



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 13 7698

Tópico: Sistemas de Monitoramento e Tratamento de dados

CORRENTES HARMÔNICAS EM APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS

MANUEL LOSADA y GONZALEZ
IGOR AMARIZ PIRES
SELÊNIO ROCHA SILVA
UFMG

PAULO C. A. ALMEIDA
EMPRESA LUZ E FORÇA SANTA MARIA S.A.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados de medições sistemáticas médias feitas em amostras de equipamentos eletro-eletrônicos que produzem distorções harmônicas de corrente. Foram escolhidos equipamentos de uso residencial e comercial com o intuito de analisar as distorções presentes em redes de distribuição de energia elétrica. Os resultados apresentados permitem avaliar a diversidade dos harmônicos produzidos em função do modelo e da tecnologia agregada.

PALAVRAS-CHAVES

Qualidade de energia, Cargas eficientes, Correntes harmônicas, Aparelhos eletrodomésticos, Distorção Harmônica Total

1.0 INTRODUÇÃO

Desde muito tempo, tem-se preocupado com a qualidade de energia elétrica e muito tem-se feito para identificar distorções de cargas não-lineares industriais e como minimizar os seus efeitos sobre os sistemas elétricos. Segundo o BEN 2004 [1], o consumo de energia elétrica da indústria representou 46,9 % de todo o consumo de energia elétrica nacional em 2003, caracterizando-o como o maior consumidor entre os setores analisados (residencial, comercial, industrial, transporte, agropecuário e público). Nesta mesma referência, nota-se que os

consumos de energia elétrica residencial e comercial foram de 22,3% e 14,2%, respectivamente, significando uma energia elétrica consumida total de 36,5% nos dois setores. Entretanto, a literatura técnica tem pouco chamado à atenção para as distorções das cargas não lineares nesses dois últimos setores. Até alguns anos atrás, essa pouca preocupação da literatura técnica fazia algum sentido, pois as maiores cargas, principalmente do setor residencial, eram de aquecimento e iluminação (através de lâmpadas incandescentes) que apresentam um comportamento linear. Com o racionamento de energia elétrica no ano de 2001, as lâmpadas incandescentes começaram a ser dimerizadas e substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas. Além disto, e, devido aos avanços tecnológicos, os reatores eletromagnéticos das lâmpadas fluorescentes convencionais começaram a ser substituídos por reatores eletrônicos mais eficientes; as máquinas de lavar roupa estão sendo substituídas por versões eletrônicas também mais eficientes; as geladeiras antigas estão sendo substituídas por geladeiras novas mais eficientes que possuem alguma eletrônica. Novos aparelhos eletrodomésticos eletrônicos, como microcomputadores, impressoras, videocassetes, DVDs, vídeo games etc, estão se tornando cargas mais frequentes em ambientes residenciais e comerciais. Isto sem citar as cargas eletrônicas antigas, como tv, rádio, fornos de micro ondas etc, que continuam presentes nos lares brasileiros. Todas essas cargas são não lineares e geram correntes harmônicas. Conseqüentemente, e, com o avançar dos anos,

(*) UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais/Departamento de Engenharia Elétrica
Av. Antônio Carlos 6627 – PCA / 31.270-010 - Campus Pampulha / Belo Horizonte – Minas Gerais
Fone: (0xx31) 3499-4831 Fax: (0xx31)3499-4819

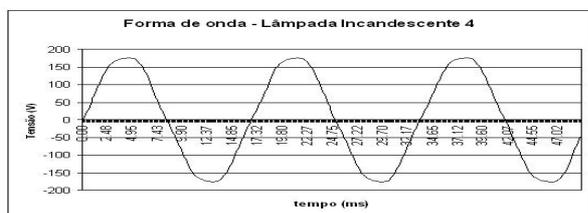
as cargas não lineares nos dois setores devem se tornar mais significativas diante das cargas lineares. Disto pode-se esperar que a geração de correntes harmônicas possa se tornar expressiva quando comparada à geração das mesmas correntes no setor industrial, contribuindo sobremaneira para a distorção não-linear total do sistema elétrico brasileiro e conseqüentemente da sua qualidade de energia.

Este artigo tem como objetivo apresentar os valores médios de medições de correntes harmônicas de várias amostras de aparelhos eletrodomésticos mais usados nos setores residencial e comercial. As medições foram feitas em laboratório, utilizando-se alimentação convencional da concessionária de energia elétrica em cada amostra de eletrodoméstico e procedidas, através de um analisador de qualidade de energia (ION 7650 da Power Measurement) com classes de exatidão de 0,1% de tensão e 0,1% de corrente. Os valores apresentados de distorções harmônicas foram aqueles disponibilizados pelo próprio medidor.

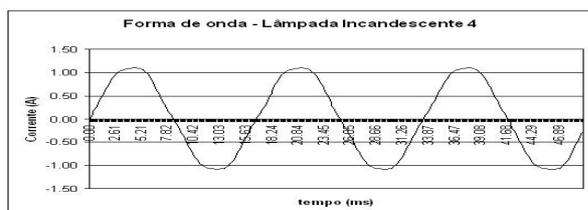
2.0 LÂMPADAS

2.1 Lâmpadas incandescentes

As lâmpadas incandescentes são cargas lineares e puramente resistivas. Isto pode ser confirmado através de medições feitas em 5 amostras de lâmpadas, cujos resultados são mostrados nas figuras 1 e na tabela 1. Nestes resultados pode-se notar que as ondas de tensão e corrente são iguais e que as distorções harmônicas totais (DHT's) contidas na onda de corrente são praticamente aquelas presentes na onda de tensão.



a - Onda de tensão



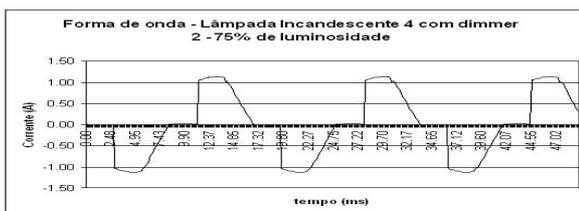
b - Onda de corrente

Figura 1 - Ondas de tensão e corrente em uma lâmpada incandescente

Entretanto, quando dimerizadas, o conjunto lâmpada incandescente+dimmer passa a ter um comportamento de carga não linear [2], como mostrado nas Figuras 2 e tabela 2. As Figuras 2a e 2b mostram a forma de onda de corrente de uma lâmpada de 100 W sendo dimerizada com 75% e 25% do nível de iluminação total. Na tabela 2 são mostrados as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente, para os mesmos níveis de iluminação e para 3 dimmers analisados.

Tabela 1 – DHT's de lâmpadas incandescentes

No.	Fabricante/tipo	Potência (W)	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo clara	40	4.01	3.67
2	Fabricante 2 - tipo clara	40	3.91	3.95
3	Fabricante 3 - tipo bulbo transluzido	60	3.76	3.64
4	Fabricante 3 - tipo cristal	100	3.22	3.15
5	Fabricante 1 - tipo bulbo translúcido	100	3.76	3.66



a - Dimerização em 75% do nível de iluminação



b - Dimerização em 25% do nível de iluminação

Figura 2- Ondas de corrente em uma lâmpada incandescente de 100 W dimerizada

Tabela 2 – DHT's de lâmpadas incandescentes

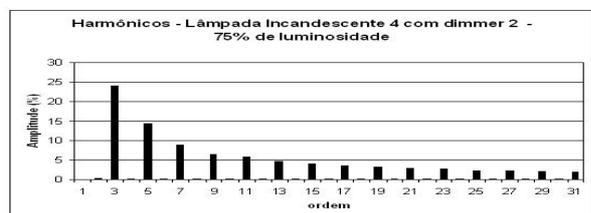
No.	Fabricante/tipo	Iluminament			
		em 75%		em 25%	
		DHT (%)		DHT (%)	
		V	I	V	I
1	Fabricante 1 – tipo rotativo	3.40	26.62	3.29	78.03
2	Fabricante 2 – tipo deslizante	3.87	37.86	4.10	76.72
3	Fabricante 2 – tipo rotativo	4.24	33.74	3.94	74.86

As figuras 3a e 3b apresentam os valores médios dos harmônicos de corrente para as mesmas situações. Na tabela 2 pode-se notar que os

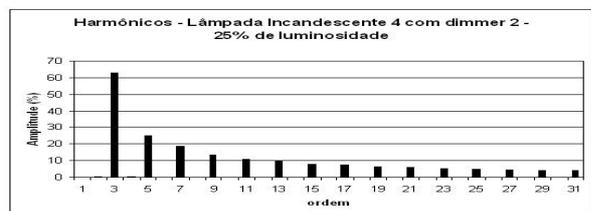
DHT's crescem com a diminuição do nível de iluminamento.

2.2 Lâmpadas fluorescentes compactas

As lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) são cargas não lineares [3-4], como foi confirmado através de medições em 7 amostras de lâmpadas, cujos resultados são apresentados nas figuras 4 e 5 e na tabela 3. A Figura 4 apresenta a forma de onda de corrente típica nestas lâmpadas. A tabela 3 mostra as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente obtidas. A Figura 5 apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente para as amostras. Pode-se notar que, a menos de uma lâmpadas, todas têm DHT's de corrente superiores a 100%.



a – Dimerização em 75% do nível de iluminamento



b – Dimerização em 25% do nível de iluminamento

Figura 3- Valores médios de harmônicos de uma lâmpada incandescente dimerizada

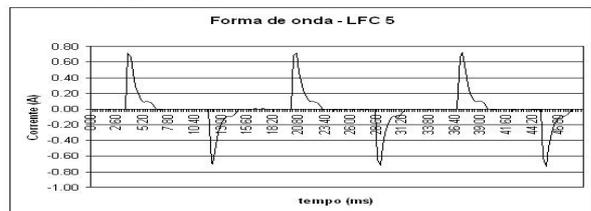


Figura 4- Onda de corrente típica de lâmpadas fluorescentes compactas

Tabela 3 – DHT's de lâmpadas fluorescentes compactas

No.	Fabricante/tipo	Potência (W)	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	5	3.91	103.05
2	Fabricante 2 – tipo 1	11	4.11	89.58
3	Fabricante 3 – tipo 1	15	4.36	105.09
4	Fabricante 4 – tipo 1	15	4.21	111.21
5	Fabricante 5 – tipo 1	15	4.30	133.30
6	Fabricante 6 – tipo 1	18	4.40	126.94
7	Fabricante 5 – tipo 2	25	4.21	114.96

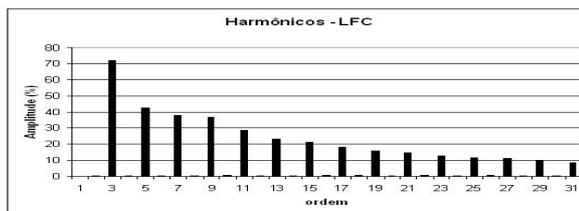


Figura 5- Valores médios de harmônicos das amostras das lâmpadas fluorescentes compactas

2.3 Lâmpadas fluorescentes convencionais

As lâmpadas fluorescentes convencionais podem trabalhar tanto com reatores eletromagnéticos como reatores eletrônicos. Em medições de 5 amostras de lâmpadas com reatores eletromagnéticos encontrou-se a curva típica da onda de corrente mostrada na figura 6. A tabela 4 apresenta as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente, para as amostras medidas e a Figura 7 apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente. Pode-se notar que as DHT's são relativamente baixas.

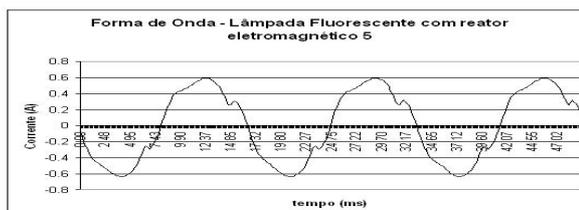


Figura 6- Onda de corrente típica de lâmpadas fluorescentes com reator eletromagnético

Tabela 4 – DHT's de lâmpadas fluorescentes com reator eletromagnético

No.	Fabricante/tipo	Lâmpadas	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	1 x 20W	4.09	5.45
2	Fabricante 2 – tipo 1	1 x 40W	4.30	11.25
3	Fabricante 1 – tipo 2	1 x 40W	4.00	12.30
4	Fabricante 1 – tipo 3	1 x 40W	4.19	12.20
5	Fabricante 2 – tipo 2	2 x 20W	4.01	11.70

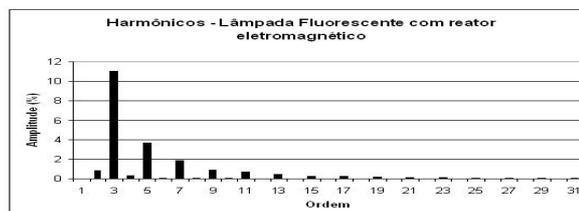
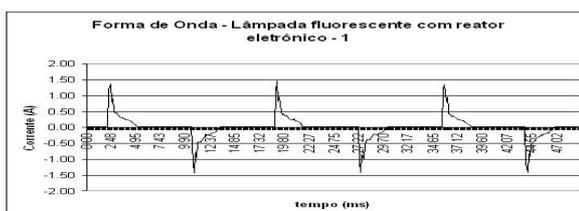


Figura 7- Valores médios de harmônicos das lâmpadas fluorescentes com reator eletromagnético

Em medições de 4 amostras de lâmpadas com reatores eletrônicos encontrou-se a curva típica da onda de corrente mostrada na figura 8, para as 3 primeiras amostras. Este comportamento é similar àquele apresentado pelas lâmpadas fluorescentes compactas, como já esperado, pois comungam a mesma tecnologia. A tabela 5 apresenta as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente, para as amostras medidas. A Figura 9



apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente para as 3 primeiras amostras.

Figura 8- Onda de corrente típica de lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico

Tabela 5 – DHT's de lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico

No.	Fabricante/tipo	Lâmpadas	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	1 x 20W	4.16	131.83
2	Fabricante 1 – tipo 2	1 x 40W	4.31	125.86
3	Fabricante 2 – tipo 1	1 x 40W	4.23	103.88
4	Fabricante 2 – tipo 2	2 x 40W	4.37	15.78

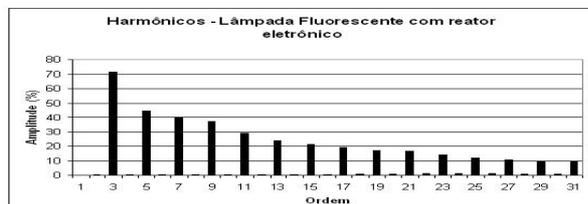


Figura 9- Valores médios de harmônicos das 3 primeiras amostras de lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico

A 4ª amostra apresentou baixa distorção harmônica pois agrega tecnologia mais moderna. Sua curva de onda de corrente é mostrada na figura 10 e os harmônicos de correntes são apresentados na figura 11.

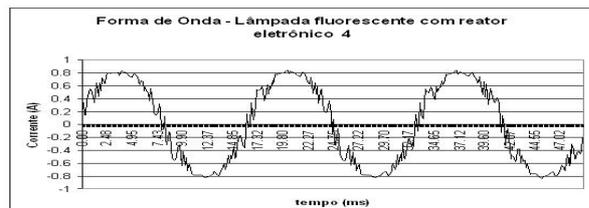


Figura 10 - Onda de corrente de lâmpada fluorescente com reator eletrônico da 4ª amostra

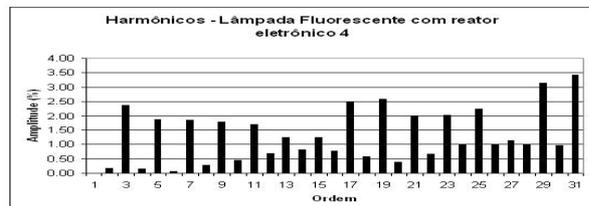


Figura 11 - Harmônicos da onda de corrente da lâmpada fluorescente da 4ª amostra

3.0 MICROCOMPUTADORES

Os microcomputadores também são cargas não lineares [5]. Isto foi confirmado em medições de 7 amostras, envolvendo microcomputadores Pentium 1, 3 e 4, e Athlon de 1.8 GHZ. As figuras 12 e 13 mostram curvas típicas da onda de corrente, onde se tem uma DHT de 101,1% no 1º microcomputador e 98,04% no 2º microcomputador. As duas formas de onda são bem próximas, assim como os seus harmônicos. A tabela 6 apresenta as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente. A Figura 14 apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente para as amostras.

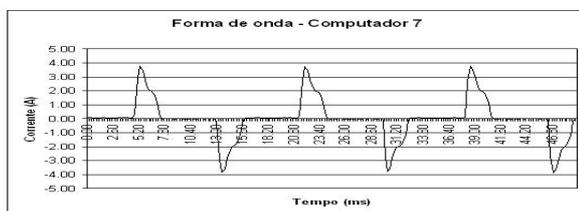


Figura 12-Onda de corrente do microcomputador 7

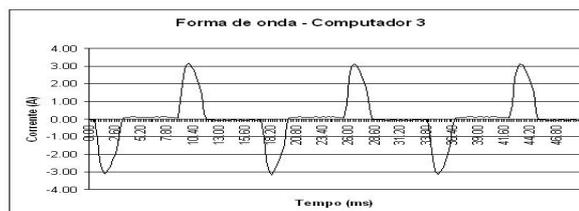


Figura 13-Onda de corrente do microcomputador 3

Tabela 6 – DHT's de microcomputadores

No.	Fabricante/tipo	DHT (%)	
		V	I
1	Athlon 1.8 GHz	3.81	89.27
2	Pentium 166 MHz – monitor 14"	4.07	98.47
3	Pentium 300 MHz – monitor 14"	3.10	98.10
4	Pentium 3 - 1 GHZ - monitor 15"	3.66	114.32
5	Pentium 3 - 1 GHZ - monitor 17"	3.75	94.06
6	Pentium 4 - 2.7 GHz – monitor 17"	3.78	119.96
7	Pentium 4 - 3 GHz - monitor 17"	4.80	101.10

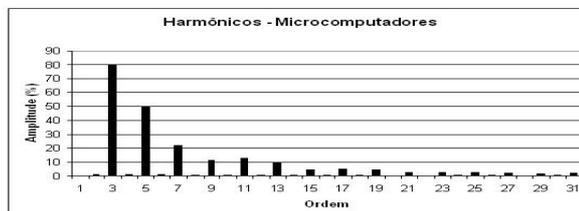


Figura 14- Valores médios de harmônicos das amostras dos microcomputadores

4.0 APARELHOS DE AR CONDICIONADO

Aqui foram analisados aparelhos de ar condicionado tipo janela. Essas cargas possuem

dois estados bem distintos de funcionamento: resfriar e ventilar.

As figuras 15 e 16 apresentam as formas de onda típicas de corrente nessas situações para um aparelho de ar condicionado. As Figuras 17 e 18 apresentam os valores médios dos harmônicos de corrente para as amostras. A tabela 7 apresenta as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente. Analisando a tabela 7, observa-se que as DHT's de corrente no modo de operação "resfriar" são bem superior aos DHT's no modo de operação "ventilar".



Figura 15 - Onda de corrente do aparelho de ar condicionado no modo de operação "resfriar"

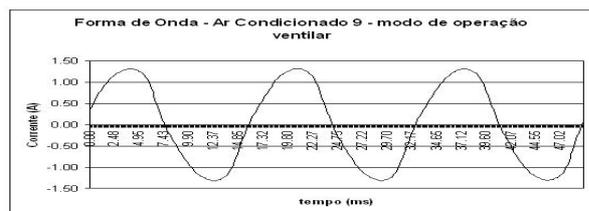


Figura 16 - Onda de corrente do aparelho de ar condicionado no modo de operação "ventilar"



Figura 17 - Valores médios de harmônicos das amostras dos aparelhos de ar condicionado no modo de operação "resfriar"

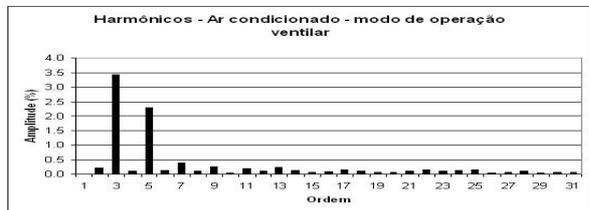


Figura 18 - Valores médios de harmônicos das amostras dos aparelhos de ar condicionado na situação de ventilar

Tabela 7 – DHT's de aparelhos de ar condicionado – tipo janela

No.	Fabricante/tipo	Btu	Ar Condicionado		Ventilação	
			DHT (%)		DHT (%)	
			V	I	V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	7500	3.20	12.70	3.40	5.40
2	Fabricante 2 – tipo 1	7500	1.21	11.26	1.37	1.89
3	Fabricante 2 – tipo 2	7500	1.60	13.08	1.59	5.21
4	Fabricante 2 – tipo 3	10500	3.90	12.20	-	-
5	Fabricante 2 – tipo 4	10500	3.10	15.40	-	-
6	Fabricante 2 – tipo 5	15000	3.80	16.30	3.50	4.90
7	Fabricante 2 – tipo 6	18000	1.54	10.65	1.63	2.07
8	Fabricante 1 – tipo 2	18000	0.85	15.38	0.76	6.05
9	Fabricante 1 – tipo 3	21000	1.15	17.31	1.10	7.87

5.0 GELADEIRAS

Foram realizadas medições em algumas geladeiras. A figura 18 apresenta a forma de onda típica de corrente das geladeiras analisadas, enquanto a tabela 7 apresenta as DHT's tanto de tensão quanto de corrente das amostras analisadas. A Figura 19 apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente para as amostras.

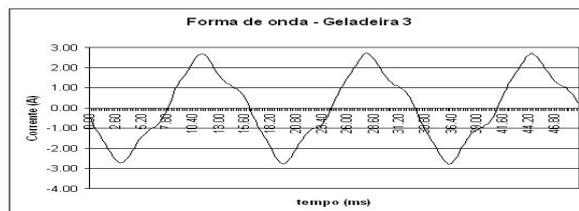


Figura 18 - Onda de corrente típica de geladeira

Tabela 8 – DHT's de geladeiras

No.	Fabricante/tipo	Portas	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	1	1.13	4.74
2	Fabricante 1 – tipo 2	1	3.84	8.01
3	Fabricante 1 – tipo 3	1	4.10	15.80
4	Fabricante 1 – tipo 4	1	3.10	8.50
5	Fabricante 2 – tipo 1	2	2.60	8.30

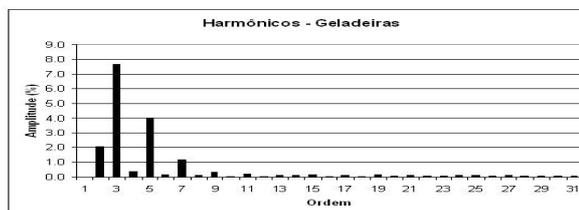


Figura 19 - Valores médios de harmônicos das amostras de geladeiras

6.0 TELEVISORES

De acordo com medições em 6 amostras de televisores, estes também são cargas não lineares. A figura 20 apresenta uma forma de onda típica de corrente dos televisores analisados. A tabela 9 mostra as DHT's, tanto de tensão quanto de corrente, enquanto a Figura 21 apresenta os valores médios dos harmônicos de corrente para as amostras. Analisando a tabela 9, nota-se que um televisor apresenta DHT inferior a 100%.

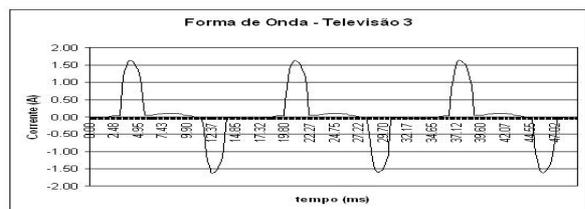


Figura 20 - Onda de corrente típica de televisores

Tabela 9 – DHT's de televisores

No.	Fabricante/tipo	Polegadas	DHT (%)	
			V	I
1	Fabricante 1 – tipo 1	14	1.07	111.63
2	Fabricante 2 – tipo 1	14	2.98	103.29
3	Fabricante 3 – tipo 1	14	3.03	95.96
4	Fabricante 4 – tipo 1	20	2.90	103.00
5	Fabricante 5 – tipo 1	20	1.69	136.17

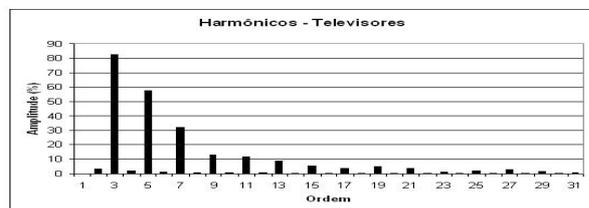


Figura 21 - Valores médios de harmônicos das amostras de televisores

7.0 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos testes exaustivos e sistemáticos em laboratório, com o objetivo de quantificar as distorções harmônicas existentes em alguns equipamentos eletrodomésticos existentes no mercado nacional.

Foram apresentados os valores médios de medições de correntes harmônicas de várias amostras de aparelhos eletrodomésticos mais usados nos setores residencial e comercial (lâmpadas incandescentes dimerizadas, lâmpadas fluorescentes compactas e convencionais com reatores eletromagnéticos e eletrônicos, microcomputadores, aparelhos de ar condicionado tipo janela, geladeiras e televisores).

Pode-se observar que nas lâmpadas incandescentes dimerizadas, as DHT's crescem com a diminuição do nível de iluminação desejado.

Observa-se também que as lâmpadas compactas, microcomputadores e televisores possuem altas DHT's, enquanto lâmpadas fluorescentes convencionais com reatores eletromagnéticos, aparelhos de ar condicionados tipo janela e geladeiras têm baixas DHT's.

Assim, buscou-se contribuir com informações necessárias às futuras avaliações de penetração de distorções harmônicas em redes de distribuição e em circuitos elétricos de instalações residenciais e comerciais.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] BEN 2004, Boletim Energético Nacional 2004, www.mme.gov.br,13/04/2005.
- [2] Datta, S., Power Pollution Caused By Lighting Control Systems, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1842-1852, 1991.
- [3] Sadek, M.H., Abbas, A.A., El-Sharkawy, M.A., Mashaly, H. M., Impact of Using Compact Fluorescent Lamps on Power Quality, IEEE ICEEC'04, pp. 941 – 946, 2004.
- [4] Astorga, O. A. M, Um Estudo da Substituição das Lâmpadas Incandescentes por Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Instalações Elétricas Residenciais e o Compromisso entre Conservação e a Qualidade de Energia, XVI SNPTEE, Campinas, São Paulo, 2001.
- [5] Moore, P.J., Português, I. E, The Influence of Personal Computer Processing Modes on Line Current Harmonics, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 18, No. 4, pp. 1363-1368, 2003.