

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA EM LÂMPADAS INCANDESCENTES FLUORESCENTES E LED'S

Felipe Silva Braga*¹
Inira Luisi Paim Ferreira**
Lucas Miranda Oliveira***
Antônia Ferreira dos Santos Cruz****

Resumo

O objetivo deste trabalho é fazer análise comparativa de diversos fabricantes, referentes aos parâmetros de consumo de energia, distorções harmônicas e fator de potência em tecnologias de lâmpadas, incandescentes, florescentes e Led's (diodo emissor de luz). Este trabalho mostra a preocupação da engenharia em preservar não somente o nível de eficiência energética e luminosa, mas também a qualidade de energia do sistema que pode ser impactado por estas cargas. No tocante à eficiência energética, fica evidente a superioridade das tecnologias estudadas quando comparadas com as lâmpadas incandescentes. Entretanto, quando se observa os efeitos das lâmpadas fluorescentes e Led's sobre a qualidade da energia elétrica, verifica-se certo comprometimento, devido ao surgimento de distorções harmônicas indesejadas na rede assim como baixo fator de potencia.

Palavras-chave: Eficiência energética; Lâmpadas; Qualidade de energia; Fator de potência.

Abstract

The objective of this work is to make a comparative analysis of various manufacturers, related to the parameters of energy consumption, harmonic distortion and power factor in incandescent, fluorescent and Led's (light emitting diode) lamp's technologies. This work shows the concern of engineering to preserve not only the level of energy and luminous efficiency, but also the power quality of the system that may be impacted by these charges. Regarding energy efficiency, it is evident the superiority among the technologies studied when compared to incandescent bulbs. However, when observing the effects of fluorescent lamps and Led's on the power quality, there is some impairment due to the emergence of unwanted harmonic distortion in the network as well as low power factor.

Keywords: Energy efficiency; Lamps; Power quality; Power factor.

1 INTRODUÇÃO

A primeira lâmpada disponível para uso residencial foi a de Thomas Edison, no final do século XIX e, durante todos esses anos descobertas e pesquisas surgiram resultando na grande diversidade de lâmpadas residenciais existentes hoje no mercado. Cada uma com suas vantagens e desvantagens buscando qualidade da luz, beleza decorativa e ainda redução no consumo de energia. No Brasil, no ano de 2001, devido à crise no abastecimento de energia

* Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - PIBITI/UNIFACS/CNPq, lucasmiranda89@gmail.com

** Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - PIBITI/UNIFACS/CNPq, inirapaim@yahoo.com.br

*** Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - PIBITI/UNIFACS/CNPq, phelipe_braga6099@hotmail.com

**** Mestre em Regulação da Indústria de Energia e Professora Titular da Escola de TI e Engenharia da Universidade Salvador – UNIFACS. Rua Vieira Lopes, nº 2 - Rio Vermelho, Salvador - BA, 41940-560. antonia.cruz@pro.unifacs.br.

elétrica, com o chamado “apagão”, a substituição de fonte luminosa foi mais difundida com foco em aumento de eficiência energética para redução do consumo da energia elétrica.

Com a grande preocupação no abastecimento de energia elétrica é notório investimentos no seu fornecimento, aplicados para aumento da capacidade, porém, a demanda de energia é crescente no país, em uma velocidade maior do que a capacidade de oferta da mesma (ELETROBRÁS, 2011). O consumo de energia elétrica cresceu aproximadamente 13,67% em um período de dez anos, o que pode ser justificado, principalmente devido ao aumento de renda da população e também à redução de impostos de bens de consumo, como eletrodomésticos, durante este período. O setor residencial tem consumo de aproximadamente 23,6% do total de consumo de energia elétrica no Brasil (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

Tomando como base os dados da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, ano base 2005, Classe Residencial Relatório Brasil, a participação de lâmpadas no consumo de energia elétrica residencial no Brasil é de 14%. A pesquisa da Eletrobrás também mostra que a lâmpada tem seu maior consumo de energia nos horários entre 18 e 23 horas, exatamente nos horários de maior consumo de energia elétrica no sistema brasileiro (ELETROBRÁS, 2007).

Os sistemas de iluminação vêm passando nas últimas duas décadas por profundos avanços em equipamentos e dispositivos auxiliares, baseados em acionamento a estado sólido, através do emprego da eletrônica nos processos de ignição, com o objetivo principal de promover a eficiência energética e reduzir o consumo energético deste sistema, destinado ao ambiente doméstico, comercial, industrial e público.

No tocante à eficiência energética, fica evidente a superioridade das novas tecnologias de lâmpadas fluorescentes e Led's quando comparadas com as lâmpadas incandescentes. Entretanto, quando se observa os efeitos destas novas tecnologias no sistema onde elas são empregadas, verifica-se certo comprometimento na qualidade de energia ofertada devido ao baixo fator de potência e surgimento de distorções indesejadas na rede.

Estas distorções são compostas de frequências múltiplas ou submúltiplas da fundamental (60 Hz), e são conhecidas como harmônicas. A presença da resultante das harmônicas nas ondas de corrente e tensão, pode causar inconvenientes no sistema elétrico como queima de motores e mau funcionamento de equipamentos eletrônicos sensíveis, por exemplo.

O objetivo deste trabalho é avaliar as distorções da forma de onda da tensão e corrente das lâmpadas fluorescentes e Led's de diferentes fabricantes. Para tanto, são analisados fator de potência, forma de onda de tensão, forma de onda de corrente, distorção harmônica total (DHT), potência ativa consumida e quantidade de iluminação. As diferentes tecnologias de lâmpadas estudadas serão avaliadas individualmente. Este trabalho mostra a preocupação da engenharia em preservar não somente o nível de eficiência energética e luminosa, mas também a qualidade de energia no sistema, o qual pode ser impactado grandemente por estas cargas que tem uma crescente demanda, em especial no setor residencial.

Os testes serão realizados em lâmpadas, que conforme especificado pelos fabricantes, apresentam o mesmo resultado em termos de iluminação, com menor consumo de energia elétrica, porém apresentam distorções diferenciadas devido às características técnicas de cada uma. Os resultados obtidos serão analisados para verificar, posteriormente, a possibilidades de atenuar os efeitos das distorções de harmônicos e do baixo fator de potência nas instalações elétricas nas quais estão ligadas as cargas.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Ao longo dos tempos, o aumento da demanda de iluminação foi originando o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais eficazes nesta área. Para tanto se leva em consideração não apenas sua eficiência, mas também outros aspectos são considerados no desenvolvimento destes sistemas, como por exemplo, a qualidade de iluminação (IRC), a utilização de produtos menos poluentes e o menor custo de fabricação quando fabricados em grande escala.

Por muitos anos as lâmpadas incandescentes foram o único sistema de iluminação disponível no mercado, porém sabe-se hoje que esse método é pouco eficaz. Sua eficiência energética é de 8%, ou seja, apenas 8% da energia elétrica utilizada são transformadas em luz e os outros 92% é transformada em calor. Já uma lâmpada fluorescente compacta, com capacidade de iluminação equivalente à anterior possui eficiência energética na ordem de 32% (INEE, 2008).

O termo eficiência energética vem se tornando cada vez mais recorrente nas discussões e divulgações sobre demanda de energia, a nível global. É ainda responsável por importantes medidas políticas de energia e meio ambiente, especialmente àquelas relacionadas às mudanças climáticas (MENKES, 2004). Pode-se dizer que sistemas

energéticos eficientes são aqueles em que os custos com energia são reduzidos concomitantemente ao aumento da quantidade de energia fornecida, sem que haja alteração da geração. O resultado disto é a redução do consumo e conseqüentemente diminuição da necessidade de investimentos governamentais na produção, transmissão e distribuição de energia, reduzindo os impactos ambientais (GOLDEMBERG, 2007).

As tecnologias de lâmpadas fluorescentes e Led's, apesar de serem mais eficientes do que as tradicionais incandescentes representam cargas não lineares para o sistema elétrico. Estas cargas, pelas suas características, geram distorções harmônicas e baixo fator de potência, que impactam diretamente na qualidade de energia. A elevada distorção de harmônicos da corrente e o reduzido fator de potência ocasionam problemas à rede elétrica como: distorção da tensão da rede de corrente alternada, redução da potência útil, aumento das perdas em condutores, redução da eficiência e conseqüente necessidade de aumento da geração de potência (VA) (CANESIN, 2001).

Atualmente é muito comum encontrar consumidores, de diversas classes, também residenciais, com cargas comandadas eletronicamente, tais como fornos de microondas, computadores e periféricos, diversos aparelhos de TV, áudio e outras. Um claro exemplo do emprego da eletrônica em uma área anteriormente dominada por cargas resistivas são as novas tecnologias de lâmpadas econômicas, que estão substituindo as lâmpadas incandescentes tradicionais, com objetivo de redução do consumo de energia elétrica motivado pelas crises energéticas.

A qualidade de energia interfere na vida útil dos equipamentos elétricos, na manutenção dos processos produtivos, na conservação da própria energia, além disso, está relacionada com a segurança das pessoas em ambientes internos e externos (PIGNATI, 2012).

3 LÂMPADAS INCANDESCENTES

As lâmpadas incandescentes (LI) comuns são a forma mais antiga de iluminação e são constituídas de um filamento de tungstênio dentro de um bulbo de vidro com vácuo no interior ou gases não halógenos. A iluminação deste tipo de lâmpada resulta da incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado. Para que o filamento possa emitir luz eficientemente, deverá possuir um elevado ponto de fusão e baixa evaporação.

As LI apresentam variações em suas características construtivas, sendo as mais significativas: incandescente convencional, a incandescente halógena e a incandescente halógena dicróica. Neste estudo será utilizada a lâmpada incandescente comum de 60 W (Figura 1). O tamanho reduzido, funcionamento imediato e o fato de a lâmpada não necessitar de aparelhagem auxiliar (reatores e transformadores, por exemplo) são algumas das vantagens desse tipo de lâmpada. Como desvantagem destaca-se a elevada dissipação de calor que gera com conseqüente desperdício de energia.

Quando em regime térmico permanente, as LI apresentam-se como uma resistência linear e constante. Dessa maneira, a forma de onda da corrente que nelas se estabelece é a mesma da tensão imposta. Com isso, o fator de potência neste tipo de lâmpada é sempre unitário, o que raramente acontece com as fluorescentes, devido à presença do reator (fortemente indutivo). Essa propriedade das LI pode ser vista como uma vantagem sobre as fluorescentes e Led's.

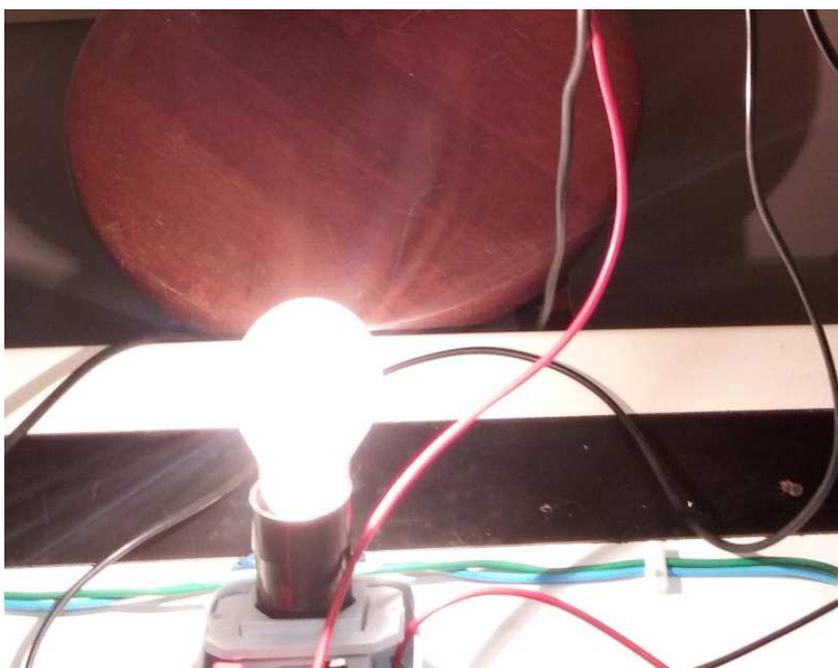


Figura 1. Lâmpada incandescente de 60 W. Fonte própria.

4 LÂMPADAS A DESCARGA DE BAIXA PRESSÃO

Lâmpadas cujo mecanismo de funcionamento é dado pela descarga elétrica em vapores metálicos, vapores de mercúrio ou vapores de sódio, por exemplo, são chamadas fluorescentes (SILVA, C.G.M., 2008). As lâmpadas fluorescentes são compostas de um

invólucro translúcido de vidro transparente chamado de tubo de descarga. Ao aplicar uma diferença de potencial externa, o eletrodo negativo (cátodo) emite elétrons que são acelerados em direção ao eletrodo positivo (ânodo) e colidem com os átomos do vapor metálico no meio do caminho. A colisão causa a ionização dos átomos, ou seja, perda ou ganho de elétrons, os quais também se movimentam em direção aos eletrodos. A conversão de átomos do vapor metálico em íons libera uma radiação ultravioleta que incide no revestimento de fósforo na parede interna do tubo e se converte em luz visível.

As lâmpadas a baixa descarga podem ser classificadas em fluorescentes e fluorescentes compactas, também conhecidas como eletrônicas. As lâmpadas fluorescentes comuns (LFT) são as lâmpadas tubulares, consideradas de baixa pressão, e são revestidas internamente por fósforo. Elas funcionam com a instalação auxiliar de reatores que servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito acendimento das lâmpadas (SILVA, C.G.M., 2008).

As lâmpadas denominadas fluorescentes compactas (LFC) são revestidas com fósforo e compostas de um pequeno bulbo fluorescente, possuindo em alguns modelos os dispositivos de partida (starters) e reatores incorporados ao seu invólucro compacto (LAMBERTS, R., DUTRA, 1997). São bastante utilizadas, pois possuem o mesmo bocal (bocal E27) da lâmpada incandescente, o que facilita sua substituição. Foi utilizado nesse estudo lâmpada fluorescente compacta de 15 W (Figura 2).

O processo de funcionamento, tanto das LFT quanto das LFC, baseia-se em descargas elétricas bruscas para a ionização do gás, formação do arco no ambiente gasoso e excitação do fósforo. Em algumas lâmpadas o acionamento depende do reator e do starter, nestas geram-se as descargas a partir de circuitos eletrônicos. As LFT também podem utilizar reatores eletrônicos, amplamente empregados atualmente.

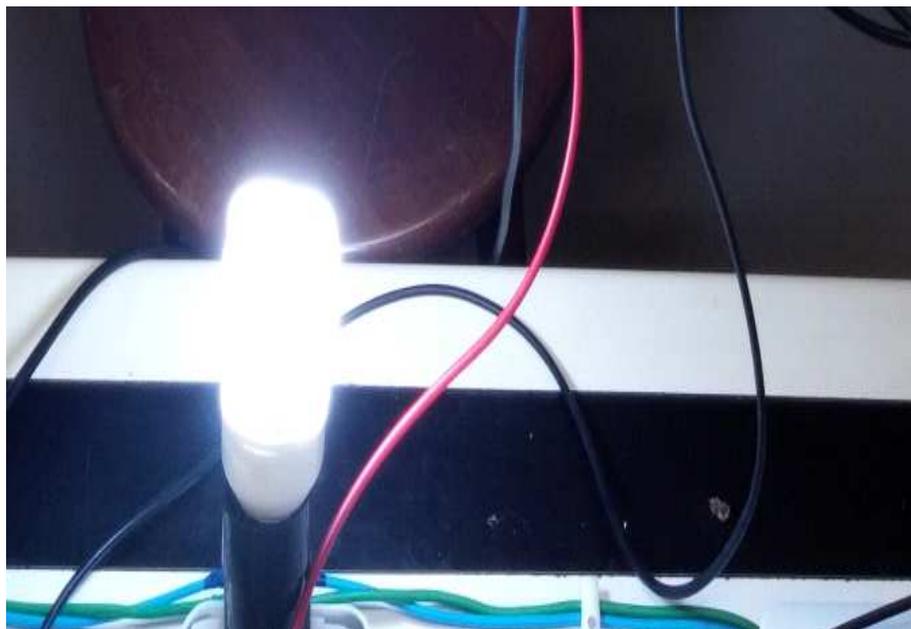


Figura 2. Lâmpada Fluorescente Compacta de 14 W. Fonte própria.

5 Lâmpadas LED (diodo emissor de luz)

Os Led's são fontes de luz de estado sólido baseados em semicondutores inorgânicos que emitem luz por eletroluminescência (OSRAM, Life Cycle Assessment of Illuminants, 2009). Eletroluminescência é um processo de emissão gerado por meio de excitação eletrônica, pela passagem de uma corrente elétrica através do material. Esse processo pode ocorrer em materiais inorgânicos semicondutores, cristais orgânicos e polímeros orgânicos (OLIVEIRA, H.P.M., 2006).

O *LED* (do inglês Light Emission Diode, diodo emissor de luz) é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente, dentro do semicondutor ocorre a recombinação de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia armazenada por esses elétrons seja liberada na forma de calor ou luz devido à passagem da corrente elétrica na junção anodo para o catodo.

Diferentemente de uma lâmpada incandescente, a lâmpada Led não possui filamento, o grande responsável por converter a maior parte da energia elétrica em energia térmica (calor) que significa desperdício, pois o objetivo é iluminar e não aquecer. A lâmpada Led é capaz de produzir muito mais luz visível do que calor ao ser comparado com uma lâmpada incandescente, o que a torna mais eficiente comparada às fontes tradicionais.

Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, o mercado das lâmpadas Led's está em grande expansão com vários modelos e formatos, o que motiva a análise do uso adequado destes tipos de carga para cada situação específica. A lâmpada utilizada nesta pesquisa foi a Led com potência declarada de 10 W (Figura 3).



Figura 3. Lâmpada Led de 10 W. Fonte própria.

6 HARMÔNICOS E DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Antigamente predominavam cargas lineares com valores de impedância fixo (iluminação incandescente, cargas de aquecimento, motores sem controle de velocidade). Atualmente surgiram cargas não lineares geradoras de poluição elétrica (harmônicas).

Tecnicamente, uma harmônica é a componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. As distorções harmônicas vêm contra os objetivos da qualidade do suprimento promovido por uma concessionária de energia elétrica, que deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica.

Cargas com características não lineares eram pouco utilizadas e os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência e com a utilização de métodos que buscam o uso mais racional da energia elétrica, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem-se elevado, causando uma série de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica. Assim é de grande importância citar aqui os vários tipos de cargas elétricas com características não lineares que têm sido

implantadas em grande quantidade no sistema elétrico brasileiro: Circuitos de iluminação com lâmpadas de descarga; Fornos a arco; Compensador estático do tipo reator saturado; Motores de corrente contínua controlados por retificadores; Motores de indução controlados por inversores com comutação forçada; Processos de eletrólise através de retificadores não controlados; Motores síncronos controlados por ciclo conversores; Fornos de indução de alta frequência; Cargas de aquecimento controladas por tiristores; Computadores; Eletrodomésticos com fontes chaveadas; Lâmpadas fluorescentes compactas e Led's, como foram analisadas neste trabalho.

7 O PROJETO

Três tipos de lâmpadas foram avaliados durante os ensaios. Dentre eles, uma lâmpada fluorescente compacta, uma Led e uma incandescente. Esta última foi tomada como referência. Uma breve descrição destes modelos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Lâmpadas utilizadas		
Lâmpada	Quantidade	Potencia (W)
Incandescente	1	60
Fluorescente	1	15
Led	1	10

8 METODOLOGIA APLICADA

As medições foram realizadas em uma bancada didática para medidas elétricas e fez-se uso de parte de seu instrumental, a saber, amperímetro, voltímetro, analisador e medidor de energia e o luxímetro, conforme apresentado na figura 4. Os instrumentos da bancada serviram como referência de medidas durante a realização dos ensaios, porém as grandezas elétricas de interesse para o estudo foram consideradas do analisador de energia Fluke e medidor de energia da Embrasul.



Figura 4. Bancada com instrumental utilizado na pesquisa. Fonte própria.

Para cada um dos arranjos de lâmpadas empregados foram registrados os valores instantâneos de potência, fator de potência, e iluminamento. Foi registrado também o comportamento da tensão e corrente elétrica, através de equipamentos específicos de medições. Para a medição do nível de iluminamento foi empregado um luxímetro posicionado a meio metro da fonte luminosa, perpendicularmente ao plano no qual a lâmpada estava instalada. As características elétricas como potência, corrente, fator de potência e distorção harmônica total foram determinadas pelo analisador de energia da Fluke modelo 43 e o medidor modelo RE-6040 da EMBRASUL. Todas as medições foram efetuadas em condições controladas, sendo a temperatura ambiente de $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar menor que 65%.

Após a preparação das amostras a serem empregadas no experimento, as lâmpadas foram instaladas na bancada e submetidas à sua tensão nominal de operação (127 V). Na fase de uso do método experimental primeiramente foi realizado o cruzamento de informações declaradas nas embalagens pelo fabricante, com os dados obtidos em laboratório.

9 RESULTADOS

Os dados coletados nas embalagens dos fabricantes de cada tipo de lâmpada foram dispostos em tabelas, e foram levados em consideração os seguintes parâmetros: tensão, potência, fator de potência, fluxo luminoso, temperatura de cor e eficiência luminosa. A tabela 2 apresenta os dados coletados na embalagem da lâmpada incandescente utilizada no estudo e a tabela 3, os resultados coletados nos ensaios. Estes resultados foram retirados da

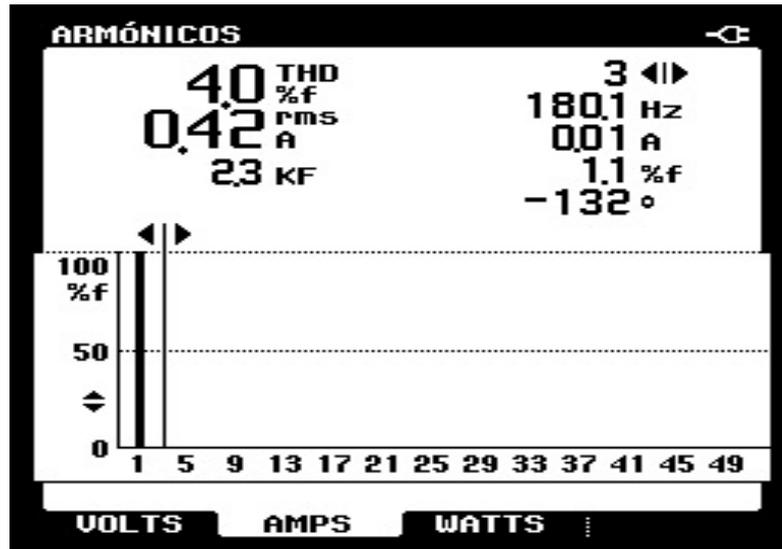
tela do analisador, conforme apresentado na figura 5 e 6. É importante ressaltar que foi confirmado os dados das potencias através do equipamento de medição RE-6040 da Embrasul, por ter maior sensibilidade.

Tabela 2. Dados de fabricante da lâmpada incandescente.	
Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	60
Fator de Potencia	NI
Fluxo Luminoso declarado (lm)	864
Temperatura de cor (K)	NI
Eficiência Luminosa (lm/W)	14.4

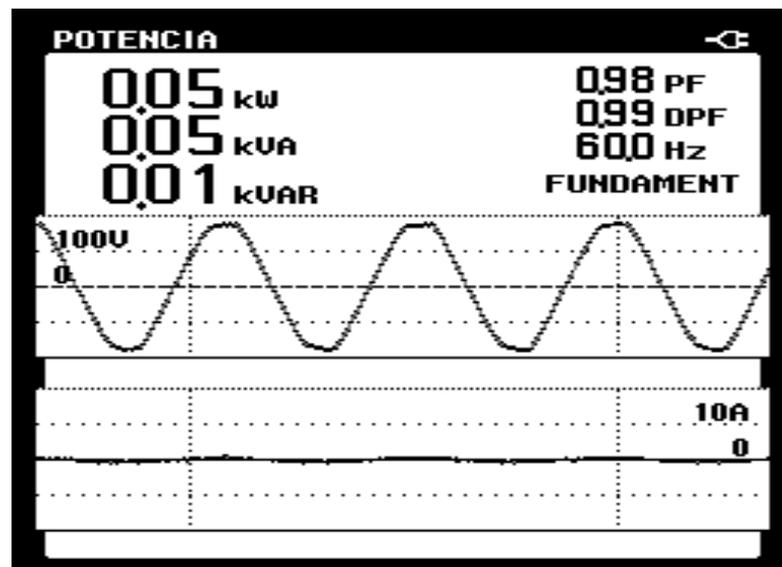
*NI – Não informado

Tabela 3. Resultados obtidos nos ensaios da lâmpada incandescente.	
DHT da tensão	3.0
DHT da corrente	4.0
Corrente (A)	0.471
Tensão (V)	126.8
Potencia (W)	60
Fator de Potencia	1
Iluminacia (Lux)	363

Como esperado, a LI de 60 W apresentou fator de potência igual a 0.98, praticamente unitário, além de baixa distorção de harmônica total - DHT de corrente, apenas 4,0%. Este valor que pode ser considerado desprezível comparado com as demais tecnologias que utiliza circuitos eletrônicos para seu acionamento. O comportamento da tensão em relação a sua forma não foi verificado nenhuma distorção não somente na lâmpada incandescente, mas nas demais lâmpadas em teste. Neste caso, foram apresentados neste trabalho somente as DHT de corrente, conforme figura 5.



Figuras 5. TDH de corrente da lâmpada incandescente de 60 W. Fonte própria.



Figuras 6. Fator de Potência da lâmpada incandescente de 60 W. Fonte própria.

Na Tabela 4 são apresentados os dados nominais coletados dos fabricantes da LFC de 15 W utilizada no estudo e, na tabela 5, os resultados das medições realizadas nesta mesma lâmpada. O total de distorções da 3ª harmônica de corrente assim como o fator de potência desta lâmpada pode ser observado na figura 6 e 7 respectivamente.

Tabela 4. Dados de fabricante da lâmpada fluorescente	
Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	14
Fator de Potencia	≥ 0.5
Fluxo Luminoso declarado (lm)	900
Temperatura de cor (K)	6500
Eficiência Luminosa (lm/W)	64

Tabela 5. Resultados obtidos nos ensaios da lâmpada fluorescente	
DHT da tensão aplicada	2.9
DHT da corrente	70.7
Corrente (A)	0.216
Tensão (V)	127.6
Potencia (W)	15
Iluminancia com distância de 0.5 m (Lux)	530
Fator de Potencia	0.55

Apesar da potência demandada pela LFC ser um quarto da potência demandada pela LI, e da sua eficiência ser cinco vezes maior, é claramente perceptível o baixo fator de potência e a forte distorção harmônica de corrente inserida.

O fator de potência estabiliza em 0.55 assim como a distorção total de harmônica chega a 70,7 %, da 3ª ordem, valores que representam fontes de contribuição para redução da qualidade de energia na rede elétrica, quando essas cargas participam de forma crescente no sistema elétrico.

Este comportamento também previsível devido às lâmpadas de descarga apresentar uma característica tensão versus corrente fortemente não linear, incrementando o conteúdo de harmônicos na rede (FARIAS *et al.*, 2003). De acordo com esta referência, as lâmpadas de descarga geralmente são utilizadas em conjunto com reatores que podem apresentar um baixo fator de potência, absorvendo reativos, bem como causando distorções nas redes elétricas.

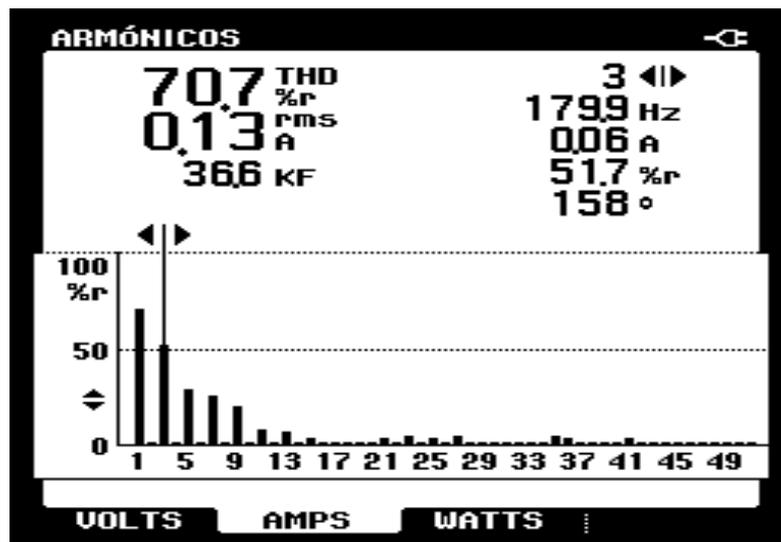


Figura 6. TDH de corrente da lâmpada fluorescente de 15 W. Fonte própria.

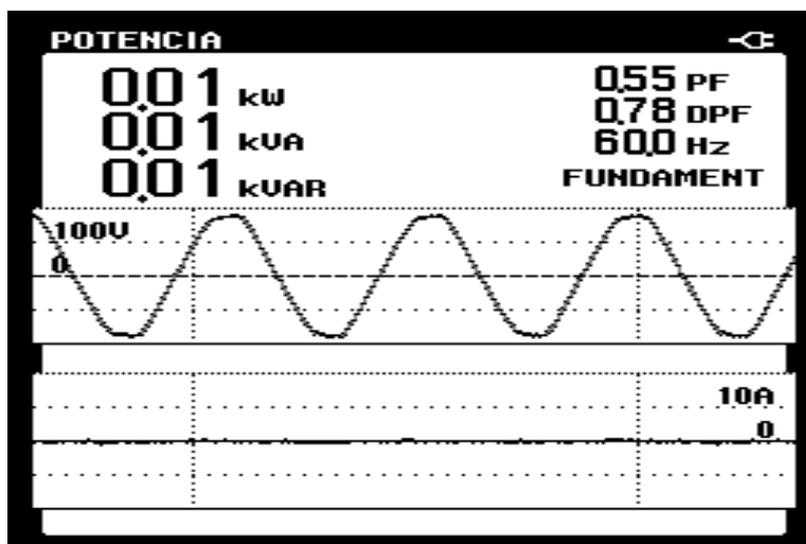


Figura 7. Fator de Potencia da lâmpada fluorescente de 15 W. Fonte própria.

Para a lâmpada Led utilizada no estudo, os dados considerados são apresentados na tabela 6 (dados fornecidos pelo fabricante) e na tabela 7 (dados coletados nos testes). O total de distorções da 3ª harmônica de corrente relativo a essa lâmpada pode ser observado na figura 8, assim como o resultado do fator de potencia conforme a figura 9.

Tabela 6. Dados de fabricante da lâmpada Led	
Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	10
Fator de Potencia	NI
Fluxo Luminoso declarado (lm)	800
Temperatura de cor (K)	3000
Eficiência Luminosa (lm/W)	80

Tabela 7. Resultados obtidos nos ensaios da lâmpada Led	
DHT da tensão aplicada	2,8
DHT da corrente %	48.1
Corrente (A)	0,95
Tensão (V)	127
Potencia (W)	10
Iluminancia com distância de 0.5 m (Lux)	700
Fator de Potencia	1

Observando os resultados obtidos da lâmpada Led, verificou-se que esta apresenta o maior valor de eficiência luminosa com 80 lm/w, porém, com nível significativo no DHT de corrente. Mesmo abaixo da fluorescente, este valor é uma preocupação para os engenheiros de sistemas de potência, pois quando há o uso simultâneo de uma grande quantidade destas cargas não lineares, há grande possibilidade de ocasionar problemas que podem modificar o funcionamento de alguns equipamentos, além de perdas de energia.

O fator de potencia desta carga apresentou alto nível de instabilidade, mesmo considerando um tempo após seu acionamento. Os valores observados ficaram entre 0.6 a 0.9, retirando assim uma leitura mais frequente durante os testes que foi 0.78, conforme figura 9.

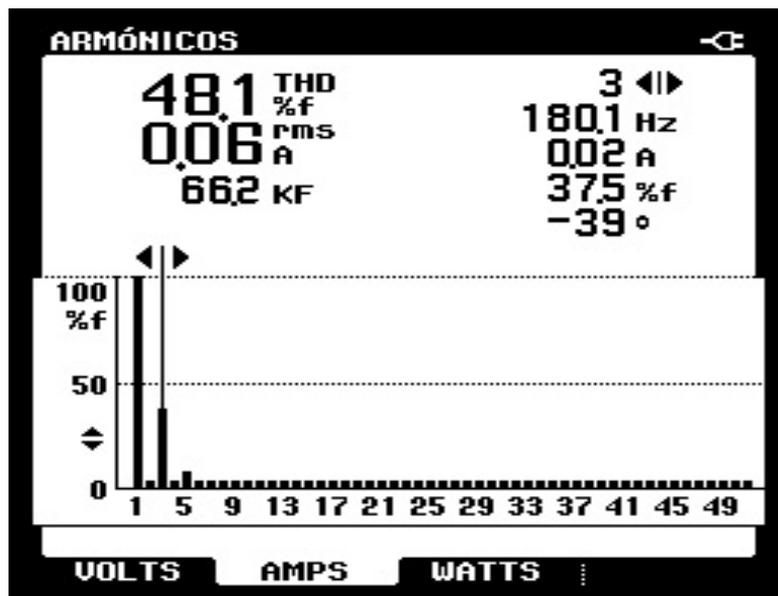


Figura 8. TDH de corrente da lâmpada Led de 10 W. Fonte própria.

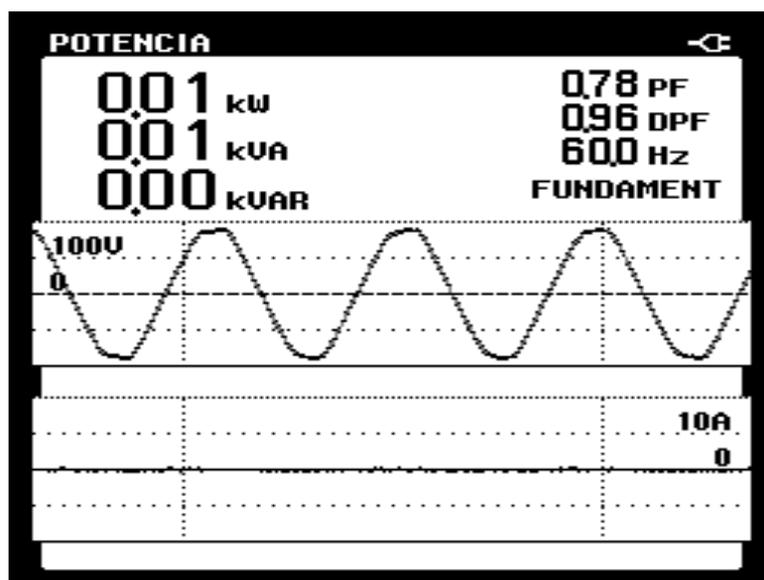


Figura 9. Fator de Potencia da lâmpada Led de 10 W. Fonte própria.

10 CONCLUSÕES

De acordo com os estudos experimentais apresentados neste trabalho, pode-se constatar que a substituição das lâmpadas incandescentes promove significativa redução do consumo de energia quando comparado à lâmpada fluorescente compacta e, principalmente à tecnologia Led. Entretanto, verificou-se que esses dois tipos de lâmpadas, apesar consumirem menos energia, causam distorções relevantes na onda senoidal, principalmente, da corrente

elétrica. Isto pode ser justificado pelas características tensão versus corrente, fortemente não linear do circuito de controle dessas lâmpadas, o que faz incrementar conteúdo de harmônicos na rede.

Na ótica da eficiência energética observa-se maior índice na tecnologia Led, porém o fluxo luminoso da lâmpada fluorescente se destaca entre as três tecnologias analisadas. A lâmpada fluorescente apresentou o maior fluxo luminoso, 900 lm, comparado à tecnologia Led que apresentou 800 lm, e a lâmpada incandescente de bulbo transparente, 864 lm. No entanto na análise da eficiência luminosa com as lâmpadas analisadas a tecnologia Led apresentou-se superior, com valor de 80 lm/W, enquanto que as lâmpadas incandescente e fluorescente apresentaram respectivamente 14 lm/W e 64 lm/W.

Com relação à questão da qualidade de energia, a lâmpada incandescente por ser uma carga linear, apresentou fator de potência unitário e baixa Distorção Harmônica Total (THD) apenas 4%. Diferente das lâmpadas fluorescente e led, que apresentaram um baixo fator de potência e significativos THD. A lâmpada fluorescente apresentou maior THD, 70.7%, e menor fator de potência, 0.55, comparado a tecnologia led, com valor de THD 48.1% e fator de potência em média 0.78, devido as características do sistema de controle de cada tecnologia.

Conforme visto as lâmpadas fluorescentes compactas e Leds podem ter um impacto significativo na economia de energia. Contudo, o uso em massa dessas lâmpadas em sistemas de energia deve ser cuidadosamente planejado, para evitar qualquer efeito negativo inesperado sobre os outros equipamentos do sistema. Desta forma, existe a necessidade de uma regulamentação com as especificações dos equipamentos elétricos que inclua critérios tanto de Eficiência Energética como de Qualidade de Energia, para que as cargas possam operar adequadamente em condições reais de uso.

A tecnologia Led, mostra-se como uma tendência para futura substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes devido a sua eficiência energética. Entretanto, é necessário avaliar as condições do desenvolvimento desta tecnologia, em função da contribuição com o menor impacto da qualidade de energia elétrica

As políticas de incentivo à substituição de lâmpadas são de muita importância para a redução do gasto de energia globalmente. Poupar é importante também pelo aspecto de preservação da natureza. Porém é importante salientar que o problema das harmônicas também é preocupante. Assim, é de grande importância a avaliação das distorções harmônicas

na implantação de políticas públicas de conservação de energia, onde a certificação das lâmpadas pode ter um papel fundamental com a verificação dos níveis de distúrbios causados.

REFERÊNCIAS

CANESIN, C.A. Qualidade de energia elétrica, eficiência e racionalização: desperdício versus desconhecimento. Disponível em:

<<http://www.dee.feis.unespe.br/docentes/canesin/power.html>>. Acesso em: 20 de mar. 2014.

COSTA, G. J. Iluminação Econômica: cálculo e avaliação. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1988.

ELETROBRÁS. Centro de memória de eletricidade do Brasil. Disponível em

<<http://www.memoria.eletronbras.gov.br/main.asp>> Acesso em 25 de Agosto. 2014.

FUJIWARA, J. K. *et al.* Interferência causada pelo uso de fluorescentes compactas em residências. *Eletricidade Moderna: os avanços e as tendências da tecnologia eletroeletrônica*. Ano XXXV. n.294. set.1998.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. São Paulo: Perspec. n.3, p.91-97.

GONÇALVES, B.P. *et al.* Avaliação de impactos harmônicos na rede elétrica através dos indicadores THD e fator de potência utilizando lógica Fuzzy. *Revista brasileira de energia*, v.19, n.1, pp. 9-27, 2013.

HADDAD, J.; YAMACHITA R. A. Avanços tecnológicos e impactos na eficiência energética. *Eletricidade Moderna: os avanços e as tendências da tecnologia eletroeletrônica*. Ano XXXV. n.394. jan.2007.

INEE. A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético. Rio de Janeiro, 2001.

INEE. O que é eficiência energética? Por que se desperdiça energia? Disponível em:

<www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em: 10 de mar. 2014.

JANUÁRIO, M.; SCARPIM, W.L. Estudo de utilização de filtros passivos de harmônicas em sistemas de extra baixa e baixa tensão. *Unoesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, v.4, n.2, pp.229-242, jul./dez. 2013.

KALACHE, N. *et al.* Análise comparativa de sistemas de iluminação: viabilidade econômica da aplicação de led. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, 2013.

YAMACHITA, R.A. Influência da utilização de lâmpadas fluorescentes compactas no sistema elétrico e no meio ambiente. *PCH notícias & SHP News*, ano 4, n.13, pp.13-14, abr. 2002.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

MENKES, M. *Eficiência Energética, políticas públicas e sustentabilidade*. 295 f. Tese (Doutorado em desenvolvimento sustentável) – Centro de desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional 2013, ano base 2012**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2013_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf> Acesso em: 25 de agosto 2014.

OSRAM, **Life Cycle Assessment of Illuminants** A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps, 2009.

OLIVEIRA, H.P.M. de; COSSIELO, R.F.; ATVARIS, T.D.Z.; AKCELRUD, L. Dispositivos poliméricos eletroluminescentes, **Química Nova**, v. 29 n.2 São Paulo mar/abr 2006.

PANESI, A. R. Q. Fundamentos da Eficiência Energética (Industrial, Comercial Residencial). Editora: Ensino Profissional, 2006.

PIGNATTI, A.A. *O impacto da topologia de conexão de transdutores na obtenção de indicadores de qualidade de energia*. 143 f. Tese (Mestrado) – Departamento de engenharia de energia e automação elétricas, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RIBEIRO, A.L.A. et al. Análise da troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas na população universitária de Barão Geraldo. *Revista Ciências do ambiente online*, São Paulo, v.9, n.1, pp.14-20, jun. 2013.

SALUM, L. J. B. Projeto Propagação da Eficiência Energética. Belo Horizonte: CEMIG, 2002.

SILVA, C.G.M., Diagnóstico sobre a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação do Brasil, dissertação de mestrado programa interunidades de pós-graduação em energia, Universidade de São Paulo, 2008.

VALENTIM, A.A.; FERREIRA, H.S.; COLLETO, M.A. Lâmpadas de led: impacto no consumo e fator de potência. *Revista Ciências do ambiente online*, v.6, n.1, pp.29-33, jun.2010.