros.

Cargas com comportamento linear: a corrente se encontra em fase com a tensão, cargas puramente resistivas. Exemplos: lâmpadas incandescentes, secadores de cabelo, aparelhos de aquecimento como chuveiros, torradeiras.

Cargas que apresentam um comportamento quase linear: sua corrente se encontra defasada respeito à tensão. Exemplos: geladeiras, bebedouros, máquinas de lavar roupa, ventiladores, equipamentos condicionadores de ar, entre outros.

Cargas que apresentam defasagem e distorção de forma simultânea.

Além desta classificação pode-se incorporar os equipamentos que pelas suas próprias características causam defasagem e distorções, mas este comportamento foi corrigido pelo fabricante ou pelo usuário (ARGENTINA, 2006)

### **3.3.2 Efeitos e consequências das harmônicas**

As harmônicas circulam no sistema elétrico deteriorando a qualidade de energia, sendo origem de numerosos prejuízos.

Os principais efeitos a consequência da presença de harmônicas nas instalações são:

- Aumento das perdas: nos condutores, máquinas assíncronas, transformadores, capacitores.
- Sobrecarga dos materiais: nos alternadores, *no-breaks*, máquinas assíncronas, transformadores, capacitores, condutores de neutro.
- Perturbações das cargas sensíveis: como o efeito da deformação da tensão de alimentação, degradação dos sinais telefônicos.
- Fenômeno de ressonância
- Aquecimentos excessivos
- Vibrações e acoplamentos
- Redução do FP da instalação
- Tensão elevada entre neutro e terra
- Impacto econômico: perdas energéticas, custo adicional da contratação de serviço, sobredimensionamento e redução de vida dos materiais, disparos intempestivos e parada da instalação, causando de forma geral aumento das despesas com energia, envelhecimento dos materiais e perdas de produtividade.

### 3.3.3 Normas e regulamentação de harmônicas

Com o objetivo de atenuar rapidamente efeitos da poluição harmônica, estão em vigor as seguintes normas e regulamentações:

- Normas de compatibilidade entre redes elétricas e produtos.
- Normas de emissão aplicáveis aos produtos geradores de harmônicas

#### 3.3.3.1 Normas de compatibilidade entre redes elétricas e produtos.

Estas normas dão diretrizes, para a compatibilidade entre as redes elétricas e os produtos, significa que: as harmônicas geradas por um aparelho não devem perturbar a rede além de níveis especificados e cada aparelho deve poder funcionar normalmente na presença das perturbações iguais aos níveis especificados.

**IEC 1000-2-2** para as redes públicas em baixa tensão.

**IEC 1000-2-4** para as instalações industriais baixa e média tensão.

**IEEE 519** (Recommended practices for harmonics control in electrical power systems), é uma aproximação conjunta entre o distribuidor de energia e o cliente para limitar o impacto das cargas não-lineares.

Os distribuidores de energia incentivam as ações de prevenção afim de reduzir as degradações da qualidade da eletricidade, os aquecimentos e as alterações do fator de potência. Refletindo cada vez mais a possibilidade de taxar os clientes poluidores, como já acontece nas indústrias e que num futuro, com a instalação dos medidores inteligentes nas residências, acontecerá também neste setor.

#### 3.3.3.2 Normas de emissão aplicáveis aos produtos geradores de harmônicas.

**IEC 61000-3-2 ou EN 61000-3-2** para os aparelhos baixa tensão absorvendo uma corrente inferior a 16A.

**IEC 61000-3-4 ou EN 61000-3-4** para os aparelhos baixa tensão absorvendo uma corrente superior a 16A.

Segundo o relatório técnico da IEC (1998) a norma pode ser aplicada a qualquer equipamento elétrico ou eletrônico, cuja corrente de entrada seja maior que 16 A. Sua tensão de alimentação deve ser menor que 240 V para equipamentos monofásicos ou menor que 600V

para equipamentos trifásicos. A frequência nominal da rede pode ser 50 Hz ou 60 Hz. Ver os valores correspondentes na Figura 24 a seguir.

Figura 24. Limites individuais de harmônicos de corrente em % fundamental.

| Tabela 2.3 - Limites individuais de harmônicos de corrente em % da fundamental |                                           |      |                                                         |       |       |       |          |          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|--|
| Mínimo Rsce                                                                    | Fator de distorção harmônica admissível % |      | Limites individuais de harmônico admissível $I_n/I_1$ % |       |       |       |          |          |  |
|                                                                                | THD                                       | PWHD | $I_3$                                                   | $I_5$ | $I_7$ | $I_9$ | $I_{11}$ | $I_{13}$ |  |
| 66                                                                             | 25                                        | 25   | 23                                                      | 11    | 8     | 6     | 5        | 4        |  |
| 120                                                                            | 29                                        | 29   | 25                                                      | 12    | 10    | 7     | 6        | 5        |  |
| 175                                                                            | 33                                        | 33   | 29                                                      | 14    | 11    | 8     | 7        | 6        |  |
| 250                                                                            | 39                                        | 39   | 34                                                      | 18    | 12    | 10    | 8        | 7        |  |
| 350                                                                            | 46                                        | 46   | 40                                                      | 24    | 15    | 12    | 9        | 8        |  |
| 450                                                                            | 51                                        | 51   | 40                                                      | 30    | 20    | 14    | 12       | 10       |  |
| 600                                                                            | 57                                        | 57   | 40                                                      | 30    | 20    | 14    | 12       | 10       |  |

Fonte: IEC (1998)

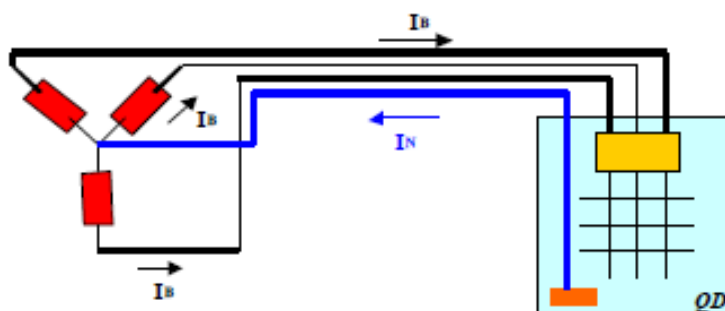
### 3.3.4 Soluções para atenuar as harmônicas

As soluções possíveis para atenuar os efeitos harmônicos são de três naturezas diferentes: adaptações da instalação, utilização de dispositivos particulares na alimentação como indutâncias ou transformadores especiais, e filtragem.

No caso das adaptações das instalações, o redimensionamento dos circuitos e dispositivos de proteção são prioritários.

Para exemplificar cita-se o dimensionamento do condutor neutro, cujo circuito trifásico é apresentado na Figura 25.

Figura 25. Dimensionamento do condutor neutro



Fonte: Moreno (2001)

Sabe-se que a corrente de neutro aumenta com a presença de harmônicas, portanto o redimensionamento deste condutor é necessário. Na corrente de neutro, as harmônicas de ordem três e suas múltiplas se somam algebricamente + correntes de desequilíbrio de cargas monofásicas, como na equação (4) a continuação.

Equação 4. Cálculo da corrente de neutro

$$I_N = \sqrt{3I_B} \quad (4)$$

Onde:

$$I_B = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots I_n^2}.$$

Portanto a corrente de projeto do circuito mudará e em consequência a seção do condutor deverá ser maior.

## 4 ENSAIOS, ANÁLISES E RESULTADOS

A predominância e o constante aumento de cargas não-lineares no sistema elétrico e a sua influência na Qualidade de Energia, vem sendo objeto de estudos e publicações, por introduzir problemas no sistema elétrico (BOLLEN, 2000).

O objetivo deste trabalho é, portanto, caracterizar os equipamentos elétricos encontrados com mais frequência em instalações residenciais. Para isto foram escolhidas amostras para serem analisadas abordando o problema de qualidade de energia elétrica em função da maioria dos equipamentos denominados eficientes, permitindo os estudos da sua eficiência e economia de energia no consumo deste setor comparando-os com sistemas de iluminação convencionais.

As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de eficiência LESIP e nas instalações do Departamento de Engenharia Elétrica - DEE.

### 4.1 Instrumentos de medição

Os instrumentos utilizados a fim de caracterizar os equipamentos de uma instalação residencial foram: analisador de qualidade de energia FLUKE 435 e sondas efeito hall, medidor eletrônico digital LANDIS GYR e fonte externa *Pacific Smart Source* 345-AMX

O FLUKE 435, instrumento analisador de qualidade de energia portátil, com módulo registrador que permite a configuração e visualização das medições na tela do instrumento, assim como a captura desses dados permitindo determinar a interação de valores de tensão, corrente e frequência, é um instrumento totalmente configurável para o número de fases a ser utilizado, frequência, tensão nominal, assim como a escolha das grandezas a serem medidas e suas respectivas escalas.

Este aparelho é o mais confiável para medições de qualidade de energia, portanto o principal aparelho de medição neste estudo. Utiliza a sonda efeito hall 80i-110s, sonda de corrente CA/CC de pinça concebida para reproduzir as formas de onda da corrente, pode-se observar na Figura 26 a sua ilustração.

Figura 26. FLUKE 435, analisador de qualidade de energia



Fonte: Manual do instrumento, adaptada pelo autor (2016)

O medidor eletrônico digital é um instrumento totalizador multifunção para medição de energia e demanda ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva em tarifa convencional ou multi-tarifa com 3 postos horários conforme norma ABNT, na versão multi-tarifa, atende as exigências da Portaria 456/ANEEL para faturamento de energia excedente reativa. Este é destinado a consumidores comerciais ou residenciais de pequeno porte, e foi usado neste trabalho com o intuito de constatar as medições realizadas de tensão, corrente e fator de potência. Pode-se observar na Figura 27 a sua imagen.

Figura 27. Medidor eletrônico digital



Fonte: Manual do instrumento, adaptada pelo autor (2016)

A fonte externa *Pacific Smart Source 345-AMX* com o controlador programável UPC-32 sincroniza o tipo de onda requerida seja senoidal, quadrada, triangular, o número de fases a serem usadas sejam uma duas ou três, a frequência desde 20Hz até 5000 Hz, assim como limites de corrente e tensão. Este instrumento foi usado com o objetivo de verificar o quanto a rede pode influenciar nas medições realizadas, ilustrada na Figura 28.

Figura 28. Fonte *Pacific Smart Source 345-AMX*



Fonte: Autoria própria (2016)

## 4.2 Metodologia utilizada

Para a caracterização e análises das instalações residenciais criou-se um ambiente próprio e procedeu-se a selecionar alguns equipamentos no âmbito iluminação e aparelhos eletrodomésticos. Na iluminação foram escolhidas as lâmpadas mais utilizadas ao longo do tempo no setor residencial como são as lâmpadas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas, assim como também a nova tecnologia LED que atualmente está substituindo às convencionais.

Já os aparelhos eletrodomésticos foram classificados em quatro grupos: eletrônicos, refrigeradores, aquecimento, e motores os quais tem equipamentos representativos. Assim nos eletrônicos utilizou-se um televisor (TV), nos refrigeradores, uma geladeira e purificador de

água, no grupo de aquecimento, uma cafeteira e micro-ondas e no dos motores, um liquidificador.

Para a iluminação coletou-se dados característicos elétricos de amostras particulares de cada um dos tipos de lâmpadas. Coletou-se os dados de um conjunto de lâmpadas sendo classificadas por tecnologias.

Os aparelhos eletrodomésticos primeiro foram medidos individualmente. Depois com o intuito de constatar o consumo de uma residência, reuniu e fez-se as medições com cada uma das tecnologias de iluminação, alimentados pela rede.

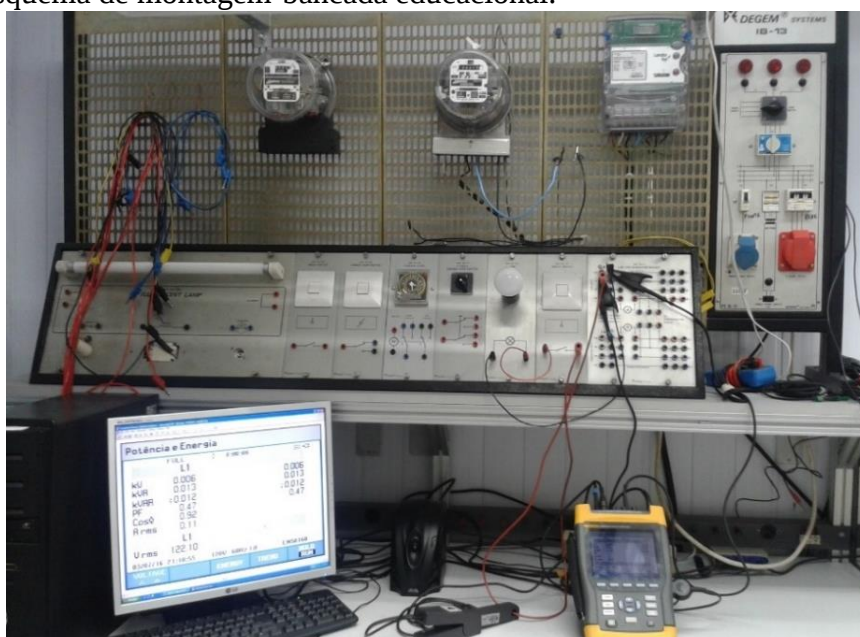
Finalmente, seguindo a mesma linha, se obteve dados de amostras de cada uma das tecnologias de iluminação, mas desta vez alimentadas por uma fonte externa de 127 V e 60 Hz.

Com os resultados obtidos realizou-se as análises correspondentes a cada uma das cargas tanto em forma individual como conjunta para assim serem comparados com trabalhos similares.

### 4.3 Montagem experimental

Os aparelhos de iluminação foram conectados um por vez numa bancada educacional de configuração monofásica (F+N) com a ajuda de um interruptor para ligar e desligar, em primeira instância alimentados pela rede e, em segunda instância, pela fonte externa com configuração de onda senoidal, 127 V e 60 Hz, no laboratório LESIP, como mostra a Figura 29

Figura 29. Esquema de montagem-bancada educacional.



Fonte: Autoria própria-LESIP

Os aparelhos eletrodomésticos de forma individual, os tipos de tecnologias de iluminação, e o conjunto todo eletrodomésticos mais tecnologias de iluminação foram monitorados nas instalações da copa do DEE, devido à facilidade no acesso de controle no uso dos aparelhos elétricos permitindo assim a criação de um ambiente residencial. Observa-se na Figura 30 o esquema montado.

Figura 30. Esquema de montagem-ambiente residencial



Fonte: Autoria própria-DEE

#### 4.4 Medições e aquisição de dados

A fim de caracterizar os equipamentos elétricos presentes no setor residencial obtiveram-se as curvas características de tensão e corrente, e as medições das grandezas de potência e energia: potência ativa, reativa e aparente, fator de potência assim como as suas distorções harmônicas de tensão e corrente.

Foram medidos 18 aparelhos elétricos das seguintes categorias:

- Iluminação: lâmpadas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas e LED.
- Eletrodomésticos
  - Eletrônicos: televisão.
  - Refrigeradores: geladeira, purificador de água.
  - Aquecimento: cafeteira, microondas.
  - Motores: liquidificador

Os principais resultados obtidos nestas medições são apresentados e agrupados nas seguintes análises:

1. Análises com alimentação da rede:
  - 1.1 Análise individual por lâmpada.
  - 1.2 Análise por tecnologia de iluminação.

- 1.3 Análise individual por eletrodoméstico.
- 1.4 Análise sistema completo (por tecnologia de iluminação + eletrodomésticos).
- 2. Análises com alimentação de uma fonte externa:
  - 2.1 Análise individual por lâmpada.

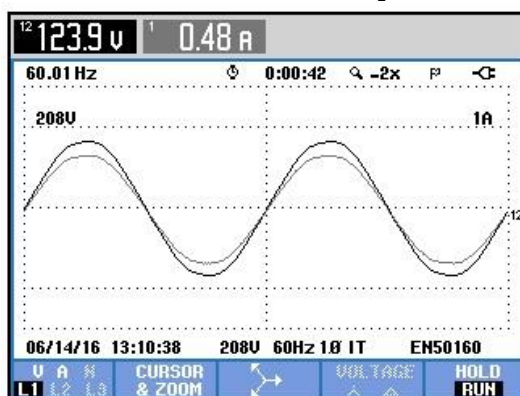
#### 4.4.1 Análises com alimentação da rede:

##### 4.4.1.1 Análise individual por lâmpada:

##### *Lâmpadas Incandescentes*

As lâmpadas incandescentes são cargas puramente resistivas, e estas se comportam de forma linear conforme se confirma na Figura 31, onde se observa a forma de onda de tensão e corrente.

Figura 31. Formas de onda de tensão e corrente das lâmpadas incandescentes



Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que a curva da corrente acompanha a curva da tensão assim como nas medições realizadas e apresentadas na Tabela 2 contendo as informações da amostra L1. Confirmando também nos índices de distorção harmônica, tanto os de corrente como de tensão que são praticamente iguais.

Tabela 2. Análise individual por lâmpada incandescente

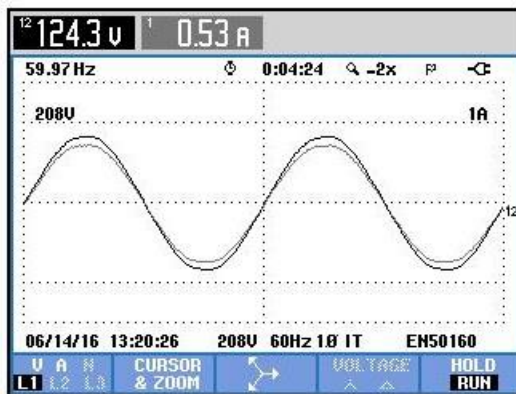
| Amostra | Fluke |                     |        |            |        |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|---------|-------|---------------------|--------|------------|--------|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
|         | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%<br>V | f<br>I | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| L1      | 60,0  | 1,0                 | 60,0   | 1,5        | 1,5    | 1,00 | 125                | 0,47              | 58,75              | 1,00 |

Fonte: Autoria própria

### Lâmpadas Halógenas

As lâmpadas halógenas tem comportamento similar às incandescentes por ser praticamente só resistivas como confirmação na Figura 32.

Figura 32. Forma de onda de tensão e corrente das lâmpadas halógenas.



Fonte: Autoria própria

Seus DHT's também são iguais confirmando a sua linearidade, a Tabela 3 apresenta as medidas elétricas realizadas na amostra L2.

Tabela 3. Análise individual por lâmpada halógena.

| Amostra | Fluke |                     |        |               |     |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|---------|-------|---------------------|--------|---------------|-----|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
|         | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%f<br>V I |     | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| L2      | 66,0  | 1,0                 | 66,0   | 1,5           | 1,5 | 1,00 | 124,8              | 0,51              | 63,65              | 1,00 |

Fonte: Autoria própria

### Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são cargas não-lineares que dependem da eletrônica de potência para seu funcionamento. Na Tabela 4 apresentam-se as medições realizadas de três amostras deste tipo, L3 e L4 fluorescentes compactas e a L9 fluorescente tubular.

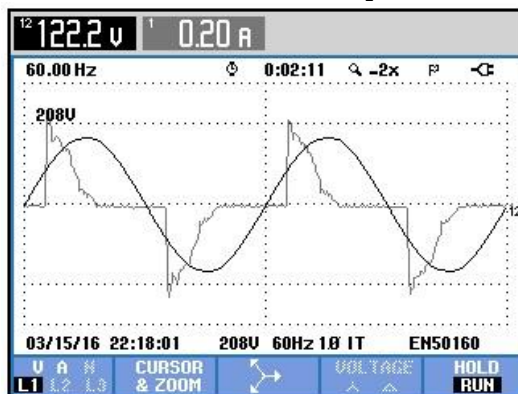
Tabela 4. Análise individual por lâmpada fluorescente.

| Amostra | Fluke |                     |        |               |       |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|---------|-------|---------------------|--------|---------------|-------|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
|         | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%f<br>V I |       | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| L3      | 15,0  | 20,0cap             | 25,0   | 1,2           | 88,8  | 0,60 | 122,2              | 0,21              | 25,66              | 0,60 |
| L4      | 14,0  | 18,0cap             | 23,0   | 1,3           | 111,9 | 0,60 | 122,6              | 0,19              | 23,29              | 0,60 |
| L9      | 71,0  | 13,0cap             | 72,0   | 1,3           | 10,9  | 0,98 | 122,4              | 0,58              | 70,99              | 0,97 |

Fonte: Autoria própria

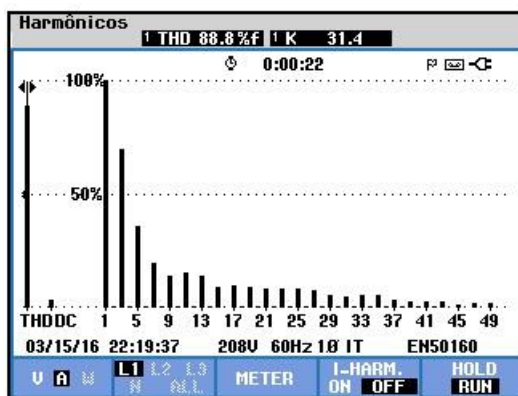
Na Figura 33 encontra-se a representação da amostra L3 onde a distorção da onda a seguir caracteriza as lâmpadas fluorescentes compactas com seu índice de distorção harmônica alto, DHTi, observado na Figura 34 com seu respectivo espectro de frequência.

Figura 33. Formas de onda de tensão e corrente da lâmpada fluorescente L3.



Fonte: Autoria própria

Figura 34. DHTi da lâmpada fluorescente L3.



Fonte: Autoria própria

Das amostras fluorescentes compactas a L4 é a com mais presença de harmônicas na ordem de 111,9%, pelo contrário a L9, fluorescente tubular, é a que contém menos distorções harmônicas, 10,9%.

Segundo Aman et. al (2013) enfatizam que os reatores eletrônicos das lâmpadas fluorescentes compactas tubulares pelo fato de possuírem mais espaço e o peso não influenciar com maiores problemas, apresentam um fator de potência em torno de 0,9 e uma DHTi menor que 15%. Corroborando as informações obtidas nestes ensaios.

### Lâmpadas LED

As lâmpadas LED também se classificam como cargas não-lineares. Circuitos eletrônicos são necessários para o seu funcionamento, os quais dependendo da tecnologia adotada podem significar fontes de distúrbios no sistema elétrico (DIAS; FILIPO, 2014), como se observa a continuação na amostragem.

Na Tabela 5 apresentam-se as medições realizadas de quatro amostras deste tipo de lâmpadas L5, L6, L7, L8 e uma amostra tubular L10.

Tabela 5. Análise individual por lâmpada LED.

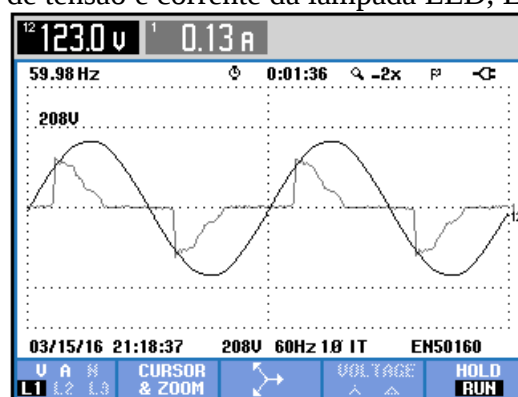
| Amostra | P [W] | Fluke    |        |     | Medidor eletrônico |        |          |          |       |      |
|---------|-------|----------|--------|-----|--------------------|--------|----------|----------|-------|------|
|         |       | Potência | DHTI%f |     | FP                 | Tensão | Corrente | Potência | FP    |      |
|         |       | Q [Var]  | S [VA] | V   | I                  | V [V]  | I [A]    | S [VA]   |       |      |
| L5      | 11,0  | 11,0 cap | 15,0   | 1,0 | 78,2               | 0,70   | 123,0    | 0,13     | 16,08 | 0,69 |
| L6      | 6,0   | 9,0 cap  | 11,0   | 1,1 | 124,1              | 0,57   | 122,2    | 0,08     | 9,78  | 0,59 |
| L7      | 11,0  | 2,0      | 11,0   | 1,1 | 21,7               | 0,97   | 122,9    | 0,08     | 9,83  | 0,96 |
| L8      | 10,0  | 2,0 cap  | 10,0   | 1,1 | 18,2               | 0,98   | 123,6    | 0,08     | 9,89  | 0,93 |
| L10     | 31,0  | 19,0 cap | 36,0   | 1,3 | 42,9               | 0,85   | 123,9    | 0,28     | 34,69 | 0,85 |

Fonte: Autoria própria

Segundo os dados apresentados observa-se que a amostra L6 é a lâmpada que mais gera distúrbios, na ordem de 124%, seguida da amostra L5, na ordem de 78% de harmônicas em relação à sua fundamental, logo vem a amostra L10, L7 e L8 com porcentagens menores.

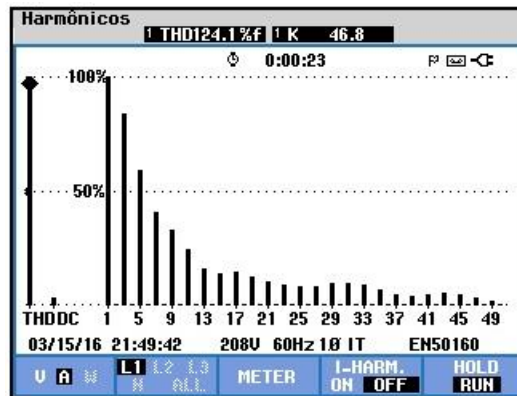
Com base nestas informações a Figura 35 expõe a distorção da onda de corrente da amostra L5 analisada, assim como o seu DHTi na Figura 36.

Figura 35. Forma de onda de tensão e corrente da lâmpada LED, L5.



Fonte: Autoria própria

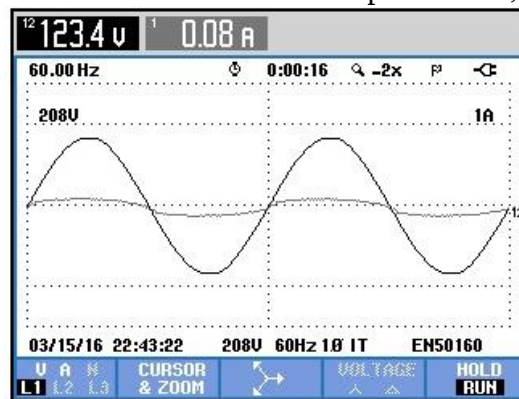
Figura 36. DHTi da lâmpada LED, L5.



Fonte: Autoria própria.

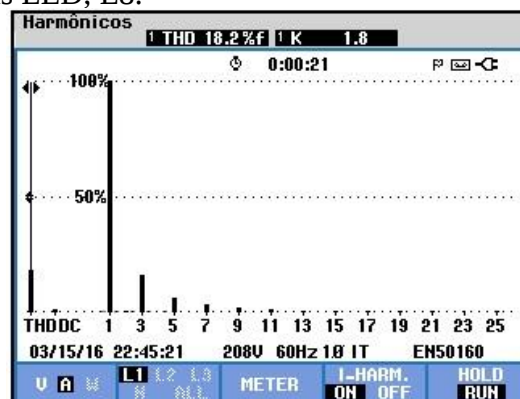
Já numa outra amostra se verifica o contrário. A L8 quase não tem distorção na sua forma de onda de corrente com um DHTi baixo na ordem de 18,2%, Figuras 37 e 38.

Figura 37. Formas de onda de tensão e corrente da lâmpadas LED, L8.



Fonte: Autoria própria

Figura 38. DHTi da lâmpadas LED, L8.



Fonte: Autoria própria

Também a L10, amostra LED que imita a estrutura tubular T8 fluorescente apresenta 42,9% de DHTi com um fator de potência de 0,85 atrasado.

Assim se analisar os resultados das duas amostras tubulares LFC e LED obtém-se que a fluorescente teve 0,98 de fator de potência com menor DHTi, quase 75% menos do que a sua similar LED com 0,80 de FP. Sendo comprovado com os resultados similares do estudo de Dias e Filippo (2014), a seguir a Tabela 6 com os respectivos resultados.

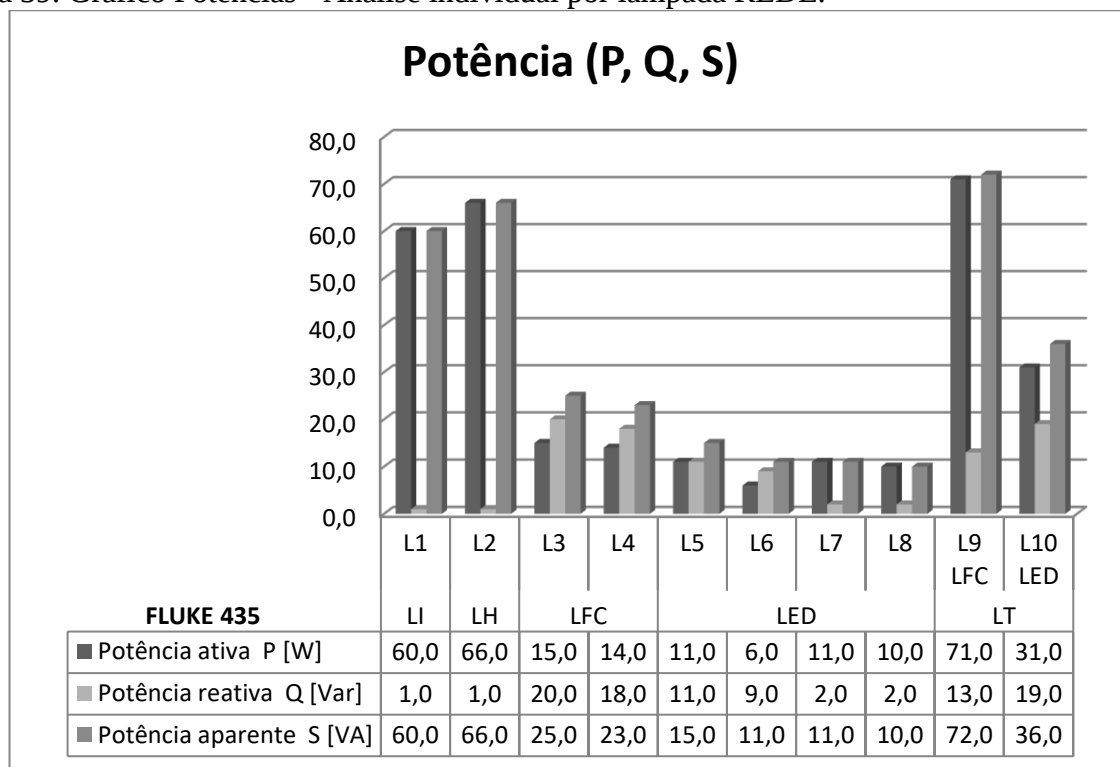
Tabela 6.Comparação de resultados nos estudos Dias e Filippo; Trujillo.

| Amostra                   | DHTi%f |          | FP   |          |
|---------------------------|--------|----------|------|----------|
|                           | DIAS   | TRUJILLO | DIAS | TRUJILLO |
| L9 - Fluorescente tubular | 7,3    | 10,9     | 0,98 | 0,98     |
| L10 - LED tubular         | 41     | 42,9     | 0,85 | 0,85     |

Fonte: Autoria própria

Finalizando esta primeira etapa de análise individual das amostras, apresenta-se os gráficos onde pode-se observar um resumo de cada uma das potencias de todas as lâmpadas, L1 à L10, potência ativa (P), potência reativa (Q) apresentado na Figuras 39.

Figura 39. Gráfico Potências - Análise individual por lâmpada REDE.



Fonte: Autoria própria

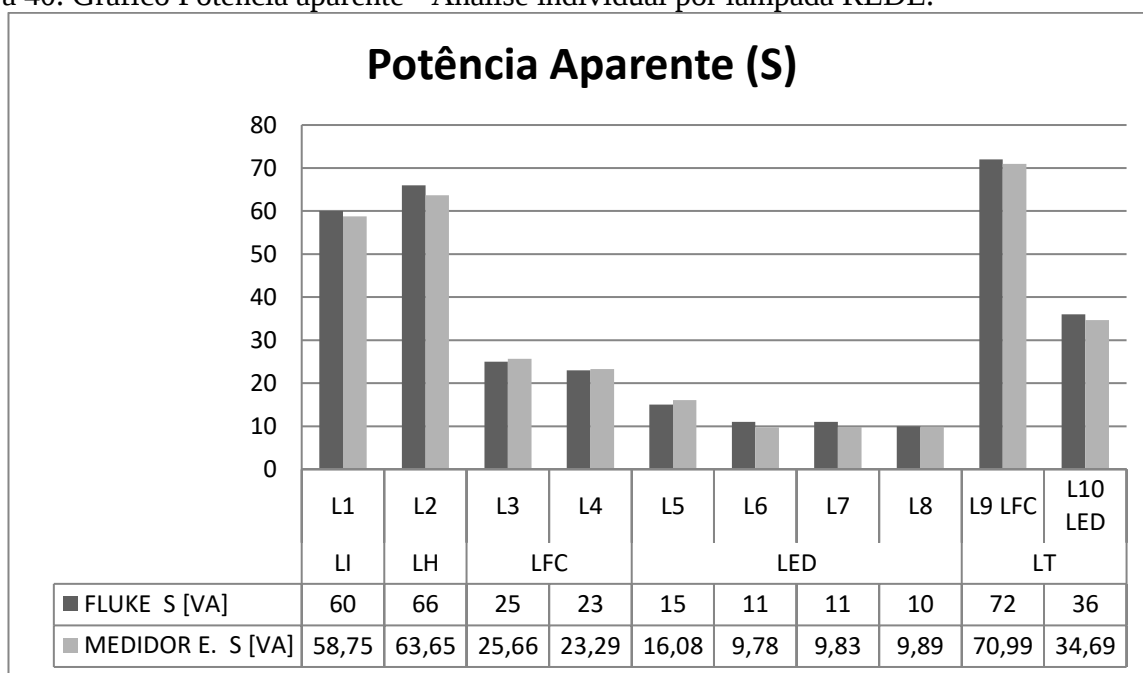
Neste gráfico apresenta-se a energia que é realmente utilizada por cada uma das lâmpadas com base na grandeza denominada potência ativa. Comparando as LFC e LED, cujas amostras apresentavam na embalagem informada pelo fabricante que eram substitutas de uma

incandescente de 60W, observa-se que a L4 foi a com menor potência ativa das LFC's, e a L6 respectivamente das LED.

Já nas tubulares, sendo amostras caracterizadas com emissão de um mesmo fluxo luminoso, percebe-se claramente a economia de energia pela lâmpada LED ao apresentar uma potência ativa 57% menor à LFC.

A potência total gerada e fornecida pelo sistema é dada pela potência aparente, na Figura 40 constata-se esses valores.

Figura 40. Gráfico Potência aparente - Análise individual por lâmpada REDE.



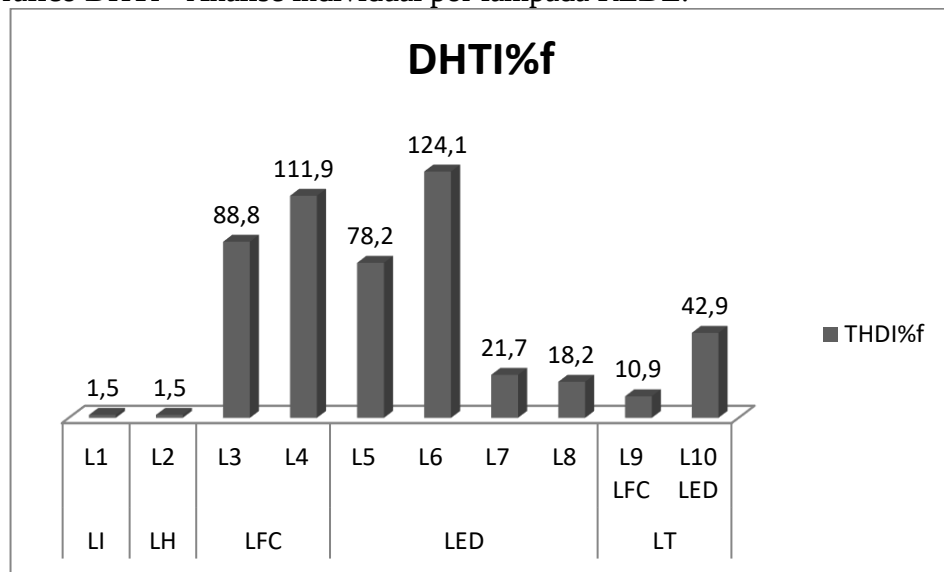
Fonte: Autoria própria

Neste gráfico as amostras com menor valor de potência aparente são: a L4 (LFC), nas LED existe muita pouca diferença entre a L6, L7 e L8, e nas tubulares também as LED tem vantagem.

Considera-se importante lembrar que os *Smart Meters*, fazendo partes das redes elétricas inteligentes de energia em um futuro, serão medidos não só a potência ativa para se obter o consumo residencial, senão também a potência reativa, como já acontece nas indústrias.

O índice de distorção harmônica DHT é alvo de estudo no que se refere à qualidade de energia emitido pelos equipamentos e conseqüentemente injetado na rede, por isto apresenta-se um gráfico porcentual do valor de DHTi que cada uma das amostras gera, Figura 41.

Figura 41. Gráfico DHTi - Análise individual por lâmpada REDE.

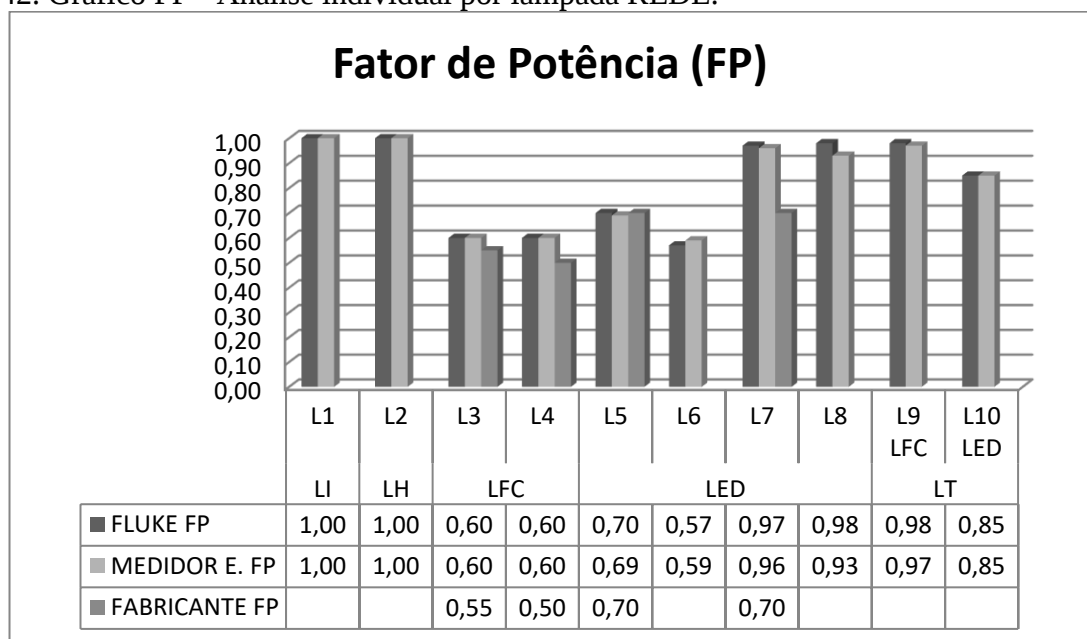


Fonte: Autoria própria

Reafirma-se que as LFC's são grandes fontes de distúrbios, nas LED encontram-se variadas amostras com altas e baixas porcentagens e as incandescentes e halógenas apresentam nada mais que os distúrbios próprios na rede no momento do monitoramento.

Por último é significativo expor os resultados dos fatores de potência de cada uma das amostras nas medições realizadas com o Fluke, na sua verificação com o medidor eletrônico e na comparação ao informado pelos respectivos fabricantes das amostras que forneceram essa informação. A Figura 42 apresenta os resultados.

Figura 42. Gráfico FP - Análise individual por lâmpada REDE.



Fonte: Autoria própria

#### 4.4.1.2 Análise por tecnologia de iluminação:

##### *Tecnologia Incandescente e Halógena*

A tecnologia incandescente e halógena possuem algumas amostras de lâmpadas que foram analisadas em conjunto e por tecnologia, assim é característico de cargas lineares puramente resistivos. A Tabela 7 expõe as medições procedentes destes sistemas.

Tabela 7. Análise por tecnologias: incandescente e halógeno.

| Fluke      |       |                     |        |               |     |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|------------|-------|---------------------|--------|---------------|-----|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
| Tecnologia | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%f<br>V I |     | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| T.I.       | 176,0 | 3,0                 | 176,0  | 1,2           | 1,2 | 1,00 | 122,4              | 1,42              | 173,81             | 1,00 |
| T.H.       | 193,0 | 1,0                 | 193,0  | 1,1           | 1,2 | 1,00 | 122                | 1,54              | 187,88             | 1,00 |

Fonte: Autoria própria

Como apresentado as características são similares às análises individuais, porém com aumento de carga, variando nos valores de corrente e das suas respectivas potências, e o seu DHTi é quase nulo.

##### *Tecnologia Fluorescente compacta*

Apresenta o aumento de carga devido ao acúmulo de várias amostras e ainda um DHTi na ordem de 89,5% e fator de potência 0,62, como indicado na Tabela 8.

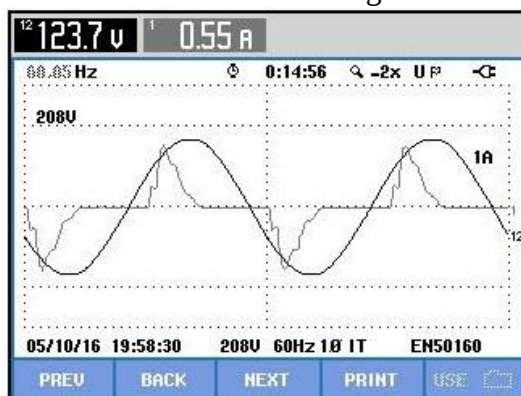
Tabela 8. Análise por tecnologias: fluorescente compacta.

| Fluke      |       |                     |        |               |      |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|------------|-------|---------------------|--------|---------------|------|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
| Tecnologia | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%f<br>V I |      | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| T.F.C.     | 44,0  | 53,0 cap            | 69,0   | 1,1           | 89,5 | 0,64 | 124                | 0,55              | 68,20              | 0,62 |

Fonte: Autoria própria

A Figura 43 representa a forma de onda de tensão injetada pela rede e a da corrente gerada por este sistema.

Figura 43. Formas de onda de tensão e corrente tecnologia fluorescente compacta.



Fonte: Autoria própria

### Tecnologia LED

Da mesma forma que as anteriores tecnologias, analisou-se este tipo com várias lâmpadas e o seu fator de potência resultou em 0,83 e o DHTi pouco mais de 50%, como exposto a seguir na Tabela 9.

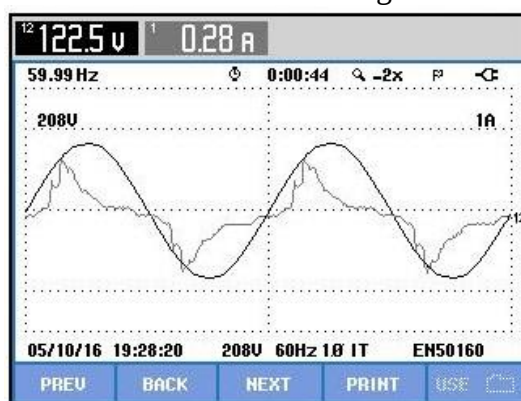
Tabela 9. Análise por tecnologia: LED

| Fluke      |       |                     |        | Medidor eletrônico |        |      |                 |                   |                    |      |
|------------|-------|---------------------|--------|--------------------|--------|------|-----------------|-------------------|--------------------|------|
| Tecnologia | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%<br>V         | f<br>I | FP   | Tensão<br>V [V] | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| T.LED      | 29,0  | 19,0cap             | 35,0   | 1,1                | 53,8   | 0,83 | 121,5           | 0,3               | 36,45              | 0,83 |

Fonte: Autoria própria

A Figura 44 caracteriza o sistema LED.

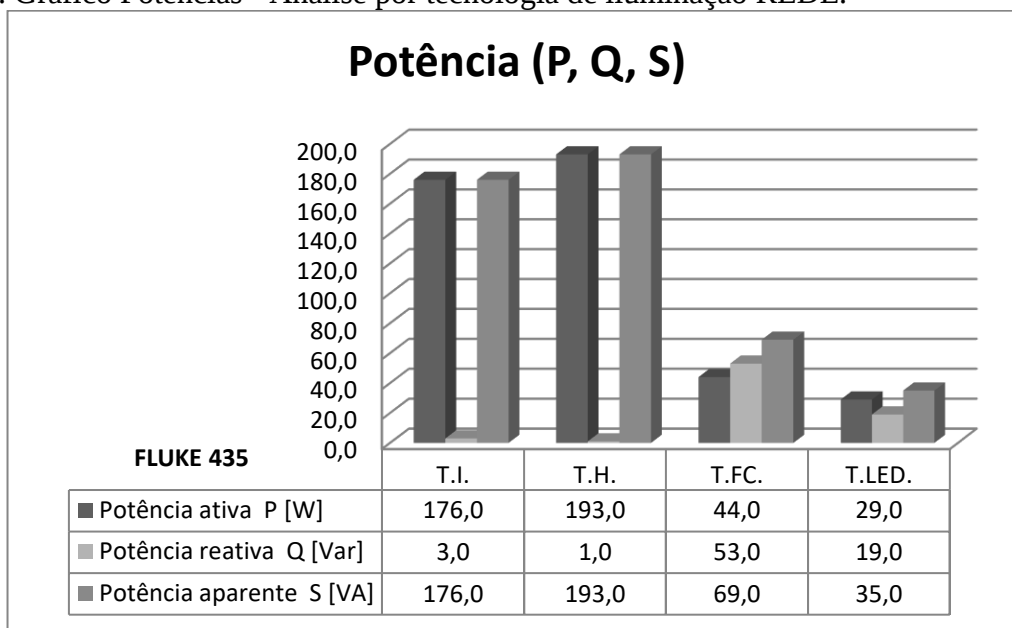
Figura 44. Formas de onda de tensão e corrente tecnologia LED



Fonte: Autoria própria

Analisando o conjunto de tecnologias no âmbito iluminação representa-se as potências no seguinte gráfico, Figura 45.

Figura 45. Gráfico Potências - Análise por tecnologia de iluminação REDE.

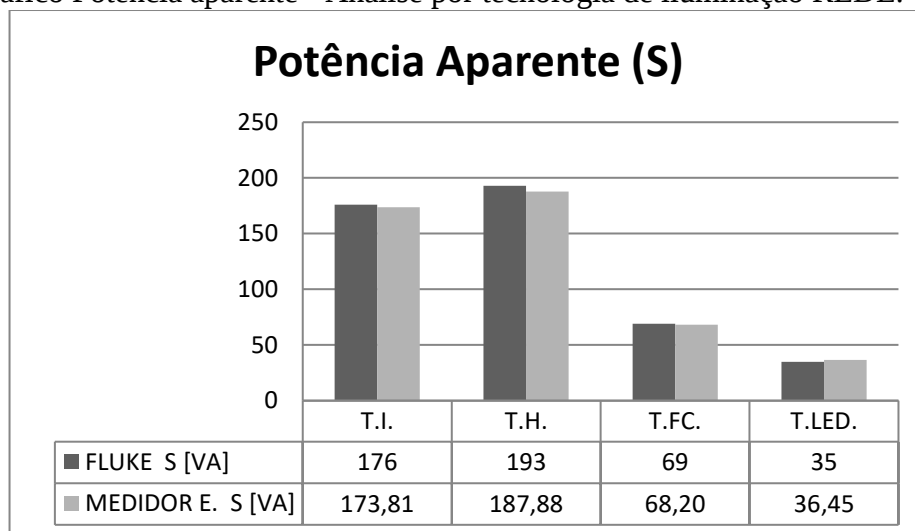


Fonte: Autoria própria

O gráfico denota a tecnologia de Iluminação de LED como a menor consumidora de energia ao apresentar a sua potência ativa e aparente com menor valor em comparação ao resto de tecnologias, seguido da tecnologia fluorescente compacta.

Comparando as potências totais geradas por cada tecnologia, Figura 46.

Figura 46. Gráfico Potência aparente - Análise por tecnologia de iluminação REDE.

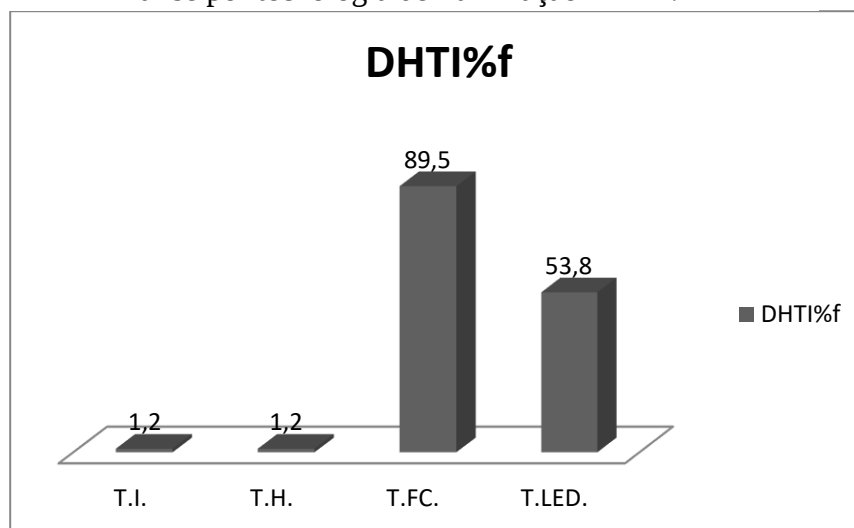


Fonte: Autoria própria

Neste estudo a tecnologia LED representa 50% menor porcentagem do que a tecnologia fluorescente compacta reforçando tal dedução com a “*Comparison Chart LED Lights vs. Incandescent Light Bulbs vs. CFLs*”.

A pesar das duas tecnologias, LED quanto fluorescente compacta, usarem circuitos eletrônicos verifica-se que a tecnologia líder em fonte de distúrbios é a fluorescente compacta, como se apresenta na Figura 47 correspondente ao gráfico em barras da DHT de corrente.

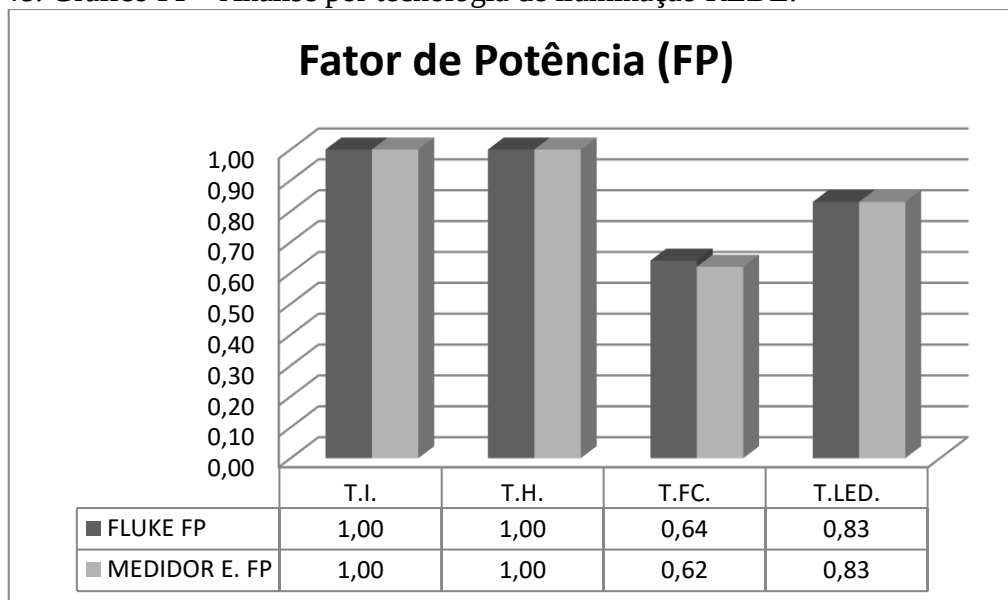
Figura 47. Gráfico DHTi - Análise por tecnologia de iluminação REDE.



Fonte: Autoria própria

Os fatores de potência de cada uma das tecnologias de iluminação analisados são apresentados no gráfico da Figura 48.

Figura 48. Gráfico FP - Análise por tecnologia de iluminação REDE.



Fonte: Autoria própria.

Deixando de lado a tecnologia incandescente e halógena por serem cargas resistivas e apresentar fator de potência no valor unitário, se observa que a tecnologia LED apresenta uma média de FP de 0,83, seguido da tecnologia fluorescente compacta com 0,64.

#### 4.4.1.3 Análise individual por eletrodoméstico:

##### *Eletrônicos*

A categoria estudada a seguir constitui a principal carga não-linear em consumidores residenciais e comerciais. Trata-se dos aparelhos eletrônicos que apresentam altos DHT's de corrente, devido a sua forma de conversão CA-CC utilizada na fonte de alimentação: ponte de diodos com filtro capacitivo (DUGAN, 2015).

Neste grande grupo encontram-se: televisões, microcomputadores e computadores, vídeo cassetes, vídeo games, aparelhos de fax, aparelhos de som, telefone sem fio, carregadores de celular, secretária eletrônica.

*Televisor-TV:* Segundo Losada y Gonzalez (2006) dentre estas cargas os que mais contribuem para o aumento de distorção harmônica nas redes elétricas são os televisores. A Tabela 10 apresenta os valores das medições elétricas coletadas com esta carga.

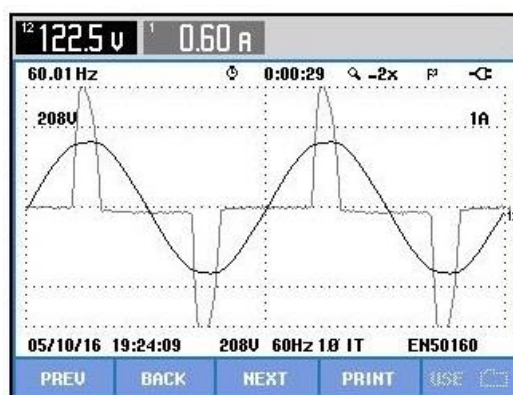
Tabela 10. Análise individual por eletrodoméstico Eletrônicos.

| Fluke            |          |         |        |        |       |      | Medidor eletrônico |          |          |      |
|------------------|----------|---------|--------|--------|-------|------|--------------------|----------|----------|------|
| Carga Eletrônico | Potência |         |        | DHTI%f |       | FP   | Tensão             | Corrente | Potência | FP   |
|                  | P [W]    | Q [Var] | S [VA] | V      | I     |      | V [V]              | I [A]    | S [VA]   |      |
| TV               | 45,0     | 55,0cap | 71,0   | 1,3    | 120,8 | 0,63 | 122,7              | 0,56     | 68,71    | 0,64 |

Fonte: Autoria própria

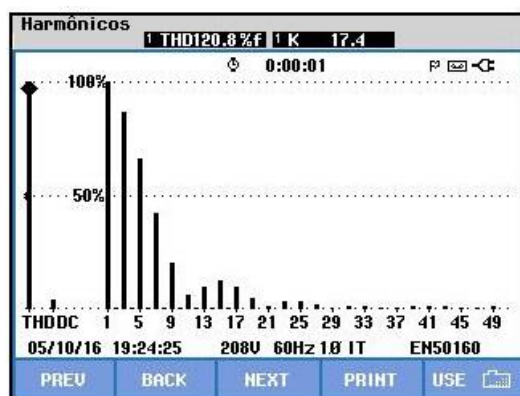
A Figura 49 e 50 permitem a visualização de características como formas de onda de tensão e corrente assim como o espectro harmônico com seu DHTi expressado em porcentagem.

Figura 49. Formas de onda de tensão e corrente da TV.



Fonte: Autoria própria

Figura 50. DHTi daTV.



Fonte: Autoria própria

## Refrigeradores

Estes eletrodomésticos são considerados primordiais nas residências, no grupo tem-se geladeiras, bebedouros, purificadores de água, freezers e frigobares. Não podem ser consideradas como cargas não lineares, apesar de serem fontes de distúrbios, estes são muito baixos (PIRES,2006).

*Geladeira e Purificador de água:* o comportamento de ambos é semelhante, a geladeira utilizada no ensaio é de uma porta e o purificador de água tem também a função de refrigerar o líquido. A Tabela 11 apresenta os valores das medições elétricas realizadas.

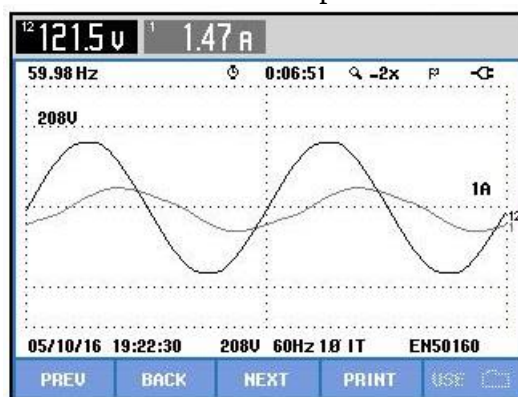
Tabela 11. Análise individual por eletrodoméstico Refrigeradores.

| Carga<br>Refrigeradores | Fluke |                     |        |        |     |      | Medidor eletrônico |                   |                    |      |
|-------------------------|-------|---------------------|--------|--------|-----|------|--------------------|-------------------|--------------------|------|
|                         | P [W] | Potência<br>Q [Var] | S [VA] | DHTI%f |     | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [VA] | FP   |
| Geladeira               | 82,0  | 101,0ind            | 131,0  | 1,3    | 8,0 | 0,63 | 121,8              | 1,03              | 125,45             | 0,63 |
| Purificador             | 107,0 | 143,0ind            | 178,0  | 1,1    | 8,1 | 0,60 | 122,0              | 1,45              | 176,90             | 0,60 |

Fonte: Autoria própria

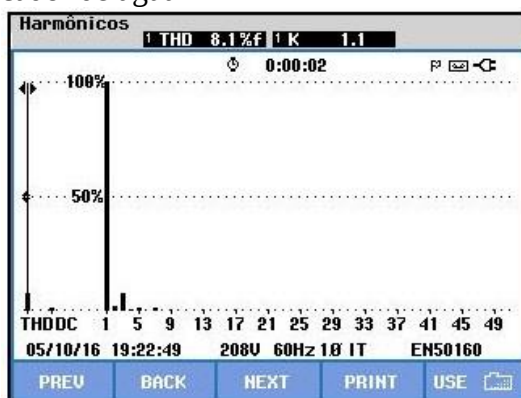
As formas de onda de corrente características dos refrigeradores são muito similares e lembram uma senóide, por isso se evidencia a carga de um purificador de água em representação deste grupo na Figura 51 e 52 em sequência.

Figura 51. Formas de onda de tensão e corrente do purificador de água.



Fonte: Autoria própria.

Figura 52. DHTi do purificador de água



Fonte: Autoria própria.

## Aquecimento

Segundo Pires (2006) de forma geral os eletrodomésticos que fazem parte deste grupo têm esta funcionalidade associada a uma resistência que provoca este fenômeno. Neste grupo tem-se a cafeteira, chuveiro, torradeira, grill, ferro de passar roupa, e microondas, no entanto este último é uma exceção.

*Cafeteira:* aparelho puramente resistivo com comportamento linear similar ao sistema incandescente já estudado.

*Microondas:* a exceção do grupo, cuja distorção deve-se ao uso de um magnetron para aquecer os alimentos. As medições são apresentadas na Tabela 12 a seguir.

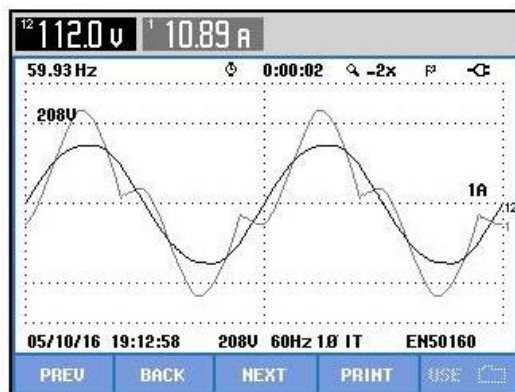
Tabela 12. Análise individual por eletrodoméstico Aquecimento.

| Carga Aquecimento | Fluke  |                  |        | Medidor eletrônico |        |      |              |                |                 |      |
|-------------------|--------|------------------|--------|--------------------|--------|------|--------------|----------------|-----------------|------|
|                   | P [W]  | Potência Q [Var] | S [VA] | DHTi%<br>V         | f<br>I | FP   | Tensão V [V] | Corrente I [A] | Potência S [VA] | FP   |
| Cafeteira         | 814,0  | 7,0              | 814,0  | 1,1                | 1,1    | 1,00 | 117,5        | 6,85           | 804,88          | 0,99 |
| Microondas        | 1127,0 | 391,0            | 1193,0 | 3,0                | 31,4   | 0,94 | 113,0        | 10,55          | 1192,15         | 0,94 |

Fonte: Autoria própria

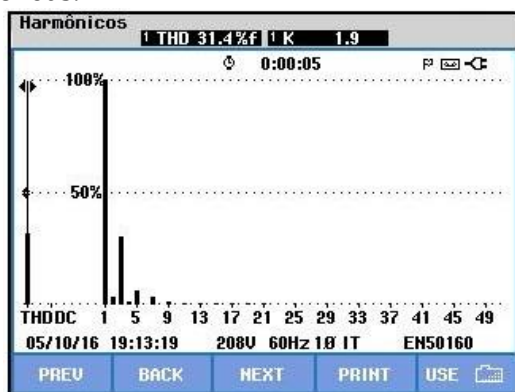
De forma gráfica é enfatizado o microondas na Figura 53 e 54 com suas formas de onda de tensão e corrente e espectro de DHTi respectivamente.

Figura 53. Formas de onda de tensão e corrente do microondas



Fonte: Autoria própria

Figura 54. DHTi do microondas.



Fonte: Autoria própria

## Motores

Como seu nome o diz, estes tipos de eletrodomésticos precisam de um motor para seu funcionamento. Encontra-se nesta categoria: aspirador de pó, ventilador, batedeira, exaustor, liquidificador, máquina de lavar roupas, entre outros.

*Liquidificador:* geralmente são característicos por apresentarem DHTi baixos. As medições são apresentadas na Tabela 13.

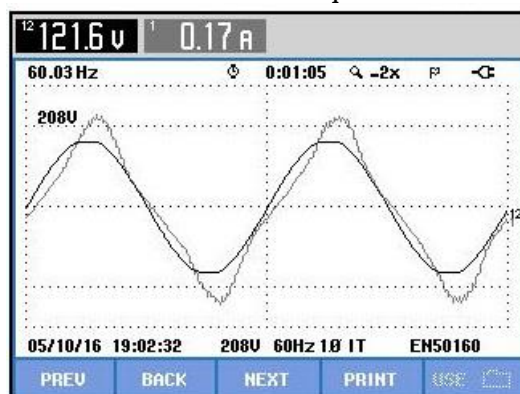
Tabela 13. Análise individual por eletrodoméstico Refrigeradores.

| Fluke          |          |         |            |          | Medidor eletrônico |          |          |            |  |  |
|----------------|----------|---------|------------|----------|--------------------|----------|----------|------------|--|--|
| Carga          | Potência |         | DHTI%<br>f | FP       | Tensão             | Corrente | Potência | FP         |  |  |
| Motores        | P [W]    | Q [Var] | S [VA]     | V I      | V [V]              | I [A]    | S [VA]   |            |  |  |
| Liquidificador | 19,0     | 5,0ind  | 20,0       | 1,1 18,3 | 0,97               | 122,0    | 0,17     | 20,74 0,96 |  |  |

Fonte: Autoria própria

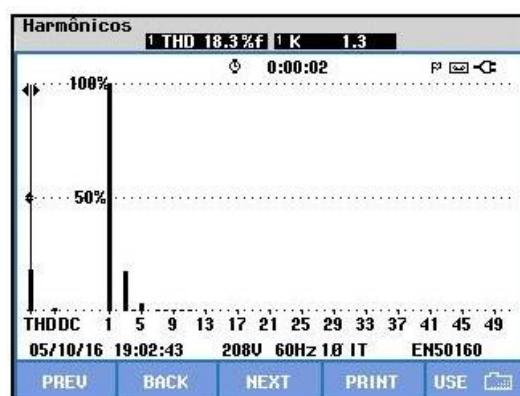
A suas formas de onda de tensão e corrente e o índice de distorções harmônicas são revelados na Figura 55 e 56.

Figura 55. Formas de onda de tensão e corrente do liquidificador



Fonte: Autoria própria

Figura 56. DHTi do liquidificador



Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos neste trabalho em comparação ao estudo de algumas das amostras apresentado por Pires (2006), dando ênfase aos DHTi confere-se as na seguinte Tabela 14.

Tabela 14. Comparação de resultados nos estudos Pires; Trujillo.

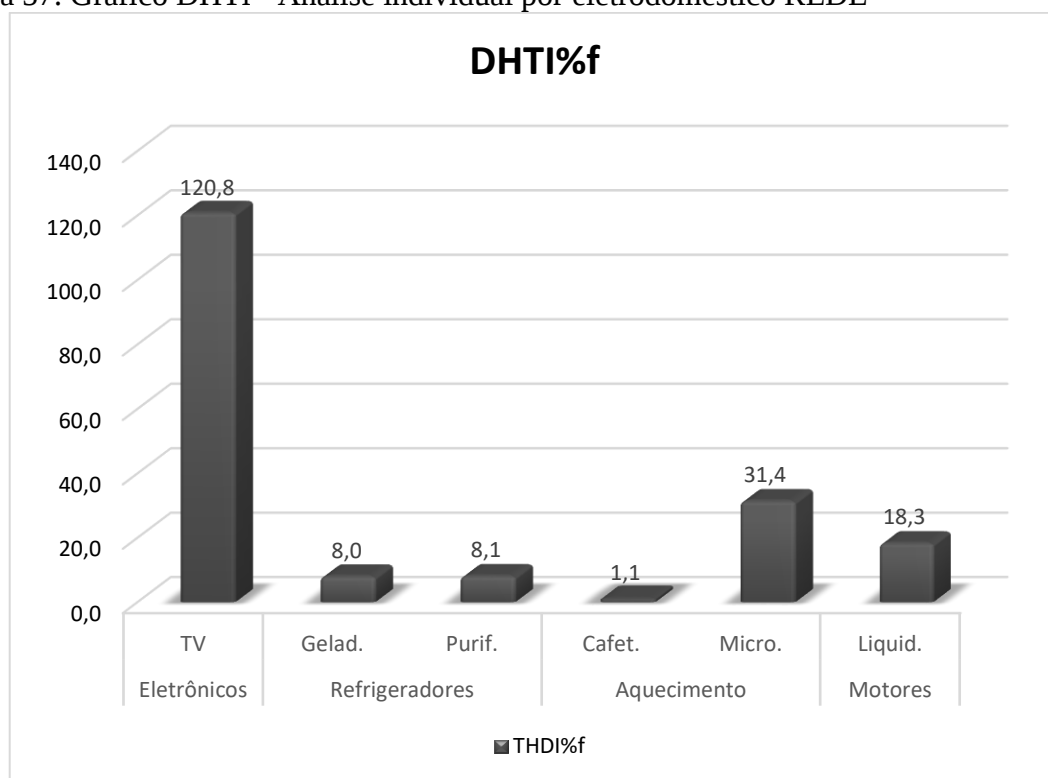
| Eletrdoméstico | Amostra        | DHTI%f |          |
|----------------|----------------|--------|----------|
|                |                | PIRES  | TRUJILLO |
| Eletrônicos    | TV             | 111,63 | 120,8    |
| Refrigeradores | Geladeira      | 8,01   | 8,0      |
|                | Purificador    | 7,99   | 8,1      |
| Aquecimento    | Cafeteira      | 3,49   | 1,1      |
|                | Microondas     | 29,24  | 31,4     |
| Motores        | Liquidificador | 16,85  | 18,3     |

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que as medições em cada um dos tipos de eletrodomésticos têm a mesma ordem de grandeza nos dois estudos. Caracterizando a TV como um eletrodoméstico de alto índice de distorções harmônicas acontecendo o oposto com a geladeira, purificador, liquidificador assim como com a cafeteira por ser uma carga resistiva, e o microondas com um DHTi na ordem de 30%.

A continuação apresenta-se o gráfico das porcentagens em DHTi das medições atuais realizadas nos eletrodomésticos neste trabalho na Figura 57.

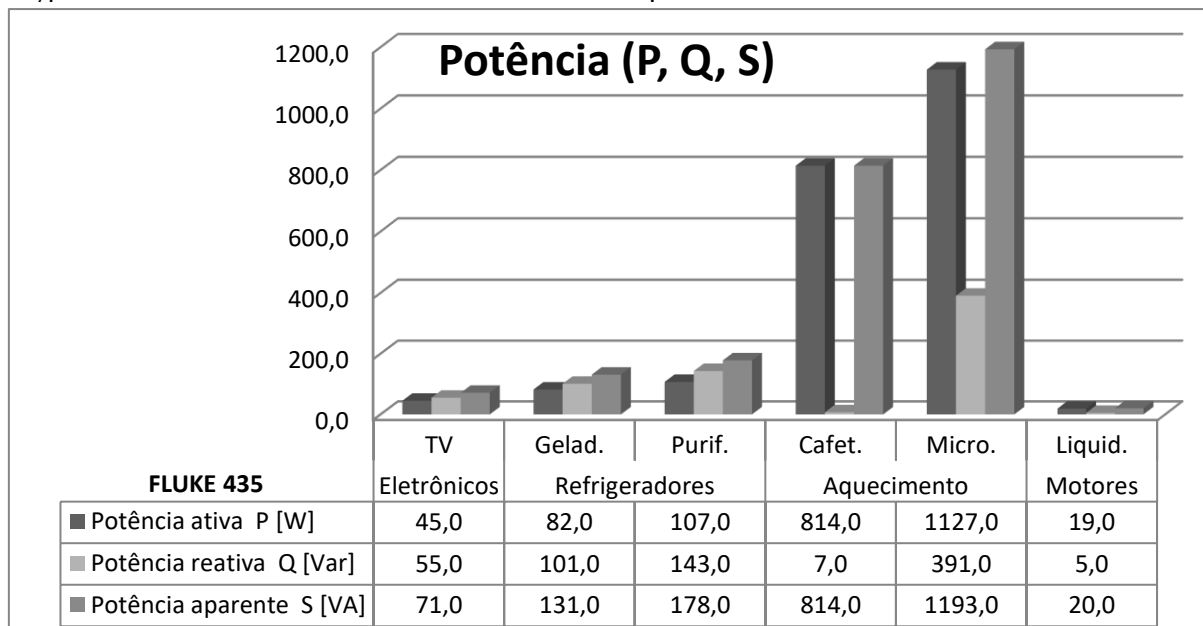
Figura 57. Gráfico DHTi - Análise individual por eletrodoméstico REDE



Fonte: Autoria própria

Para concluir esta terceira análise oferece-se um gráfico comparativo entre todas as potências dos eletrodomésticos com intuito de uma melhor visualização na Figura 58.

Figura 58. Gráfico Potências - Análise individual por eletrodoméstico REDE.

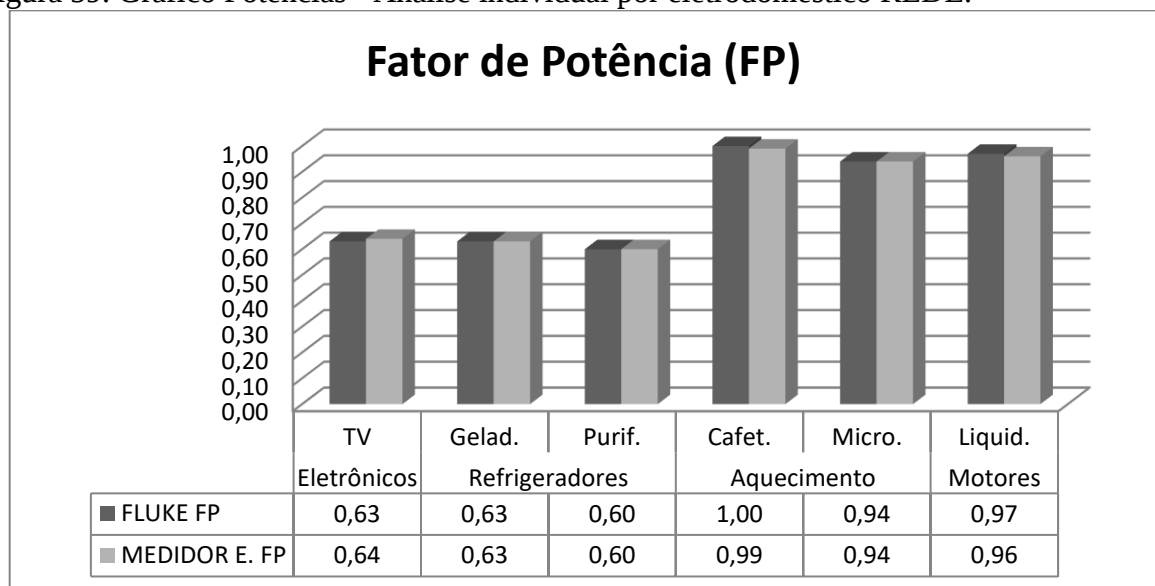


Fonte: Autoria própria.

Este gráfico mostra o microondas como o maior consumidor de energia, seguido da cafeteira com uma potência ativa de 1127W e 814W respectivamente. Ainda o microondas apresenta uma potência reativa de 391 Var.

Assim também o gráfico no qual se representa os fatores de potência de cada um dos aparelhos são apresentados a continuação na Figura 59.

Figura 59. Gráfico Potências - Análise individual por eletrodoméstico REDE.



Fonte: Autoria própria

Observa-se que os eletrônicos e refrigeradores tem o FP na ordem de 60%, enquanto os motores de 97%, assim como na divisão do aquecimento o microondas está com 94% e a cafeteira por ser carga puramente resistiva 100%.

#### 5.4.1.4 Análise sistema completo (por sistemas de iluminação+eletrodomésticos):

Nesta análise considera-se quatro conjuntos, quais foram formados por cada um dos tipos de tecnologias de iluminação mais todos os eletrodomésticos, representando a demanda do ambiente residencial. Para facilitar a análise cada um será chamado de sistema completo, assim:

S1: Tecnologia de Iluminação incandescente mais eletrodomésticos

S2: Tecnologia de Iluminação halógena mais eletrodomésticos

S3: Tecnologia de Iluminação fluorescente compacto mais eletrodomésticos

S4: Tecnologia de Iluminação LED mais eletrodomésticos

Os dados são apresentados na Tabela 15 com seus respectivos valores dos testes.

Tabela 15. Análise sistema completo tecnologias de iluminação+eletrodomésticos.

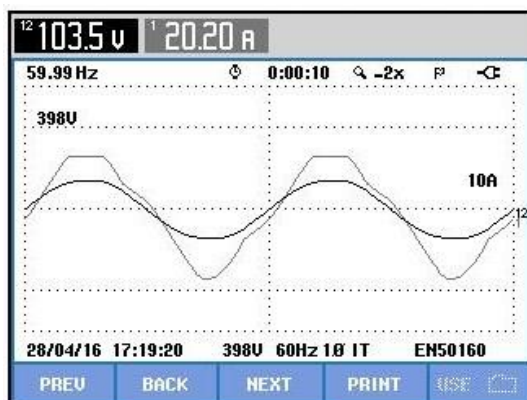
| Sistema | Fluke  |                      |         |              |      | Medidor eletrônico |                   |                     |      |
|---------|--------|----------------------|---------|--------------|------|--------------------|-------------------|---------------------|------|
|         | P [kW] | Potência<br>Q [kVar] | S [kVA] | DHTI%<br>V I | FP   | Tensão<br>V [V]    | Corrente<br>I [A] | Potência<br>S [kVA] | FP   |
| S1      | 2,06   | 0,33ind              | 2,09    | 12,4         | 0,99 | 106                | 20,5              | 2,17                | 0,99 |
| S2      | 2,06   | 0,34ind              | 2,09    | 12,4         | 0,99 | 105,2              | 20,58             | 2,17                | 0,99 |
| S3      | 1,98   | 0,41ind              | 2,02    | 14,2         | 0,98 | 107,8              | 19,3              | 2,08                | 0,98 |
| S4      | 1,93   | 0,40ind              | 1,97    | 14,1         | 0,98 | 106                | 19,49             | 2,07                | 0,98 |

Fonte: Autoria própria

Nas Figuras apresentam-se as formas de onda de tensão e corrente e o espectro harmônico de cada sistema.

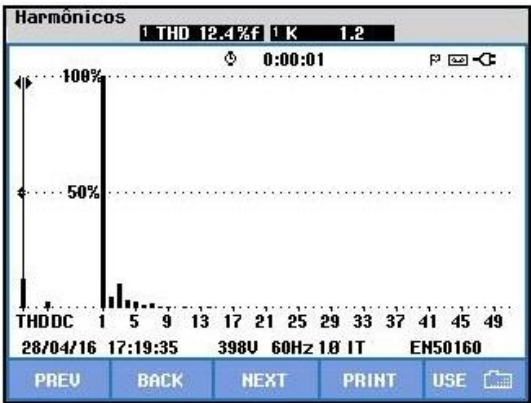
S1: Tecnologia de Iluminação incandescente mais eletrodomésticos.

Figura 60. Formas de onda de tensão e corrente do S1.



Fonte: Autoria própria

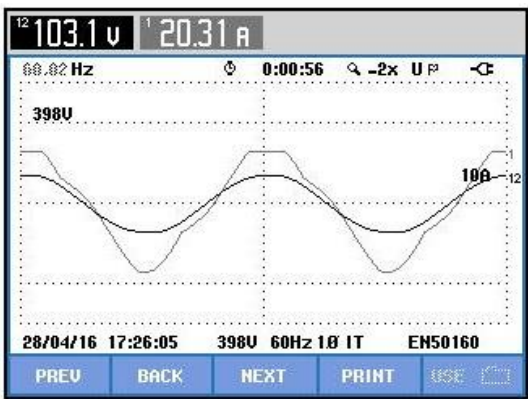
Figura 61. THDi do S1.



Fonte: Autoria própria

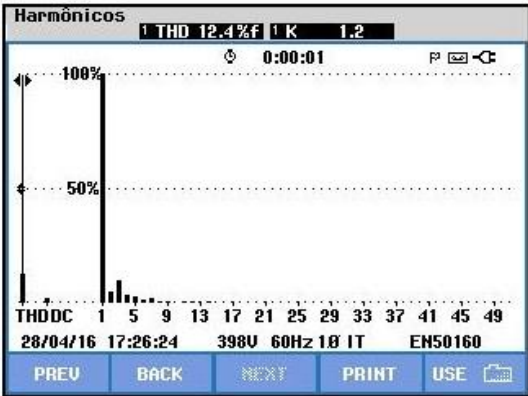
S2: Tecnologia de Iluminação halógena mais eletrodomésticos

Figura 62. Formas de onda de tensão e corrente do S2 THDi\_S2.



Fonte: Autoria própria

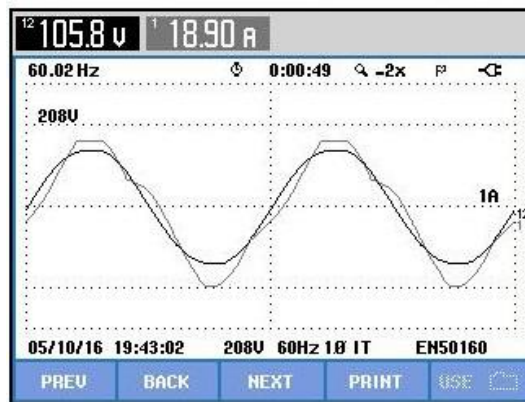
Figura 63. THDi do S2.



Fonte: Autoria própria

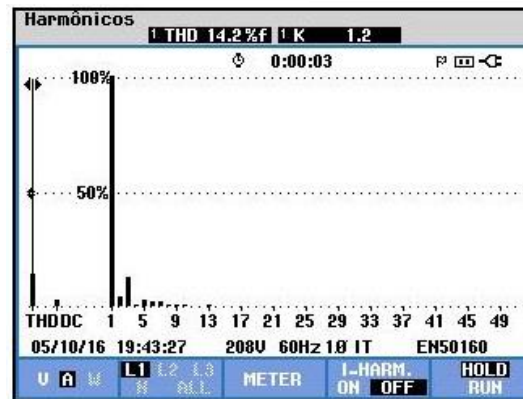
S3: Tecnologia de Iluminação fluorescente compacta mais eletrodomésticos

Figura 64. Formas de onda de tensão e corrente do S3.



Fonte: Autoria própria

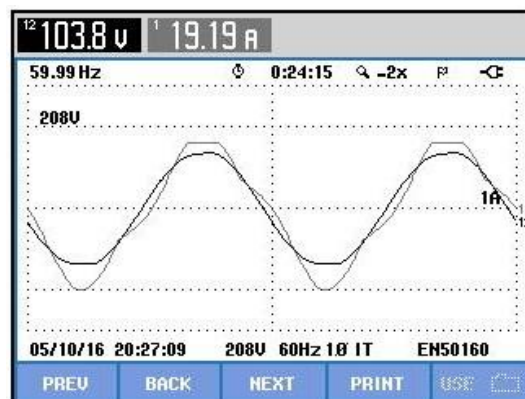
Figura 65. DHTi do S3.



Fonte: Autoria própria

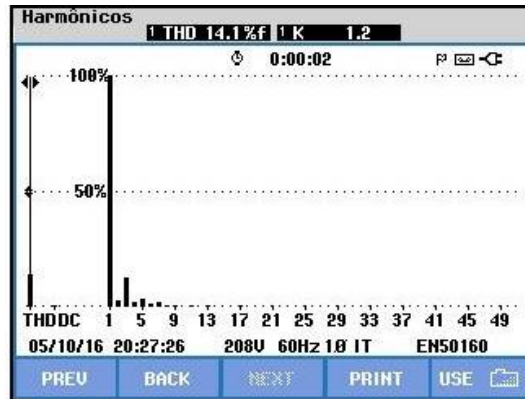
S4: Tecnologia de Iluminação LED mais eletrodomésticos

Figura 66. Formas de onda de tensão e corrente do S4.



Fonte: Autoria própria.

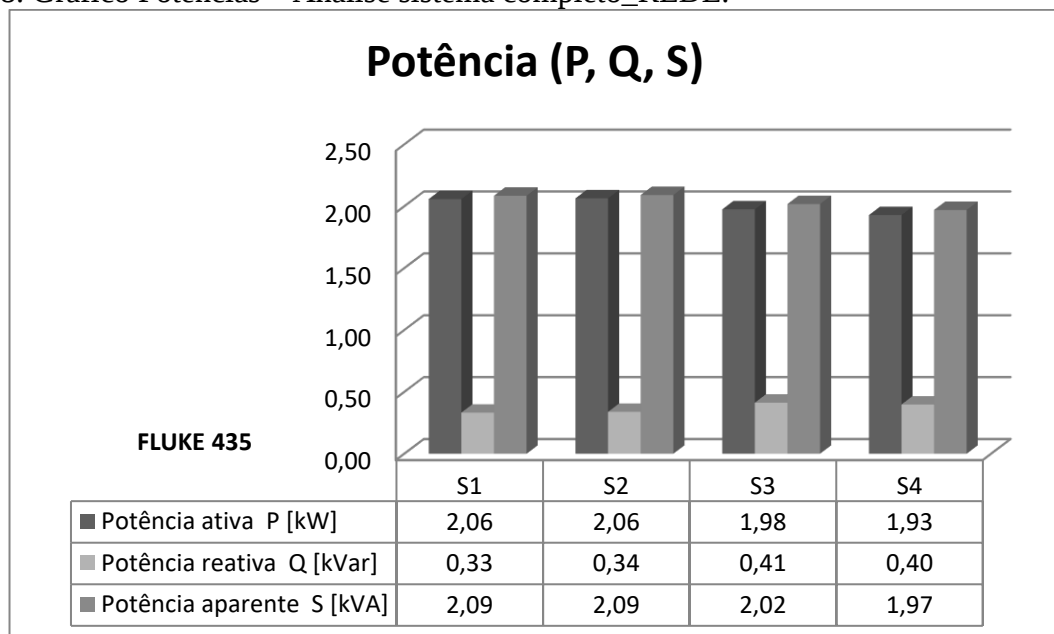
Figura 67. DHTi do S4.



Fonte: Autoria própria.

Prosseguindo na Figura 68, se representa o comparativo das potências dos sistemas. No que se verifica que a potência de suprimento no sistema quatro (S4) é a menor de todos, isto deve-se à economia de energia das lâmpadas que fazem parte deste sistema, lâmpadas LED. Embora seja uma diferença mínima devido à presença de todos os outros equipamentos elétricos, pois como encontrado na literatura a iluminação é responsável ao redor de 19% da demanda de uma residência.

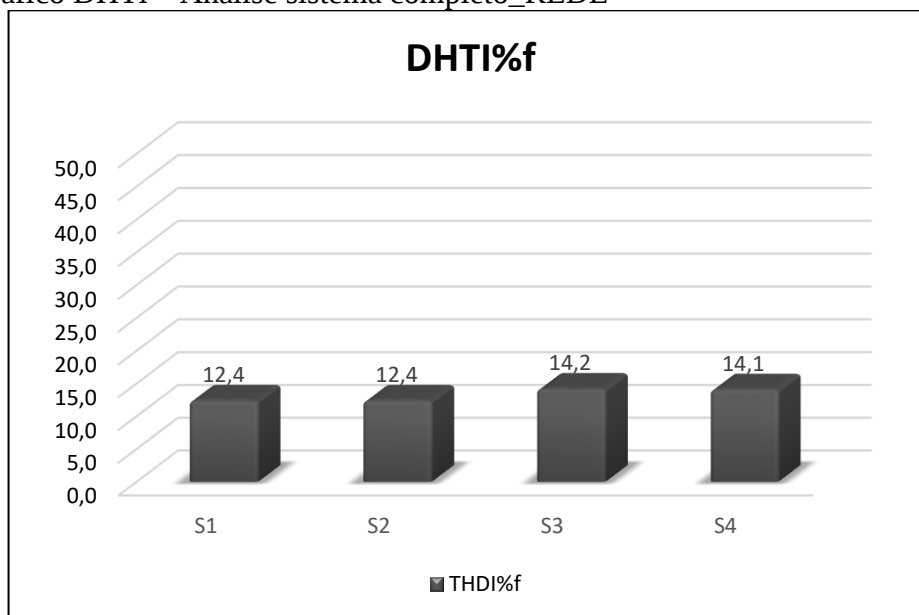
Figura 68. Gráfico Potências – Análise sistema completo\_REDE.



Fonte: Autoria própria

Após isto observa-se na Figura 69 a porcentagem de DHTi de forma gráfica, no qual constata-se que o sistema com menos distorção harmônica de corrente foi o sistema S4, seguido do sistema S3.

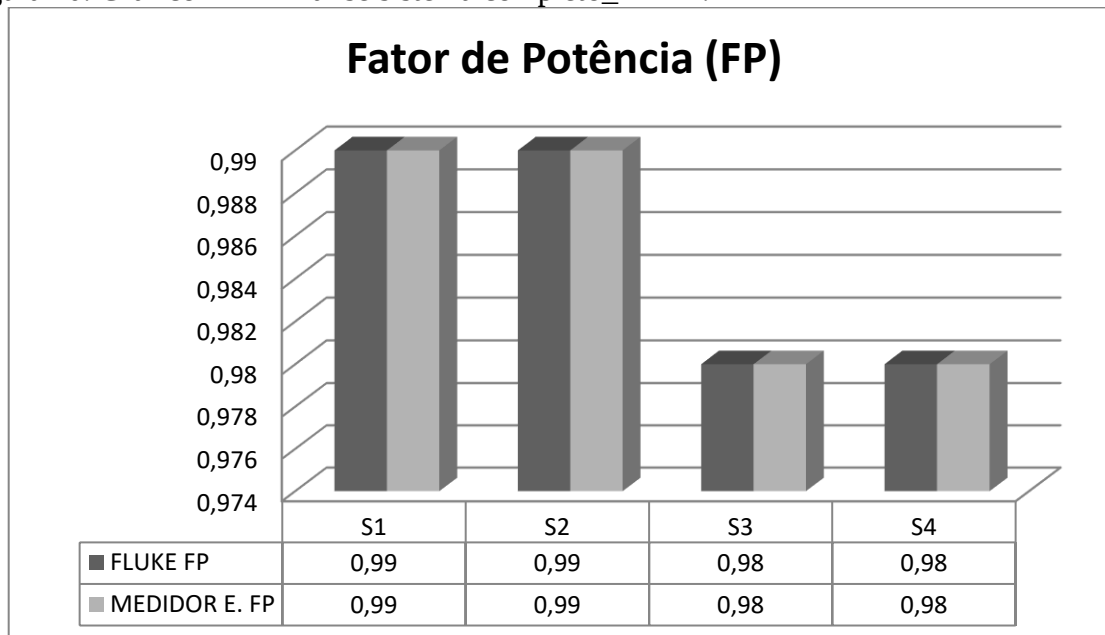
Figura 69. Gráfico DHTi – Análise sistema completo\_REDE



Fonte: Autoria própria

Também os fatores de potência se apresentam na Figura 70.

Figura 70. Gráfico FP – Análise sistema completo\_REDE.



Fonte: Autoria própria

Observa-se que existe uma similaridade entre o sistema S3 e S4, ambos com 0,98 de FP. Embora as tecnologias LFC e LED apresentaram menor FP quando analisadas só no segmento iluminação, na análise conjunta com os eletrodomésticos o FP dos sistemas melhorou consideravelmente.

#### 4.4.2 Análises com alimentação de uma fonte externa:

##### 4.4.2.1 Análise individual por lâmpada:

Nesta última fase se obteve dados de amostras de cada um dos sistemas de iluminação, uma lâmpada por vez alimentadas por uma fonte externa de 127 V e 60 Hz.

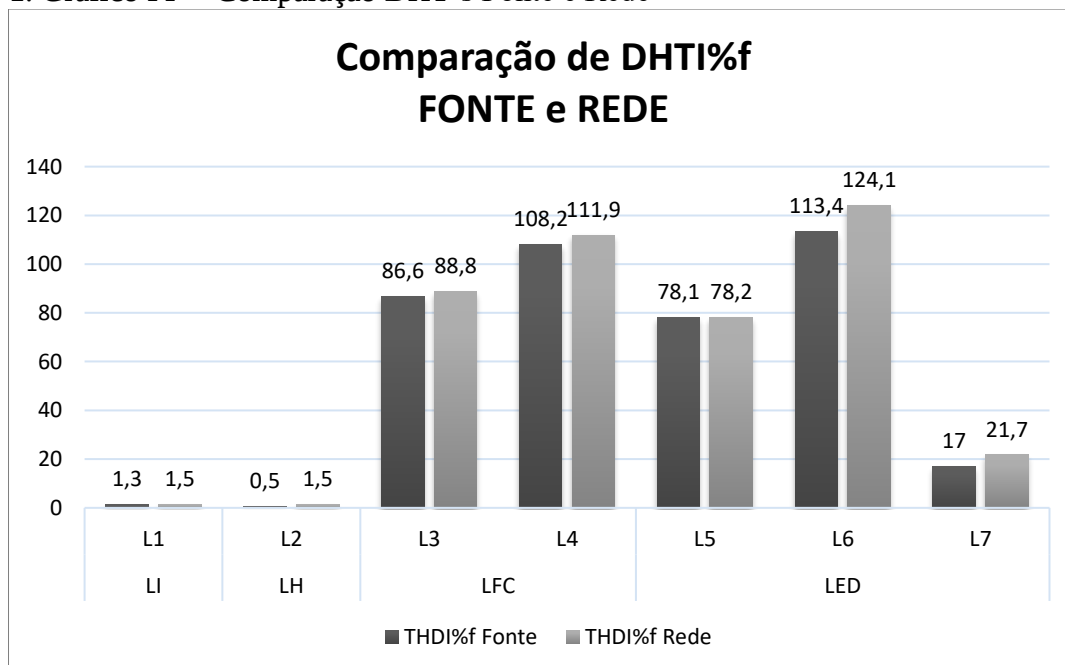
O índice de DHTi apresentado pelas lâmpadas alimentadas pela fonte e rede apresentam-se na Tabela 16, assim como seus dados em porcentagens na Figura 71 a continuação.

Tabela 16. Análise individual por lâmpada incandescente.

| Sistema | Amostra | DHTI%f |       |          |
|---------|---------|--------|-------|----------|
|         |         | Fonte  | Rede  | Variação |
| LI      | L1      | 1,3    | 1,5   | 0,2      |
|         | LH      | 0,5    | 1,5   | 1,0      |
| LF      | L3      | 86,6   | 88,8  | 2,2      |
|         | L4      | 108,2  | 111,9 | 3,7      |
|         | L5      | 78,1   | 78,2  | 0,1      |
| LED     | L6      | 113,4  | 124,1 | 10,7     |
|         | L7      | 17     | 21,7  | 4,7      |

Fonte: Autoria própria

Figura 71. Gráfico FP – Comparação DHT's Fonte e Rede



Fonte: Autoria própria

Estes resultados levam a uma variação de entre 0,1 até 10,7% entre os DHT's obtidos com alimentação da fonte e da rede. O que significa que a alimentação via rede não teve influência significativa nas medições das harmônicas nos equipamentos elétricos.

#### 4.5 Análise de viabilidade econômica

Para fins de estudo do gasto de uma residência média com a troca de suas lâmpadas convencionais pela tecnologia LED, realizou-se uma análise de viabilidade econômica, na qual é necessário obter o consumo de energia elétrica e o custo da energia em um determinado período.

Considerando-se em primeira instância o uso de lâmpadas convencionais e alguns parâmetros a continuação:

- Média de consumo residencial:  $C_T = 161,8 \text{ kWh}$  (EPE, 2016).
- Consumo no segmento iluminação numa residência:  $C_I = 19\%$  (PROCEL, 2009)
- Eficiência média das amostras de lâmpadas LED obtidos nos ensaios comparadas às fluorescentes compactas de uso atual:  $\eta_{LED} = 33,33\%$

Uma lâmpada LED de 10 W substitui uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W, resultando numa eficiência do LED de 33,33%, o que pode-se comprovar na análise da Tecnologia LED realizada neste trabalho no item 4.4.1.2.

O consumo numa residência é dado pelo consumo em iluminação,  $C_I$ , e o consumo dos aparelhos eletrodomésticos,  $C_A$ , como se apresenta na equação 5.

Equação 5. Cálculo de consumo.

$$C_T = C_I + C_A \quad (5)$$

Sendo que 19% deste consumo corresponde à iluminação, como indicado pela equação 6 na sequência.

Equação 6. Cálculo consumo de iluminação.

$$C_I = 0,19C_T \quad (6)$$

Onde:

$$C_I = 30,74 \text{ kWh}$$

$$C_A = 131,06 \text{ kWh}$$

Na troca das lâmpadas convencionais usadas atualmente (LFC) pelas LEDs considerando a eficiência,  $\eta_{LED}$  de 33,33%, obtida nos ensaios realizados neste trabalho se obteve um novo consumo,  $C'_I$ , representado na equação 7 a seguir.

Equação 7. Cálculo consumo de LED

$$C'_I = \frac{2}{3} C_I \quad (7)$$

Onde:

$$C'_I = 20,49 \text{ kWh}$$

O consumo economizado resultaria no valor de:

$$C_E = 10,25 \text{ kWh}$$

De acordo à fatura de energia elétrica da Bandeirante Energia S.A. em junho de 2016, encontra-se como preço médio do kWh o valor de R\$0,5256 reais, em consequência o valor a ser pago pelo consumo  $C_I$  mensal seria:

$$V_I = R\$16,16 \text{ reais.}$$

Já o valor com o novo consumo em uso da tecnologia LED ficaria:

$$V'_I = R\$10,77 \text{ reais.}$$

Obtendo-se uma economia mensal em relação ao valor  $V_I$ , na quantidade de:

$$V_{EM} = R\$5,39 \text{ reais.}$$

E ainda se analisado anualmente, a economia ficaria na quantidade de:

$$V_{EA} = R\$64,68 \text{ reais.}$$

Para efeitos de cálculo considerou-se o número médio de 8 lâmpadas utilizadas por residência (EPE, 2010), e o preço médio por lâmpada LED de R\$30,00 reais, obtido em base à compra das marcas A, B e C utilizadas no estudo, como pode-se observar na Tabela 17.

Tabela 17. Preço médio de lâmpadas LED e FC.

| <b>Tipo</b> | <b>L1<br/>A</b> | <b>L2<br/>B</b> | <b>L3<br/>C</b> | <b>Preço<br/>MEDIO</b> |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| LED         | 43,64           | 21,35           | 24,99           | 30,00                  |
| FC          | 15,00           | 7,00            | 11,00           | 11,00                  |

Fonte: autoria própria

O custo inicial de investimento para aquisição dos equipamentos de iluminação para a troca na residência por lâmpadas LED soma R\$240,00 reais.

Para calcular o retorno do investimento realizado na troca das lâmpadas utiliza-se o método do *payback*, como apresentado na Tabela 18, a qual apresenta o período, o investimento da aquisição do sistema, a economia anual e o avanço em porcentagem do retorno.

Tabela 18. Payback

| Ano                                 | Investimento | Caixa     | %    |
|-------------------------------------|--------------|-----------|------|
| 0                                   | R\$ 240,00   |           |      |
| 1                                   |              | R\$ 64,68 | 27%  |
| 2                                   |              | R\$ 64,68 | 54%  |
| 3                                   |              | R\$ 64,68 | 81%  |
| 4                                   |              | R\$ 64,68 | 108% |
| Tempo de retorno = 3 anos e 9 meses |              |           |      |

Fonte: autoria própria

Pode-se observar que o tempo de retorno da troca das lâmpadas realizada em termos de economia do consumo será de 3 anos e 9 meses.

Se considerar-se ainda que a vida útil da tecnologia LED é pelo menos vinte e cinco vezes mais do que as lâmpadas incandescentes e quatro vezes mais do que as fluorescentes compactas (INMETRO, 2016), então no tempo de vida útil de oito lâmpadas LED seriam equivalentes a trinta e duas fluorescentes compactas o que em dinheiro são R\$352,00 reais, segundo o preço médio encontrado na Tabela 17, o que resultaria num retorno automático apenas pela aquisição inicial das lâmpadas.

#### 4.6 Resultados Finais

Com base nos ensaios realizados de vários sistemas de iluminação LED percebe-se que existem sistemas com valores do FP dentro das normas exigidas e sistemas que não estão dentro desses limites. Para uma análise deste tipo de lâmpadas com estas características, e considerando a sua similaridade em fluxo luminoso, apresentam-se dados nas Tabelas 19 e 20.

*Sistema cumprindo a norma: FP = 0,97*

Tabela 19. Dados de sistema com FP dentro da norma

| Núm. de Lâmpadas | FP   | Potência |         |        | Fluxo luminoso [lm] |
|------------------|------|----------|---------|--------|---------------------|
|                  |      | P [W]    | Q [Var] | S [VA] |                     |
| 1                | 0,97 | 11,0     | 2,0     | 11,0   | 810                 |
| 8                | 0,97 | 88       | 16      | 90     | 6480                |

Fonte: autoria própria

*Sistema fora da norma: FP = 0,57*

Tabela 20. Dados de sistema com FP fora da norma

| Núm. de<br>Lâmpadas | FP   | Potência |         |        | Fluxo<br>luminoso<br>[lm] |
|---------------------|------|----------|---------|--------|---------------------------|
|                     |      | P [W]    | Q [Var] | S [VA] |                           |
| 1                   | 0,57 | 6,0      | 9,0     | 11,0   | 720                       |
| 9                   | 0,57 | 54       | 81      | 97     | 6480                      |

Fonte: autoria própria

Conclui-se que entre estes dois sistemas equivalentes, a energia conservada pelo consumidor quando utilizado um FP de 0,57 na sua residência seria de 34 W, o que representa 39% em comparação ao sistema dentro da norma, sendo vantajoso para ele usar este tipo de lâmpadas com estas características pela falta de medidores nas residências que meçam a potência reativa.

Como se observa no uso do sistema fora da norma a potência reativa apresenta um valor muito maior do que a potência ativa, na ordem de 33% a mais, ou seja, mais energia desperdiçada do que consumida, sofrendo assim uma desvantagem para o sistema de geração, pois a energia necessária que precisa ser gerada nas usinas para o seu atendimento é maior, neste caso 7% a mais do que seria gerado com o sistema dentro da norma. No entanto, isto tende a mudar com a instalação dos novos medidores inteligentes pelas distribuidoras, os quais serão capazes de medir estes parâmetros que prejudicam ao sistema gerador, como o que já acontece nas indústrias com a aplicação de multas por não atingir o FP mínimo exigido.

A indústria, ao não atingir o fator de potência mínimo exigido, é penalizada com uma multa proporcional a esse valor não alcançado. Segundo a Resolução da ANEEL 456, de 29 de novembro de 2000 atualizada até 2013, referente ao faturamento de energia e demanda reativas no que se refere ao fator de potência estabelece:

“Art. 76. O fator de potência da unidade consumidora, para fins de cobrança, deve ser verificado pela distribuidora por meio de medição permanente, de forma obrigatória para o grupo A. As unidades consumidoras do grupo B não podem ser cobradas pelo excedente de reativos devido ao baixo fator de potência. ”

“Art. 95. O fator de potência de referência “fr”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativos que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos arts. 96 e 97, a serem adicionadas ao faturamento regular de unidades consumidoras do grupo A, incluídas aquelas que optarem por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B nos termos do art. 100. ” (ANEEL, 2013)

Para fins e efeitos desta resolução se definiu ao grupo A e B:

“Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia. ”

“Grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia" e subdividido nos subgrupos residencial, rural, demais classes e iluminação pública.” (ANEEL, 2013)

Pretende-se transferir a mencionada penalização às residências, com o valor da multa calculado pela equação 8 a seguir:

Equação 8. Cálculo de penalização

$$multa (R\$) = V \cdot \left( \frac{FP}{FP'} - 1 \right) \quad (8)$$

Onde:

*V: Valor da conta*

*FP: Fator de potência mínimo exigido*

*FP': Fator de potência não atingido*

No sistema de iluminação LED que apresentou FP fora da norma no valor de 0,57 não se atingiu o fator de potência mínimo, denominando-o  $FP'$ , em referência ao exigido na indústria  $FP$  de 0,92.

Transferindo estes resultados às normas exigidas do grupo A e fazendo uso do valor da conta numa residência com a média de lâmpadas presentes na iluminação,  $V = R\$3,40$  reais, estima-se uma multa no valor de  $R\$2,09$  reais a ser acrescentado ao valor final da conta de energia elétrica mensal de uma residência, resultando num prejuízo anual de  $R\$25,08$  reais.

Analizando tais valores na multiplicação do número de residências por exemplo numa cidade, num estado ou no Brasil, resultam em valores mais significativos a ser pagos mensalmente pelos consumidores.

Para exemplificar agrega-se dados do último censo demográfico no Brasil realizado a cada dez anos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentados na Tabela 21 a seguir com o número de residências numa cidade, estado, região e país a serem analisadas no valor pago mensalmente por não atingir o FP mínimo exigido.

Tabela 21. Penalização por número de residências.

|                | N. residências | Multa mensal       | Multa anual                 |
|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------|
| São Paulo e RM | 10.931.182,00  | R\$ 22.846.170,38  | R\$ 274.154.044,56          |
| Estado de SP   | 12.835.805,00  | R\$ 26.826.832,45  | R\$ 321.921.989,40          |
| Região Sudeste | 25.222.030,00  | R\$ 52.714.042,70  | R\$ 632.568.512,40          |
| Brasil         | 57.314.048,00  | R\$ 119.786.360,32 | <b>R\$ 1.437.436.323,84</b> |

Fonte: autoria própria

Observa-se que estas penalizações podem chegar a ser na ordem de milhões se analisadas em termos do número de residências existentes no país, o que seria equivalente a 2.734,85 GWh consumidos. Isto em termos de porcentagem da produção de energia elétrica representa 0,5% (316,5 MW).

Comparado com algumas usinas termelétricas existentes no Brasil, seria o equivalente a pouco mais de duas Termoelétricas Muricy com capacidade de 147 MW, ou dez termelétricas Bahia I com capacidade de 32 MW cada uma, ambas localizadas em Camaçari-Bahia, ou ainda representaria o 37% do maior complexo termelétrico movido a carvão da América Latina, o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda em Capivari de Baixo, Santa Catarina, formado por três usinas térmicas movidas a carvão, com capacidade instalada total de 857 MW.

E se comparar-se com as novas usinas de geração eólica sendo construídas atualmente no país, seria o equivalente a pouco mais de um Complexo Eólico Alto Sertão I, o maior complexo instalado no Brasil com capacidade de 294 MW, ou dois Parques Eólicos de Osório, cada um com uma capacidade de 150 MW, tratando-as como usinas virtuais a serem utilizadas diminuindo a necessidade da expansão da geração ou retardando os efeitos prejudiciais ao não atendimento da demanda futura.

Finalmente vale a pena ressaltar também que o FP mínimo exigido será cada vez mais rigoroso, passando a ser 0,95 como mínimo, o que já acontece em outros países como a Bélgica, Alemanha, Suíça e entre outros.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizados ensaios laboratoriais com o intuito de quantificar os distúrbios pela consequente introdução de cargas não lineares nas instalações residenciais como lâmpadas LED, causadoras de efeitos nocivos para o sistema elétrico como baixo fator de potência, perdas ôhmicas ou aquecimento nos condutores dos circuitos elétricos.

Para verificar a eficiência da tecnologia das lâmpadas a LED foi criado um ambiente residencial e os ensaios foram realizados em conjunto com os aparelhos eletrodomésticos mais usados numa residência, resultando numa eficiência de 33,33% de potência ativa e na ordem de 50% para a potência aparente, comparadas às de uso atual.

Assim como também se quantificaram os índices de distorções harmônicas no âmbito da iluminação e se evidenciou que as lâmpadas fluorescentes compactas foram as pioneiras, seguidas das lâmpadas LED, assim como no âmbito eletrodomésticos foram os eletrônicos os quais ficaram com maior índice de distúrbios, seguidos do microondas, dos motores e finalmente dos refrigeradores.

Segundo a norma INMETRO 389RTQ LED, se estabelece 0,7 como valor mínimo de FP para as lâmpadas LED entre cinco e vinte e cinco watts, o qual foi atendido somente em 50% das amostras testadas, o resto está fora da norma, assim também para lâmpadas maiores a vinte e cinco watts se estabelece como mínimo de FP 0,92, o que não foi cumprido pelos fabricantes das amostras deste estudo.

Pelos resultados obtidos verifica-se que para o consumidor pode resultar benéfico usar sistemas de iluminação com baixo fator de potência, pois ele paga só o equivalente à potência ativa em um determinado período de tempo em [kWh]. Mas com a inserção dos medidores inteligentes, pela potência reativa e harmônicos, também haverá multas como já acontece nas indústrias com o fator de potência não atingido.

Constata-se também que, se usados esses sistemas com baixo FP, sem atender a fatores de potência mínimos exigidos, o sistema gerador terá prejuízos implicando na necessidade de normas mais rigorosas que visem economia tanto para o consumidor quanto para o sistema elétrico.

Oteve-se também a comparação de usinas virtuais a serem utilizadas fazendo ênfase de quanto o sistema gerador pode economizar diminuindo a necessidade da expansão da geração ou retardando os efeitos prejudiciais ao não atendimento da demanda futura.

Finalmente se recomenda ao INMETRO que possa ser inserida a distorção harmônica total (DHT) de cada aparelho elétrico na sua etiquetagem para informação dos consumidores,

assim como o estabelecimento de uma escala quantitativa e/ou qualitativa dos aparelhos com mais ou menos harmônicas. Dando continuidade a esta dissertação se propõe reproduzir este trabalho em maior escala com amostras de diversas residências, assim como a coleta de dados em domicílios com os atuais medidores de energia e em outros com os medidores de energia digitais que quantificam energia reativa e fator de potência.

As lâmpadas LED são mais eficientes, quase toda a energia fornecida é transformada em luz. Em comparação com outras tecnologias elas produzem muito mais luz por unidade de energia fornecida (lumen / Watt), conduzindo a poupanças de até 90% da energia utilizada para a iluminação, diretamente resultando numa baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Além disso não é utilizado enxofre, vapores de mercúrio nem outros metais perigosos para o meio ambiente durante a sua produção.

Têm uma longa vida útil em comparação com outros tipos de lâmpadas. Em relação a média de vida de uma lâmpada halógena de 3.000 horas com o tempo de vida de LEDs que vão desde 50.000 até 100.000 horas. Quando usado 8 horas por dia, a lâmpada de halogéneo dura cerca de um ano, ao passo que as LEDs tem uma duração de pelo menos 17 anos. No entanto, isso não significa que estas sempre vão durar todo esse tempo na vida real, como os LEDs são controlados pela eletrônica de potência, esta deve ter qualidade suficiente, a fim de coincidir com a expectativa de vida do LED.

As lâmpadas LED emitem muito pouco calor em comparação às fontes de luz anteriores, por isto também da sua maior durabilidade. Tornando-as mais seguras para tocá-las enquanto estão em funcionamento. Os LEDs não são sensíveis à vibração e frio, podendo ser também dispositivos a prova de água tornando-as ideais para uso externo e condições mais rigorosas de temperatura. Os fabricantes fazem todo o possível para manter a temperatura de funcionamento tão baixa quanto possível para seus acessórios.

Uma outra vantagem deste tipo de lâmpadas é o aproveitamento total do fluxo luminoso diferente das fluorescentes, onde parte deste fluxo é perdido no rebatimento nas luminárias.

Na atualidade a introdução desta tecnologia é cada vez maior, e as políticas de uso estão aumentando. No Brasil, a comercialização de lâmpadas de LED tem aumentado de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux), atualmente, as lâmpadas de LED representam 10% do mercado total (MOREIRA, 2015).

Nos EUA por exemplo a General Electric está acelerando o tempo de mudança para tecnologias mais eficientes, fazendo desaparecer as lâmpadas fluorescentes compactas das prateleiras norte-americanas até 2017. A General Electric anunciou que até o fim deste ano

encerrará a produção das fluorescentes no país para se focar apenas na Tecnologia LED como modelo de lâmpada eco-consciente (KASTRENAKES, 2016).

O único ponto desfavorável é o alto custo de aquisição destes equipamentos, porém com os incentivos de produção tendem a melhorar.

A sua longa vida útil e maior eficiência energética evidencia superioridade quando comparadas com as lâmpadas incandescentes, no entanto o uso destas novas tecnologias traz comprometimento ao que se refere qualidade de energia ofertada e conseqüentemente injetada na rede do sistema onde elas são empregadas devido ao surgimento de distorções indesejadas e ao baixo fator de potência (BRAGA et al., 2014).

## REFERÊNCIAS

ACHÃO, C.; SCHAEFFER, R. (2009). Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980-2007 period: Measuring the activity, intensity and structure effects. **Energy Policy**, 37(12), 5208–5220. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.043>> Acessado em: 24 Maio. 2016.

AEDENAT; CODA, C.S DE CCOO; UGT. **Ante el cambio climático, menos CO2**, 1998.

ALMEIDA, M.A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E.L. The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil. **Energy**, v.26, n.

AMAN, M. M. et al. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. **Energy Policy**, London, v. 52, p.482-500, jan. 2013.

ANACE – Associação Nacional de Consumidores de Energia. Perguntas Frequentes. São Paulo, 2016. Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/faqs/1-energia-eletrica/20-o-que-e-acionamento-de-energia-eletrica>> Acessado em: 24 Maio. 2016.

ARGENTINA, Secretaria de Energia. Programa de calidad de artefactos energéticos-PROCAE, **Estudio de impactos em redes de distribución y médio ambiente debidos al uso intensivo de lámparas fluorescentes compactas**. Buenos Aires, 2006. 120p.

BITZER, C. Qualidade e Energia e Harmônicas nos Sistemas Elétricos, Boletim da Engenharia, N18, pp. 1-4, 2004.

BOLLEN, M.; MATH, H. J. **Understanding Power Quality Problems**. P. M. Anderson, Series Editor. IEEE press Editorial Board. NY USA. 2000.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2012: ano base 2011**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2012a. 282p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>.> Acessado em: 9. dez. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2015: ano base 2014**. Relatório Final. Brasília-DF: EPE, 2015a. 291p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>> Acessado em: 9. dez. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo da energia no Brasil: Análises Setoriais**. Nota Técnica DEA 10/14. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 116p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>> Acessado em: 5. Nov. 2015.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2008a.

BRAVO, R. J.; ABED, N. Y. Experimental evaluation of the harmonic behavior of LED light bulb. **IEEE Power and Energy Society General Meeting**, Santo André, 2013. Disponível em:

<<http://doi.org/10.1109/PESMG.2013.6672991>>.

Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **Instalações Elétricas Prediais**. 18. ed. São Paulo: Érica Ltda 2008. 422p.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Crise Hídrica no Sudeste Brasileiro**. Florianópolis, 13 ago 2015. Publicações. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/20142015-crise-hidrica-no-sudeste-brasileiro/>> Acessado em: 02 fev. 2016

*Comparison Chart LED Lights vs. Incandescent Light Bulbs vs. CFLs*. Disponível em: <<http://www.designrecycleinc.com/LED%20comp%20chart.html>> Acessado em: 07 abr. 2016 4, p. 413-29, 2001.

CPFL. Companhia Paulista de Força e Luz. **Cartilha de utilização consciente da energia elétrica**. 2013. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/legislacao/download-manual-pee-aneel/Documents/Cartilha.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2014.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC 2007. 428p.

DAMATO, J. **Conservação de energia em sistemas de iluminação pública e os seus efeitos na rede elétrica de distribuição**, 2005. 130 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica da UNESP, Guaratinguetá, 2005.

DUGAN, R.C. et. al, *Electrical Power Systems Quality*, second edition, McGraw-Hill. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro. **Matrizes energéticas no brasil: cenário 2010-2030**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. 15.

EPE. 2012. **Projeção da Demanda de Energia Elétrica 2011-2020**. Rio de Janeiro: s.n., 2012.

EPE. 2015. **Balanco Energético Nacional ano base 2014**. Brasília - DF: s.n., 2015

EPE. 2015. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)** Rio de Janeiro: s.n., 2015.

EPE. 2016. **Resenha Mensal de Consumo de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/ResenhaMensualConsumodeenergiael%C3%A9tricaficaest%C3%A1velemjunho.aspx>>. Acesso em 02/08/2016.

FEDRIGO, N. et al. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Florianópolis: 2009. 94p.

FEITOSA, C. Crise hídrica começou em abril de 2012, mostram dados de satélite. **Observatório do Clima**, Brasília-DF, 6 nov. 2015. Publicações.

FERRAZ FILHO, R.; PATELLO DE MORAES, M. **Energia Elétrica: Suspensão e Fornecimento**. São Paulo: LTr, 2002. 189p.

FIGUEIREDO, A. “**Análise de Modelos para Cargas Não Lineares no Estudo Trifásico de Penetração Harmônica**”, 2006. 132f. Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica da UNESP, Ilha Solteira, 2006.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-41020, 2007.

GROSSO, G. LEDs à margem da qualidade. **Jornal da Instalação**, São Paulo, 2015. Artigos Técnicos. Disponível em: <[http://www.jornaldainstalacao.com.br/index.php?id\\_secao=2&pg=3](http://www.jornaldainstalacao.com.br/index.php?id_secao=2&pg=3)>. Acesso em: 12 maio 2016.

HAGE, J. A estratégia brasileira para a energia e logística: breves comentários. In: MENEZES, Wagner. Estudos de direito internacional: anais do 6º Congresso Brasileiro de Direito Internacional. Curitiba: Juruá, 2008. p. 251-261 – v. XIII.

HAUBERT, M. Região Sudeste vive a pior crise hídrica em 84 anos, afirma ministra. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 23 jan. 2015. Cotidiano, Secao Cotidiano, p. 1.

JANNUZZI, G.M.; SCHIPPER, L. The structure of electricity demand in the Brazilian household sector. **Energy Policy**, v. 19, n. 9, p. 879-91, 1991.

KASIER, G. “Lighting in and around the home”, **Leonardo Energy**, Cu0239, pp. 1–4, 2016.

KASTRENAKES, J. GE is phasing out CFL bulbs so that LED can take off. **The Verge**, New York, 1 fev. 2016. Tech, p.1. Disponível em: <<http://www.theverge.com/2016/2/1/10881762/ge-phasing-out-cfl-in-favor-of-LED-light-bulbs>>. Acessado em: 18 jun. 2016.

INMETRO, Portaria n. 389, **Regulamento Técnico da Qualidade para Lâmpadas LED com Dispositivo Integrado à Base**, 2014.

LEONELLI, P. A. **Uso eficiente de energia elétrica no setor residencial - uma análise do comportamento do consumidor**. 1999. 137 f. Tese Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPEE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

LOSADA y GONZALEZ, M.; PIRES, I.A.; SILVA, S. R. “Medições de Correntes Harmônicas em Aparelhos Eletrodomésticos”. Revista Eletricidade Moderna, nº 382, pp 110-123, jan. 2006

MANDELMAN, M. **Análise Crítica da Matriz Energética Brasileira e a Implementação de “Smart Grid”**. 2011. 104 f. Dissertacao Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Taubaté, 2011.

MARTINEZ, L.; TOMIOKA, P. J. (2009). Estudo da Estrutura do White Light Emitting Diode

– White LED. In II Simpósio de Iniciação Científica (SIC) UFABC. Santo André (p. 13). Disponível em: <[http://ic.ufabc.edu.br/II\\_SIC\\_UFABC/resumos/paper\\_5\\_89.pdf](http://ic.ufabc.edu.br/II_SIC_UFABC/resumos/paper_5_89.pdf)>.

MDIC, Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Cartilha de Lâmpadas LED, 2016.

MME, Ministério de Minas e Energia, Matriz energética nacional 2030, Eletrobrás. 2007.

MME. 2016. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Secretaria de Energia Elétrica - Depto de Monitoramento do Sistema Elétrico, Ministério de Minas e Energia. Brasília - DF: s.n., 2016. p. 17

MME. Ministério das Minas e Energia, Brasil. **Plano Energia Brasil – Eficiência Energética**. Brasília, DF: MME, dezembro 2001.

MOREIRA, B. Certificação para LEDs agora é obrigatória, **Portal O Setor Elétrico**, São Paulo, Maio 2015. Setor Elétrico, p.1. 112 Ed. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/1685-certificacao-para-LEDs-agora-e-obrigatoria.html>>. Acessado em: 18 jun. 2016.

MORENO, H. **Harmônicas nas Instalações Elétricas**. 1. ed. São Paulo: Procobre, 2001. 65 p.

PIRES, I. **Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica**. 2006. 173 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica da UFMG, Belo Horizonte, 2006.

PROCELINFO, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, MME, Eletrobrás, 1993.

REIS, L.; FADIGAS, E.; CARVALHO, C. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2.ed. rev. atual. Barueri, SP: Manole, 2012.

ROCHA DOS SANTOS, R.; MALDONADO ASTORGA, O.; VIEIRA, N.; HADDAD, J. Análise do desempenho energético do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL In: **Book of Abstracts and Proceedings of 11th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission: CLAGTEE 2015** ISBN 9788561065027. 11 Ed. São José dos Campos: UNESP, 2015.

SEGURA, M. L. A evolução da matriz energética brasileira: O papel dos biocombustíveis e outras fontes alternativas. **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XV, n. 96, jan 2012. Disponível em: <[http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=11039](http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11039)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p. 47-69, Nov. 2007 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>> Acessado em: 10 Maio. 2016.

VIANA, A. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos E Aplicações**. Campinas, SP: ELEKTRO, 2012.

VITOUSEK, P. M.; ABER, J. D.; HOWARTH, R. W.; LIKENS, G. E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.W; SCHINDLER, W.H.; TILMAN, D. G. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecology**, Appl. 7, 737-750, 1997.