



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GET/12  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO – GET**

**CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS E TELEVISORES, INCLUSIVE QUANDO SUBMETIDOS A VARIAÇÃO DE TENSÃO**

**Barreto Junior, Manoel Santos(\*)**  
**UFBA – Universidade Federal da Bahia**

**Torres, Bruno de C.**  
**UFBA**

**Bastos, Paulo R. F. de M.**  
**UFBA**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta as características das lâmpadas fluorescentes compactas e televisores comercializados no Brasil, sendo analisados o fator de potência, a potência consumida e a distorção harmônica de corrente. Tais características foram obtidas após ensaios em amostras representativas de lâmpadas de seis diferentes fabricantes nas potências de 11 Watts, 15W e 20W, e de televisores de dois fabricantes. As lâmpadas foram ensaiadas no laboratório de eficiência energética da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, e os televisores externamente. Conclui-se que a caracterização destes parâmetros para estas cargas não lineares são importantes, especialmente a distorção harmônica total de corrente e suas componentes, visto que variam com a tensão aplicada. Analisando-se os ensaios foram identificadas algumas não conformidades no consumo, mas quando comparadas as atuais lâmpadas com outras mais antigas há evolução na redução das distorções harmônicas e melhoria no fator de potência.

**PALAVRAS-CHAVE**

Harmônicas em equipamentos, Lâmpadas Fluorescentes Compactas, Televisores, Ensaios e Testes, Distorções de corrente em LFC e TV.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em 1980 quando a Philips inventou as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e econômicas percebeu-se que elas funcionavam, mas eram grandes e nada atraentes. Desde então, foram alcançados significativos ganhos em eficiência energética e na qualidade da emissão da luz. Hoje, a nova geração de LFC é composta por tubos catódicos, entretanto os avanços tecnológicos foram muitos, especialmente na eficiência e na incorporação de várias funções como o funcionamento em espera (stand-by). Dentre os desenvolvimentos mais importantes nos últimos anos estão as telas de plasma nas quais a imagem é produzida por milhares de micro células independentes, seguindo-se as telas de cristal líquido (LCD) nas quais a luz incide sobre as mesmas por meio de uma única fonte luminosa, e por fim a TV com diodos emissores de luz (os LED).

As LFC e TV são cargas não lineares pois solicitam correntes distorcidas da rede elétrica, portanto, com elevado conteúdo de harmônicas. Tais harmônicas podem fazer aparecer diversos problemas no sistema elétrico como: saturação, ressonância, aquecimento, operação indevida de relé de proteção, mau funcionamento de equipamento eletrônico sensível (microcomputadores), etc. Outro problema destas cargas é o baixo fator de potência.

Neste trabalho são analisadas algumas das características das lâmpadas fluorescentes compactas e televisores comercializados no mercado brasileiro, dentre elas o fator de potência, a potência consumida e a distorção harmônica de corrente e suas componentes.

A metodologia utilizada incluiu pesquisa bibliográfica, a busca de amostras significativas, ou seja, evitou-se testar

(\*) Escola Politécnica da UFBA – DEE - Rua Aristides Novis, 02, quarto andar, Federação – CEP 41.210-910 Salvador, BA – Brasil  
Tel: (+55xx71) 3283-9763 – Fax: (+55xx71) 3283-9779 – Email: engmanoeljunior@gmail.com

menos que cinco equipamentos de cada fabricante e modelo, além da realização dos ensaios para exame das características e análise das distorções harmônicas. Os ensaios foram realizados no laboratório de eficiência energética da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA) utilizando-se o analisador de energia e osciloscópio para as medições, isto no caso das LFC, entretanto os televisores foram ensaiados em campo, principalmente em residências. Foram testadas cento e sessenta LFC de seis diferentes fabricantes nas potências de 20 Watts, 15 W e 11W, e ensaiados dezessete televisores de dois diferentes fabricantes. Como os ensaios foram feitos na tensão nominal e também nos limites das tensões determinados pelo órgão regulador, são apresentadas as características destes equipamentos sob variação de tensão.

Dentre os resultados verifica-se que a potência cresce linearmente com a tensão com um comportamento similar a carga de corrente constante, mas algumas LFC estão apresentando potência consumida superior à declarada na tensão nominal, por exemplo, a potência média consumida para vinte LFC de 20W de determinado fabricante foi de 21,9W em 127V, portanto quase 10% superior ao valor declarado. O fator de potência manteve-se praticamente constante para as LFC de 20W de um dos fabricantes, porém no geral o mesmo decai um pouco com o aumento da tensão, de modo linear, com uma taxa aproximada de 0,02 a cada 15 volts para as unidades de outro fabricante. Com respeito aos televisores foram ensaiados dois modelos, de 32 e 40 polegadas tela em cristal líquido (LCD) de dois diferentes fabricantes, sendo que a amostra de um deles apresentou valores tão distintos para a potência consumida e distorção harmônica que se poderia pensar tratar-se de diferentes modelos. De modo geral os televisores apresentaram potência e fator de potência praticamente independentes da tensão; já a distorção harmônica de corrente cresce com o aumento da tensão aplicada. A potência consumida no modo stand-by dos TV se adequam aos requisitos internacionais.

Este trabalho apresenta no item a seguir um conteúdo das normas aplicáveis e uma pequena revisão bibliográfica, no tópico três a descrição da metodologia adotada e no quatro as características obtidas com os ensaios das LFC e televisores. Finalizando, o item cinco traz as conclusões e o seis as referências.

## 2.0 - NORMAS E UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São duas as principais Normas Brasileiras referentes a lâmpadas fluorescentes compactas (LFC): a NBR 14538 (1) que trata dos requisitos de segurança, e a NBR 14539 (2) que trata dos requisitos de desempenho. Ambas estão calcadas em normas internacionais, a IEC 60968 e a IEC 60969, respectivamente. Já o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), tem regulamento específico para o uso da etiqueta de conservação de energia, e através Portaria regulamentou a avaliação da conformidade em LFC (3).

Com referência aos televisores não há normas específicas, e quanto a eficiência há a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, cuja regulamentação e avaliação compete ao INMETRO. No Brasil tal Etiqueta segue a classificação alfabética na qual "A" corresponde ao modelo mais eficiente.

Para as correntes harmônicas não há norma ou regulamentação no país, prevalecendo, por equivalência, as normas internacionais. A IEC 61000-3-2 (4) define limites para correntes harmônicas em equipamentos cuja corrente nominal seja menor ou igual a 16 Ampere, porém a mesma não se aplica a unidades em 127 V. Mesmo havendo a intenção de aplicar tal Norma por analogia, os televisores podem ser tratados como equipamentos da "classe D" porém as LFC aqui ensaiadas não se enquadrariam na "classe C", equipamentos de iluminação, pois têm potência inferior a 25 Watts.

Não são muitos os trabalhos abordando a qualidade de energia e distorções de correntes em equipamentos residenciais como LFC e televisores. Em 2005, Gonzalez et al (5) apresentaram os resultados de medições feitas em aparelhos eletrodomésticos que produzem distorções harmônicas; analisaram lâmpadas incandescentes, LFC, microcomputadores, aparelhos de ar condicionado, geladeiras e televisores, concluindo haver grande diversidade de harmônicos produzidos em função do modelo e da tecnologia utilizada. Entretanto, as amostras estudadas foram pequenas e a evolução tecnológica tem sido muito rápida: por exemplo, foram verificados 9 aparelhos de ar condicionado, todos de janela, quando atualmente predominam os splits.

Singh e Singh, 2010 (6), mediram diversos parâmetros como fator de potência, tensão eficaz verdadeira, potências ativa e reativa para várias cargas residenciais como LFC, microcomputadores, sistemas de som e outros, inclusive ilustrando com as diversas formas de onda. A partir da avaliação do aumento das perdas individuais devido a presença das componentes harmônicas de corrente estimou o acréscimo de perdas em um campo residencial composta de 100 casas em aproximadamente 8 a 10 Watts, que poderia "representar 150 a 250 kWh por mês". Sendo a causa destas perdas adicionais as cargas não lineares e suas componentes harmônicas de corrente, concluíram que as perdas adicionais podem ser enormes e que problemas outros podem existir nos sistemas de distribuição atuais.

May e Collins, 2010 (7) analisaram a resposta de lâmpadas incandescentes (duas) e LFC (três) a flutuações de tensão de curta duração. É proposto um ambiente para ensaio das percepções do flicker de curta duração gerando-se as VTCD arbitrariamente em um gerador de ondas e avaliando-se a resposta espectral através de um sensor luminoso cuja resposta é similar ao olho humano. Os autores concluem que as LFC ensaiadas têm melhor resposta às flutuações de curta duração que as lâmpadas incandescentes.

Rigo-Mariani et al, 2010 (8) verificaram alguns índices de qualidade de energia como o fator de crista, distorção harmônica total de corrente (DHTi), fator de potência, consumo ativo, corrente e fator K, para nove LFC, sete standards e duas de alta performance (fator de potência acima de 0,9). Verificaram que as componentes harmônicas das correntes muitas vezes ultrapassam os valores limites, e outras não conformidades particularmente no fator de crista e no fator k que “ultrapassa o limite internacional de 40 chegando até a 92 para todas as LFC standards”. No geral tais LFC apresentaram baixo fator de potência (desde 0,53 a 0,59) e elevados DHTi (123% na média), tendo concluído que o desempenho das LFC apresentaram grande diversidade. A comparação das componentes harmônicas de corrente usando os limites da IEC 61000-3-2 é equivocada, pois esta Norma não seria aplicável a lâmpadas com potências nos valores declarados.

Gonzalez et al, 2012 (9) avaliam as distorções harmônicas causadas por cargas não lineares como as lâmpadas, televisores e os microcomputadores. Concluem que todas as cargas apresentaram aumento das distorções harmônicas de corrente a medida que se aumenta a tensão. E ainda, pelo espectro observado “os harmônicos individuais também não aumentaram na mesma proporção”. Como obtiveram valores de DHTi significativos concluem que em simulações computacionais de fluxo de harmônicos nos sistemas elétricos pode ser necessário simular inicialmente o fluxo de potência para obter a tensão nas cargas não lineares antes de se inserir os harmônicos correspondentes das cargas.

### 3.0 - METODOLOGIA

Este trabalho procurou diferenciar-se por envolver amostras mais significativas, especialmente para as LFC, para as quais anteriormente se procurou estudar a conformidade do produto, bem como ensaios não apenas na tensão nominal mas em várias tensões dentro dos limites de tensão adequada estabelecidos pela Agência Reguladora ANEEL (10). Além disto, trabalhou-se com a tensão normal da rede elétrica, embora estabelecendo como restrição o fato que a tensão no momento das medidas apresentasse distorção harmônica total inferior a 2,6%.

Deste modo, foram realizados testes com LFC de 15 Watt (quatro fabricantes), de 20W (três fabricantes) e de 11 W (um apenas), sempre envolvendo amostras de 20 unidades cada. As LFC foram acesas inicialmente por cem horas, e depois ensaiadas no Laboratório de Eficiência Energética da Escola Politécnica. Para os televisores, um modelo LDC de 40 polegadas do fabricante aqui identificado como MM, e outro também de LCD de 32 polegadas, fabricante NN, ambas as amostras contendo 10 unidades; os testes foram feitos em campo em televisores com seis meses a um ano de uso. A Figura 1(a) a forma de onda de uma das LFC, e a Figura 1 (b) o analisador de energia mostrando a distorção harmônica de corrente em um dos ensaios de televisores.

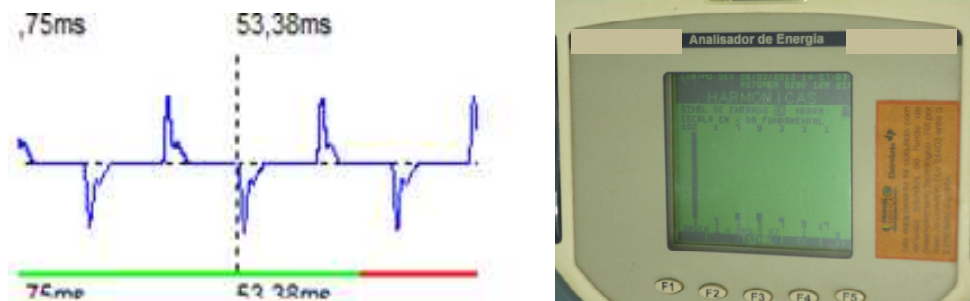


Figura 1- (a) forma de onda em uma ds LFC ensaiadas,

(b) medição distorção harmônica de corrente em televisor.

Nos ensaios os principais equipamento utilizados foram::

- Medidor de grandezas elétricas RE6000/EMBRASUL e alicates de corrente de 10A. Tensão, corrente e frequência com precisão de 2% nas faixas usadas. Precisão do sensor de corrente 1,5% da leitura;
- Varivolt, tipo VM 115 da STP Soc. Téc. Paulista Ltda, entrada 115V e saída 0-130V;
- Amperímetro de bancada, AC, 60 Hz, escalas de 1 A e 5 A, ferromóvel, tensão de ensaio de 2kV, classe de precisão 0,5%, fabricante Engro, série 71 (uso comparativo com o medidor de grandezas).

Foram medidos: fator de potência, potência ativa consumida, corrente, distorções harmônicas total de corrente e suas componentes harmônicas em cada um dos equipamentos. A análise da conformidade das LFC conforme Normas Brasileiras está em BASTOS et al, 2011 (11).

### 4.0 - CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS E TELEVISORES

Foram ensaiadas amostras de 20 LFC por potência e fabricante. Os testes foram realizados em lâmpadas adquiridas no mercado, de seis fabricantes distintos, nas potências de 20 Watt, 15W e 11W. Trabalhou-se com

unidades de três diferentes fabricantes em 20 W, e para preservá-los aqui são identificados por duas letras maiúsculas, por exemplo, TT, XX e YY. A verificação da conformidade com base nas Normas NBR 14538 (1) e 14539 (2), além da Portaria 289 [3] que regulamenta a concessão da Etiqueta de Conservação de Energia foi objeto de outro trabalho (11). Como dito anteriormente, não há norma aplicável à comercialização dos televisores. A análise da distorção harmônica é feita considerando os limites da IEC 61000-3-2 (4) apenas para os televisores.

Este trabalho, voltado para as características das LFC e TV, examina os resultados dos ensaios no que se refere a potência consumida, fator de potência, distorção harmônica total de corrente e suas componentes. Os testes foram realizados nas tensões de 109, 120, 127, e 140 volts; tanto em laboratório como em campo no que tange a distorção harmônica total de tensão os ensaios foram realizados sempre com valores inferiores a 2,6%.

#### 4.1 Correntes harmônicas e outras características das LFC

Apresentam-se inicialmente os resultados dos ensaios das amostras de 20 unidades cada das LFC de 20W dos fabricantes TT, XX e YY. A Tabela 1 mostra os valores médios e desvios padrão obtidos para as grandezas potência ativa consumida, fator de potência, distorção harmônica total de corrente (DHTi em por cento) e os valores obtidos das componentes harmônicas ímpares, desde a terceira até a nona, também em percentual.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios das amostras das LFC de 20W, em 127 volts, três fabricantes.

Grandezas Medidas	Fabricante TT		Fabricante XX		Fabricante YY	
	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$
Potência (W)	19,6	0,5	21,9	0,6	20,6	0,7
Fator de potência	0,63	<0,01	0,59	0,01	0,63	0,02
Corrente (mA)	242	6	290	6	258	12
DHT Corrente (%)	84,8	2,1	118,1	4,5	108,0	8,0
3ª harmônica de corrente	68,7	1,7	83,6	1,3	81,1	2,4
5ª harmônica de corrente	28	3	60	3	55	6
7ª harmônica de corrente	9	1	36	3	28	7
9ª harmônica de corrente	17	1	18	2	13	3

Aqui, devido ao espaço, não podem ser mostrados todos os dados dos ensaios nas demais tensões, preferindo-se apresentar as características mais importantes na forma gráfica. Para as LFC de 20W a potência média consumida é mostrada na Figura 2(a), e o fator de potência (FP) médio medido em 2(b). Observa-se que a potência das LFC cresce de modo praticamente linear com a tensão enquanto que o fator de potência se mantém constante para as unidades do fabricante TT, e cai um pouco com a tensão para as LFC dos fabricantes XX e YY, ou seja, decresce linearmente cerca de 0,02 a cada 15 Volts acrescidos.

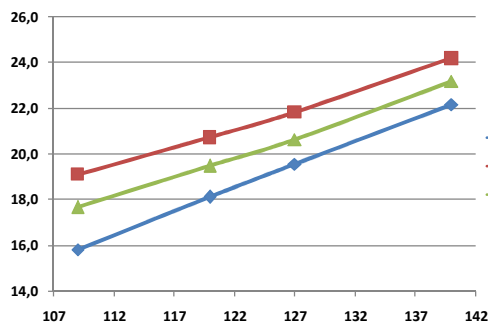
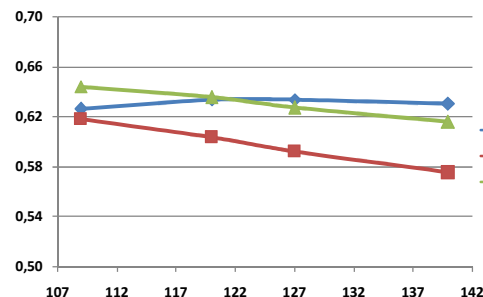


Figura 2 – LFC de 20W: (a) Potência média



(b) Fator de potência médio.

Com os dados da Figura 2(a) é possível fazer uma linearização das curvas; assim, para as LFC do fabricante YY, por exemplo, a potência consumida (em Watt) como função da tensão (em V) pode ser dada por

$$P_{YY} = 0,178 V - 1,862$$

As Figuras 3(a) e 3(b) são relativas às distorções harmônicas de corrente e suas componentes. Em 3(a) são apresentados os valores médios medidos da distorção harmônica total de corrente (DHTi) para as amostras dos três fabricantes, podendo-se observar que a DHTi cresce de modo quase linear com a tensão, especialmente para as unidades dos fabricantes XX e YY. Na Figura 3(b) são mostradas as médias dos percentuais das componentes harmônicas das correntes desde a terceira até a nona ordem, sob a tensão de 127 V. Vê-se que para as LFC do fabricante TT a nona harmônica (com 17,5%) supera a sétima (9,4%). Como dito no item 2 não são analisadas as componentes harmônicas de corrente por falta de norma aplicável.

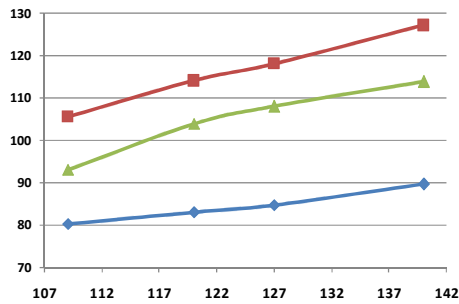
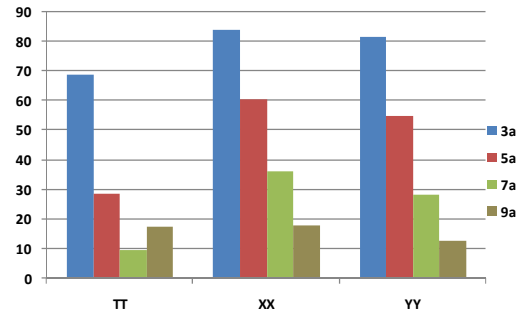


Figura 3 – LFC de 20W: (a) DHTi em função da tensão



(b) Componentes harmônicas da corrente em 127V.

Pode-se observar em 3(a) que a distorção harmônica total de corrente (HDTi%) cresce de modo quase que linear com a tensão aplicada, podendo até ser representada para o fabricante TT pela seguinte equação

$$DHT_{iTT} = 0,297 V + 47,53$$

Onde V é a tensão aplicada em Volts, e  $DHT_{iTT}$  é a distorção harmônica total de corrente (em percentual) das unidades de 20W.

A seguir são discutidos os resultados dos ensaios das amostras (20 unidades cada) das LFC de 15W dos fabricantes AA, BB, CC e XX. A Tabela 1 mostra os valores médios e desvios padrão obtidos para as grandezas medidas, e os valores percentuais obtidos das componentes harmônicas ímpares, desde a terceira até a nona.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios das amostras das LFC de 15 W, em 127 volts, três fabricantes.

Grandezas Medidas	Fabricante AA	Fabricante BB	Fabricante CC	Fabricante XX
Potência (W)	14,9	16,0	15,5	15,3
Fator de potência	0,64	0,64	0,66	0,56
Corrente (mA)	182	196	185	212
DHT Corrente (%)	91,0	85,8	76,7	137,9
3ª harmônica de corrente	73,8	69,8	65,1	88,0
5ª harmônica de corrente	40	32	23	73
7ª harmônica de corrente	11	7	12	55
9ª harmônica de corrente	12	17	18	36

De modo similar ao que foi feito para as LFC de 20W, são mostradas graficamente, as demais características das LFC de 15W. A Figura 4(a) apresenta a potência média consumida, e a 4(b) o fator de potência médio medido. Vê-se novamente que a potência das LFC cresce de modo praticamente linear com a tensão, Figura 4(a), e que o fator de potência se mantém constante em torno de 0,65 para as unidades dos fabricantes AA, BB e CC, Figura 4(b), e cai desde 0,59 até 0,55 quanto a tensão cresce desde 109 V até 140 V, para as LFC de 15W do fabricante XX.

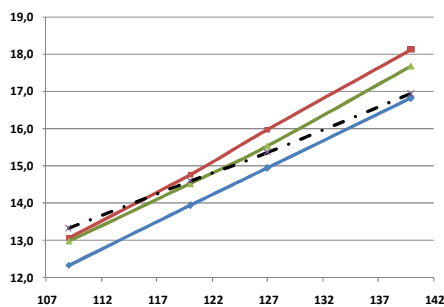
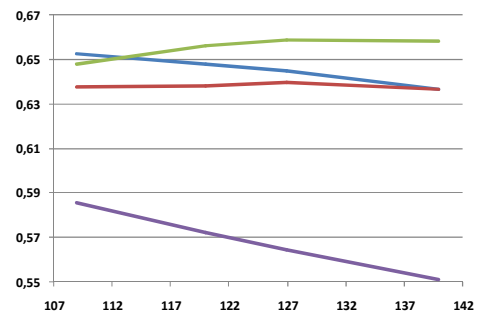


Figura 4 – LFC de 15W: (a) Potência média



(b) Fator de potência médio

As Figuras 5(a) e 5(b) são relativas às distorções harmônicas totais de corrente e os percentuais da terceira à nona harmônica, respectivamente. Os valores médios medidos da distorção harmônica total de corrente (DHTi) em função da tensão estão mostrados na Figura 5(a) para os quatro fabricantes que tiveram suas LFC ensaiadas; verifica-se que em qualquer nível de tensão as unidades dos fabricantes AA, BB e CC têm DHTi inferior a 100%, porém para as unidades do fabricante XX tal distorção variou desde 127% no limite inferior de tensão até 145% no limite superior. Também a DHTi cresce com o aumento da tensão aplicada de modo linear podendo, por exemplo, ser representada para o fabricante AA pela expressão

$$DHT_{iAA} = 0,433 V + 35,92$$

Onde  $V$  é a tensão aplicada em Volts, e  $DHT_{iAA}$  é a distorção harmônica total de corrente (em percentual) das LFC de 15W do fabricante AA.

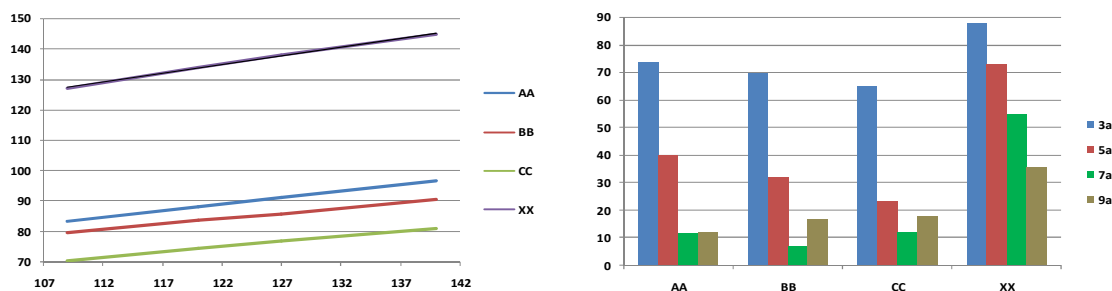


Figura 5 – LFC de 15W: (a) DHTi em função da tensão

(b) Componentes harmônicas da corrente, em 127V.

A Figura 5(b) apresenta as médias dos percentuais das componentes harmônicas das correntes desde a terceira até a nona ordem, sob a tensão de 127 V. Vê-se o quão significativos são os valores da terceira e quinta harmônica, e que apenas para as do fabricante XX a nona harmônica é menor que a sétima.

Concluindo a análise dos resultados das LFC, uma amostra com 20 LFC de 11 W do fabricante AA também foi realizada. A potência média consumida na tensão de 127 V foi de 11,5 W sendo o desvio padrão de 0,2; ainda nesta tensão a corrente média foi de 158mA, a DHTi média ficou em 129,2% e as componentes harmônicas ímpares desde a terceira até a nona registraram os seguintes percentuais médios 85,6%, 67%, 45% e 27%. O fator de potência médio foi de 0,572. A potência consumida média cresceu de modo praticamente linear com a tensão, variando desde 9,8W em 109V até 12,8W em 140V. A distorção harmônica total de corrente também aumenta proporcionalmente com a tensão, desde 121,7% até 136,6%, valores médios nas tensões de 109V e 140 V, respectivamente. Todas as componentes harmônicas ímpares medidas cresceram em função do aumento da tensão.

#### 4.2 Correntes harmônicas e outras características dos televisores

Com respeito aos televisores foram ensaiados dois modelos, de 32 e 40 polegadas tela em cristal líquido (LCD) de dois diferentes fabricantes, a amostra dos primeiros com dez unidades e dos TV de 42" com sete. A amostra do modelo de 32 polegadas apresentou valores tão distintos para a potência consumida e distorção harmônica que se poderia imaginar tratar-se de modelos ou fabricantes diferentes; para a potência o desvio padrão chegou a 30% do valor médio, e para a DHTi o desvio foi a quase 20% da média. Então, se preferiu subdividir as TV de 32 polegadas em "Lote um" com quatro unidades e "lote Dois" com seis. Na Tabela 2 estão os resultados dos testes no que tange aos parâmetros medidos, inclusive a distorção harmônica total de corrente (DHTi em por cento), e os valores obtidos das componentes harmônicas ímpares (terceira até nona) também em percentual.

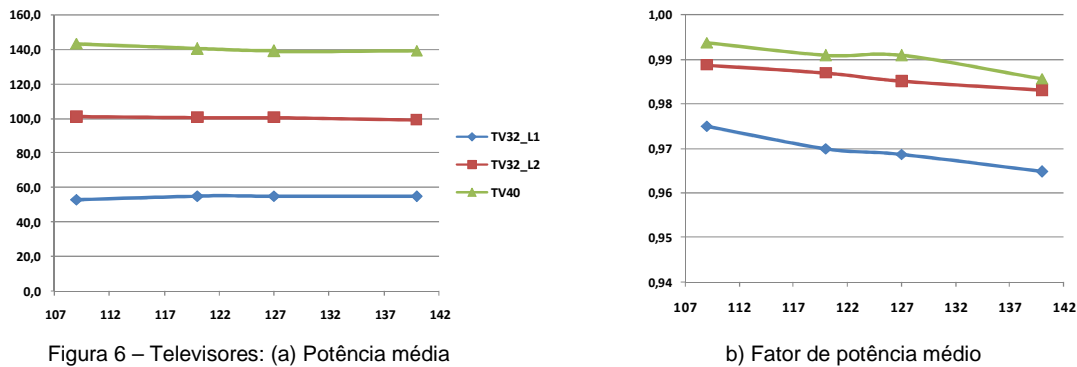
Tabela 3 – Resultados dos ensaios das amostras dos televisores de 32 e 40 polegadas, LCD.

Grandezas Medidas	32 polegadas Lote Um		32 polegadas Lote Dois		40 polegadas	
	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$
Potência (W)	55,2	13,0	100,5	3,4	139,2	24,8
Fator de potência	0,97	<0,01	0,99	<0,01	0,99	<0,01
Corrente (A)	0,44	0,10	0,80	0,03	1,10	0,19
DHT Corrente (%)	24,0	2,7	17,3	0,4	11,7	1,7
3ª harmônica de corrente	21,3	2,9	14,2	0,4	6,0	1,7
5ª harmônica de corrente	9,3	<1	8,0	<0,01	7,6	1,1
7ª harmônica de corrente	3	1	4	<0,01	3	<0,01
9ª harmônica de corrente	1	<1	<1	<1	2	<0,01

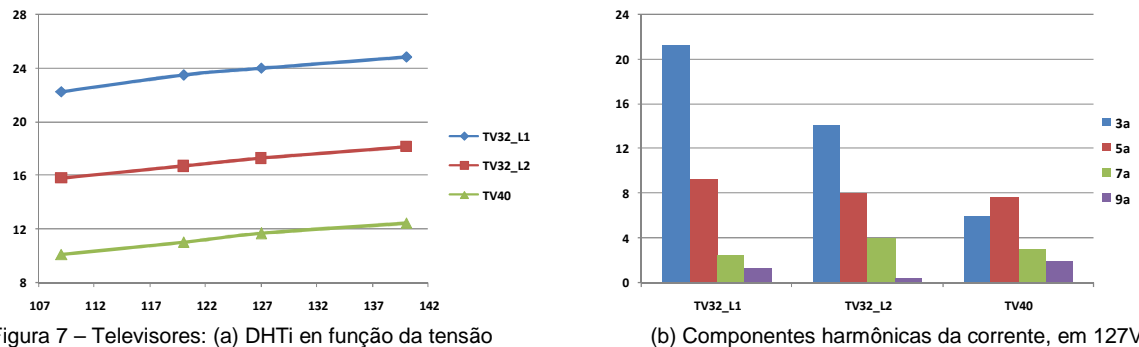
Conforme os valores da Tabela 3 o fator de potência é elevado e os valores médios de distorção harmônica são razoáveis quando comparados a outros equipamentos com características não lineares; interessante observar que os aparelhos de 32 polegadas do mesmo fabricante e modelo, há um lote mais econômico (55,2W de consumo, porém a corrente é mais distorcida (DHTi de 24,0% na média).

A Figura 4 apresenta a potência média consumida pelos televisores em função da tensão aplicada (a), e também o fator de potência médio, 4 (b). Da Figura 4(a) pode-se afirmar que a potência consumida pelos TV é independente da tensão, e observando-se a Figura 4(b) conclui-se que o fator de potência decaiu com a tensão, porém com uma taxa tão pequena que por aproximação se pode considerar constante com a tensão.





Os valores médios medidos da distorção harmônica total de corrente (DHTi) em função da tensão estão mostrados na Figura 7(a), crescendo de modo aproximadamente linear com a tensão aplicada para os dois modelos de televisores testados; vê-se que os dois lotes do modelo de 32" apresentam maiores DHTi em todas as tensões. A Figura 7(b) mostra as componentes harmônicas das correntes em 127V, para os televisores de 40 polegadas e os de 32" divididos nos dois lotes citados.



Com os dados das medições mostrados na Figura 7(b) conclui-se que nos aparelhos de 32" a terceira e quinta harmônicas são as mais significativas, e para o modelo de 40" a média da quinta harmônica medida foi maior que a terceira.

A menos do grande desvio padrão apresentado no modelo de 32" que levou a separá-los em dois lotes, de um modo geral os televisores apresentaram fator de potência elevado e distorção harmônica bem inferior a outras cargas não lineares. Quanto ao consumo no modo stand-by os valores medidos foram inferiores a 0,4W, portanto compatíveis com as exigências internacionais (máximo de 1 Watt).

## 5.0 - CONCLUSÃO

Para as LFC a potência consumida e a DHTi crescem em função da tensão aplicada de modo aproximadamente linear. Já o fator de potência manteve-se praticamente constante para as unidades de alguns fabricantes e para outras o mesmo decai um pouco com o aumento da tensão. As LFC de alguns fabricantes estão não conforme ao apresentarem valores médios de potência consumida quase 10% acima do valor declarado.

Para várias das LFC a DHTi está entre 105% e 138% na tensão nominal de 127 Volts, porém há fabricantes cujas unidades tanto de 20W como de 15W reduziram tais distorções e suas LFC têm valores entre 77% e 92%. As componentes harmônicas mais significativas são a terceira e a quinta; entretanto, as LFC de alguns dos fabricantes apresentam a nona harmônica de corrente com valor superior à sétima.

Na maioria das LFC testadas as componentes harmônicas também crescem com o aumento da tensão, embora nas unidades de alguns fabricantes tenha sido verificado aumento da terceira e quinta harmônicas e redução da sétima e nona quando os valores da tensão aplicada foram aumentados. Isto significa que ao modelar as LFC para estudos de harmônicas será importante a obtenção da tensão submetida, podendo então requerer um estudo inicial de fluxo de potência

Com respeito aos televisores foram ensaiadas 17 unidades, dez de 32 polegadas e sete de 40", todos com tela em cristal líquido (LCD); os modelos de 32" não apresentaram uniformidade na potência consumida nem na DHTi tendo sido tratados como dois lotes distintos. Pode-se concluir que a potência consumida independe da tensão aplicada e que o fator de potência praticamente não varia em função da tensão. Em geral os valores de DHTi estão dentro das exigências internacionais. A DHTi cresce muito pouco quando se aumenta a tensão aplicada. Dentre as componentes harmônicas da corrente, a terceira e quinta harmônicas são as que crescem com o aumento da tensão, enquanto a sétima e nona pouco se alteram. No conjunto os TV apresentaram valores de potência consumida no modo stand-by compatíveis com as exigências internacionais, ou seja, valores menores que 1 Watt. Na maioria dos TV testados este consumo foi inferior a 0,4 W.

No geral, conclui-se que a caracterização destes parâmetros, em especial a potência consumida, a distorção harmônica total de correntes e suas componentes são importantes para estas cargas, pois os mesmos variam com a tensão aplicada, principalmente para as LFC. Foram registradas algumas não conformidades no consumo, mas já há uma evolução na redução das correntes harmônicas e melhoria no fator de potência quando se compara com unidades mais antigas. Sugere-se a realização de estudos semelhantes para outras cargas não lineares.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Norma NBR 14538 Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral - Requisitos de segurança, 2000.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Norma NBR 14539 Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral - Requisitos de desempenho, 2000.
- (3) Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Portaria n.º 289, de 16.11.2006, ou Regulamento de Avaliação da Conformidade de Lâmpadas Fluorescentes Compactas com Reator Integrado, Revisão 01, de 09.09.2006.
- (4) IEC 61000-3-2 Eletromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits, Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).
- (5) GONZALEZ, Manuel L., PIRES, I.A., SILVA, S. R., ALMEIDA, P. C.A., Correntes harmônicas em aparelhos eletrodomésticos, Anais do VI SBQEE Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Belém, Brasil, 2005.
- (6) SINGH, Ranjana e SINGH, A., Energy loss due to harmonics em residential campus – a case study. UPEC, 31<sup>st</sup> Aug-3<sup>rd</sup> Sep. 2010, Cardiff, Wales, UK.
- (7) MAY, C., COLLINS, R. An investigation of the response of incandescent lamps and compact fluorescent lamps to voltage fluctuations. 14<sup>th</sup> ICHQP International Conference on harmonics and Quality of Power, Set, 2010.
- (8) Rigo-Mariani, R., Rayudu, R. K., Witherden, M. S., and Lai, E. M-K. (2010). Power Quality Indices of Compact Fluorescent Lamps for Residential Use – A New Zealand Study. Anais da IEEE TENCON, 2010. 21-24 November, Fukuoka, Japan.
- (9) GONZALEZ, M. L., SILVA, M. M., ALTHOFF, F., SILVA, S. R. Distorções harmônicas geradas por algumas cargas não lineares com tensões senoidais. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Goiania, 2012.
- (10) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8, Revisão 4, Resolução Normativa 469/2011, disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br), consulta em 23.03.2013.
- (11) BASTOS, P. R.F de M., SILVA, G. F. da, BARRETO JUNIOR, M. S., MARQUES, R. Verificação da conformidade das lâmpadas fluorescentes compactas. Anais do CLADE, Congresso Latinoamericano de Distribución, Rosário, Argentina, setembro de 2011.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Manoel Santos Barreto Junior, nascido na cidade de Ubaira – Bahia, em 23 de março de 1990; Graduando em engenharia elétrica da Universidade Federal da Bahia, com conclusão prevista para 2015. Bolsista do Projeto Permanecer. Tem interesse em distribuição de energia, especialmente qualidade de energia.

Bruno de Carvalho Torres, natural de Feira de Santana – Ba, em 25 de outubro de 1988; Graduando em engenharia elétrica da Universidade Federal da Bahia, e bolsista do Projeto Permanecer. Conclusão do curso deverá acontecer em 2014. Tem interesse qualidade de energia e eficiência energética.

Paulo R. F. de M. Bastos, natural de Salvador, 1953; engenheiro eletricitista pela Universidade Federal da Bahia (1977), mestre pela Universidade Federal de Itajubá (2002) e doutor pela Universidade Federal de Campina Grande, UFCG (2011). Engenheiro da COELBA, concessionária de distribuição no Estado da Bahia de 1977 a 2001 tendo atuado nas áreas de transmissão e distribuição. É professor Associado do DEE/UFBA. Áreas de interesse geração de energia, distribuição e eficiência energética.

## AGRADECIMENTOS:

À ELETROBRÁS pela aquisição inicial de analisadores de energia para a Escola Politécnica da UFBA. Ao Projeto Permanecer/UFBA pela concessão das bolsas, e à FAPESB que atualmente está contribuindo na reestruturação do laboratório da Escola.