

INTERFERÊNCIA NO SISTEMA ELÉTRICO CAUSADO PELA UTILIZAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS EM CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

José K. Fujiwara** Antonio Carlos V. Delgado** Vanice Ferreira dos S. Dornellas***
Jamil Haddad* Roberto A. Yamachita* Paulo Henrique R. P. Gama*

* Escola Federal de Engenharia Itajubá - EFEI - Instituto de Engenharia Elétrica

Av. BPS, 1303 - 37500-000 - Itajubá/MG Tel.(035) 6291241 e-mail: jamil@iee.efei.rmg.br

** Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL *** Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Resumo -Este artigo apresenta os resultados de um programa da CPFL que incentiva a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia elétrica no horário de ponta de carga do sistema. Como estas lâmpadas representam cargas não lineares, os harmônicos produzidos por elas também são analisados.

Palavras-chave lâmpada fluorescente eletrônica, distorção harmônica, programa de substituição

Abstract This article presents the results of an incentive program by CPFL. This program sets the substitution of incandescent lamps by electronic fluorescent for residential segment, aiming a reduction in power demand and energy consumption during electrical systems peak time. As those lamps represents non-linear loads, the harmonics generated by them are also studied.

Keywords electronic fluorescent lamp, harmonic distortion, substitution program

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado sistemas de iluminação eficientes, como por exemplo, a família de lâmpadas fluorescentes eletrônicas.

Devido ao grande “marketing” feito sobre a necessidade de substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas, torna-se necessário uma análise não só do ponto de vista de redução de custos mas também sobre os aspectos da qualidade de energia, pois estas lâmpadas representam cargas não-lineares para o sistema elétrico.

2. HARMÔNICOS

Os medidores de kWh são afetados pelas componentes harmônicas, particularmente se existirem condições de ressonância resultando em altas tensões e correntes no circuito [1]. Equipamentos que utilizam discos de indução, normalmente medem só a corrente fundamental, porém, o desbalanço causado pela distorção harmônica pode gerar erros na medição dos mesmos.

Estudos [2], [3] tem mostrado que ambos os erros, para mais ou para menos, são possíveis quando a distorção harmônica está presente, dependendo do tipo de medidor, e das harmônicas

4. Fator de Dispersão (Kd) = Relação entre a soma vetorial e a soma algébrica das correntes harmônicas de determinada ordem, geradas pelas

envolvidas. Em geral, o fator de distorção deve ser alto ($> 20\%$) para resultar em erros significativos.

Iluminação de descarga, tais como as lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio e vapor de sódio de alta pressão, apresentam características totalmente não-lineares, e por isso distorcem as formas de onda de tensão e corrente [4]. Como mostrado posteriormente os níveis harmônicos de corrente são altos implicando em efeitos como:

- Quedas de tensão significativas para o sistema elétrico;
- Baixo fator de potência para as instalações;
- Aumento das perdas por histerese e correntes parasitas nos transformadores;

Somatório de Harmônicos

Em um sistema composto por várias fontes harmônicas, a intensidade da componente harmônica resultante depende de vários fatores, tais como [5]:

1. O ângulo de fase de cada harmônico;
2. Fator de Saturação (Ks) = relação entre o número de consumidores que possuem a carga geradora de harmônicos e o número total de consumidores;
3. Fator de Simultaneidade (Kv) = relação entre o número de consumidores cujas cargas estão em funcionamento em determinado horário e o número de consumidores que possuem tal carga.

cargas existentes - na determinação do fator de dispersão, pode-se considerar uma distribuição estatística para os ângulos de fase das correntes

harmônicas entre os limites definidos de acordo com o tipo da carga geradora de harmônico.

Deste modo, consegue-se determinar as correntes harmônicas em uma determinada barra do sistema, resultante da operação de um número elevado de cargas geradoras de harmônicos, através da seguinte fórmula:

$$I_{h_R} = K_s \cdot K_d \cdot K_v \cdot N \cdot I_h$$

onde:

h = ordem harmônica;

I_{h_R} = Corrente harmônica resultante;

I_h = Corrente harmônica gerada por uma única carga;

K_s , K_d e K_v definidos conforme anteriormente;

N = Número de consumidores residenciais alimentados pela barra em análise;

3.CASO PRÁTICO CPFL

Como exemplo de um caso prático tem-se o programa de incentivo implantado pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL em cidades do interior do Estado de São Paulo, para substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia no horário de ponta do sistema elétrico.

Esta experiência de saturação de residências com lâmpadas busca avaliar as conseqüências da instalação concentrada de lâmpadas fluorescentes, com base tipo rosca, que utilizam reatores eletrônicos incorporados de alto e baixo fator de potência (FP).

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram instalados equipamentos de medição nas residências e no transformador de distribuição responsável pelo suprimento destas cargas. Entre as grandezas medidas e analisadas tem-se o consumo de potência reativa, demanda de energia e o fator de potência.

Após dois meses, todas as lâmpadas incandescentes (LI) de oito consumidores residenciais (60 lâmpadas) foram substituídas por lâmpadas fluorescentes eletrônicas com reator de baixo FP (LbFP). Passados mais dois meses, estas, foram substituídas por outras lâmpadas com reator de alto FP (LaFP), que são descritas a seguir:

L1 - Compacta de 15 w com reator de baixo FP.

L2 - Compacta de 23 w com reator de baixo FP.

L3 - Circular de 22 w com reator de baixo FP.

L4 - Circular de 32 w com reator de baixo FP.

L5 - Compacta de 20 w com reator de alto FP.

L6 - Circular de 22 w com reator de alto FP.

L7 - Circular de 32 w com reator de alto FP.

Durante as medições de campo foram aplicados questionários de posse e hábitos dos consumidores para avaliar o grau de aceitação e satisfação destas lâmpadas. A seguir, tem-se uma análise considerando o consumidor e a concessionária.

- Do ponto de vista do consumidor: A redução de energia se torna evidente pela substituição da lâmpada incandescente pela fluorescente de baixo e alto FP.

Esta redução pode ser apresentada pela curva de Demanda média (gráficos 1 e 2) de uma residência em análise para dias úteis e não úteis. A influência da iluminação na carga total da residência em análise se torna mais acentuada a partir das 22 horas.

O período de medição com lâmpadas incandescentes foi de 26/01 a 22/02/95. Com fluorescente de baixo FP foi de 09/03 a 15/03/95 e para o de Alto FP 12/05 a 11/06/95.

- Do ponto de vista da Concessionária: Por um lado o transformador que alimenta as residências em estudo fica menos sobrecarregado. Mas por outro lado, ocorre um aumento da potência reativa do circuito. Isto acontece pelo fato das lâmpadas apresentarem um fator de potência abaixo do unitário comparado com as incandescentes.

É importante observar que as medições foram feitas em épocas distintas, ou melhor, a medição com a incandescente foi realizado num período em que vigorava o horário de verão. Deste modo os valores a serem comparados estão defasados em relação à curva das outras lâmpadas, resultando desta forma, num deslocamento da curva de demanda das lâmpadas LbFP e LaFP (gráficos 3 e 4) para a esquerda. A partir das 22 horas verifica-se que a demanda de energia com as lâmpadas incandescentes torna-se maior em relação às outras lâmpadas.

Por outro lado, a potência reativa é aumentada quando da substituição da lâmpada LI pela LbFP (gráficos 5 e 6). A mesma observação feita com relação ao período do horário de verão e a sazonalidade da época de medição deve ser levada em consideração.

Os gráficos 7 e 8 mostram os fatores de potência das medições com as respectivas lâmpadas.

Os períodos de medição no transformador foram:

LI - 15/02/95 a 07/03/95

LbFP - 07/04/95 a 01/05/95

LaFP - 03/05/95 a 18/06/95

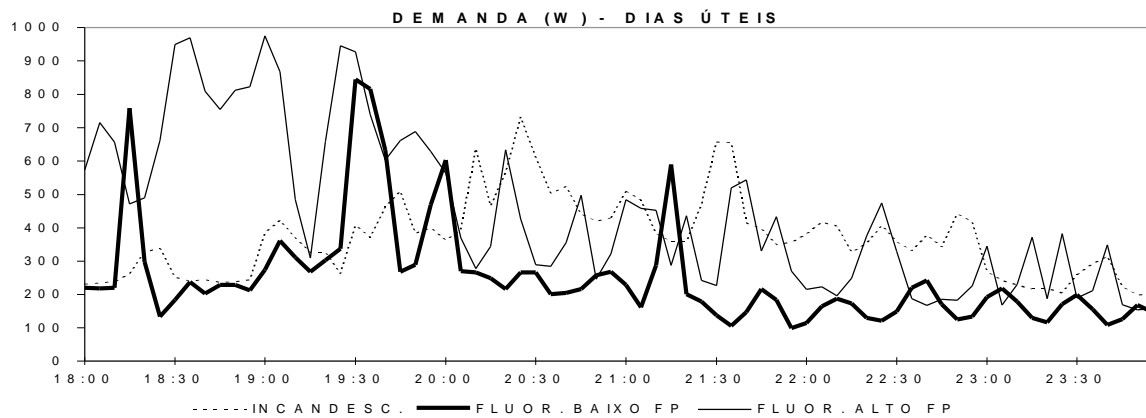


Gráfico 1 - Demanda de energia de um consumidor, dias úteis

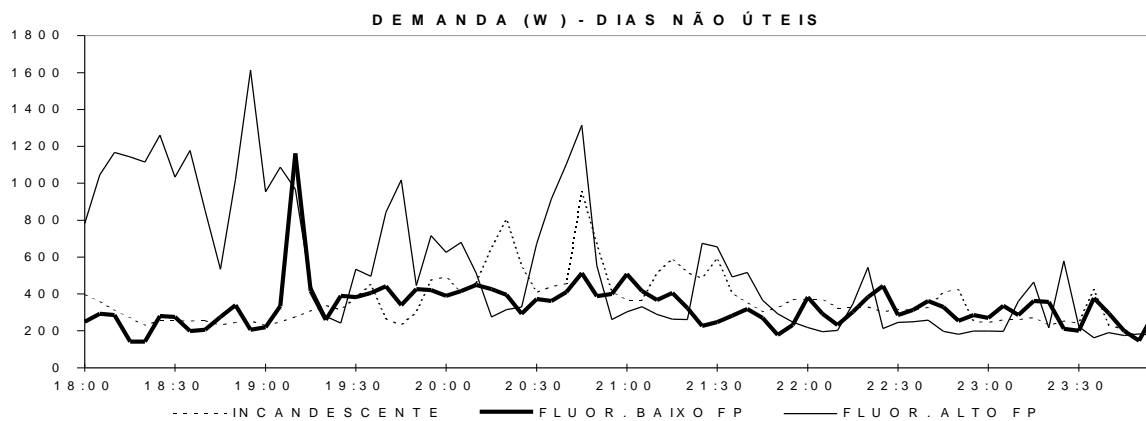


Gráfico 2 - Demanda de energia de um consumidor, dias não úteis

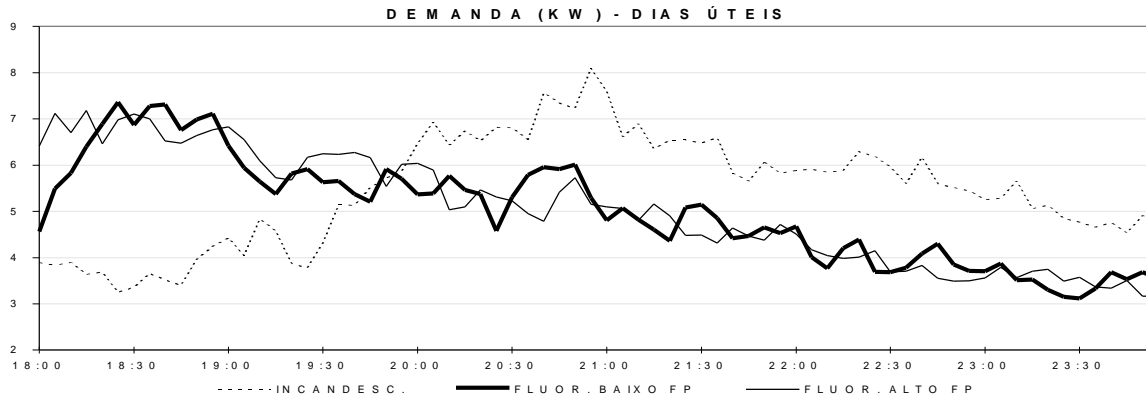


Gráfico 3 - Demanda de energia no transformador, dias úteis

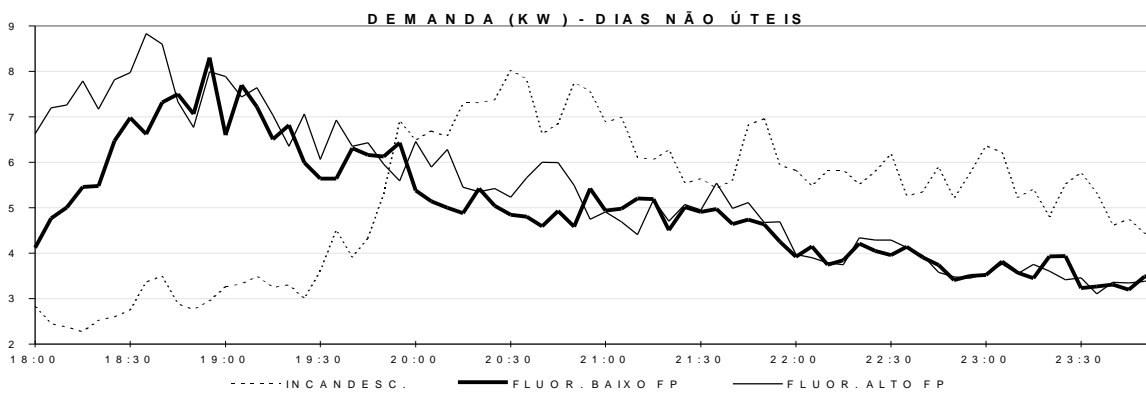


Gráfico 4 - Demanda de energia no transformador, dias não úteis

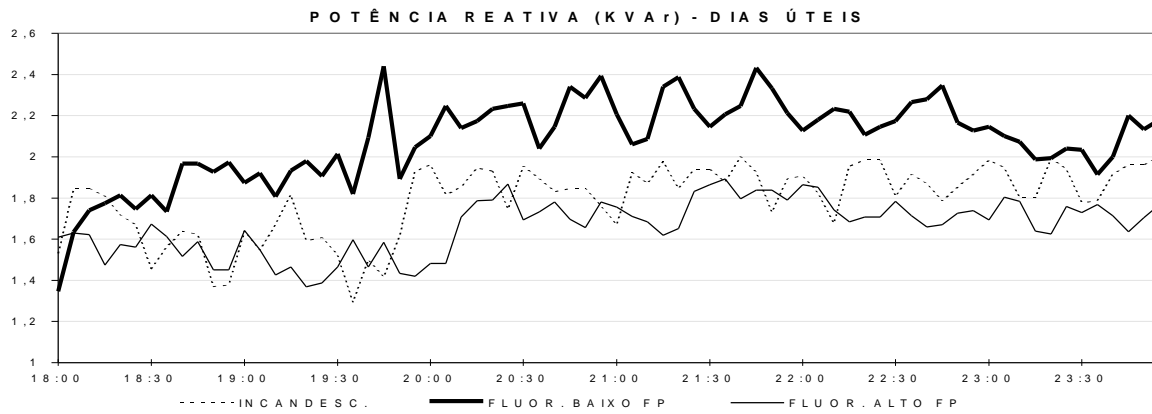


Gráfico 5 - Potência Reativa no transformador, dias úteis

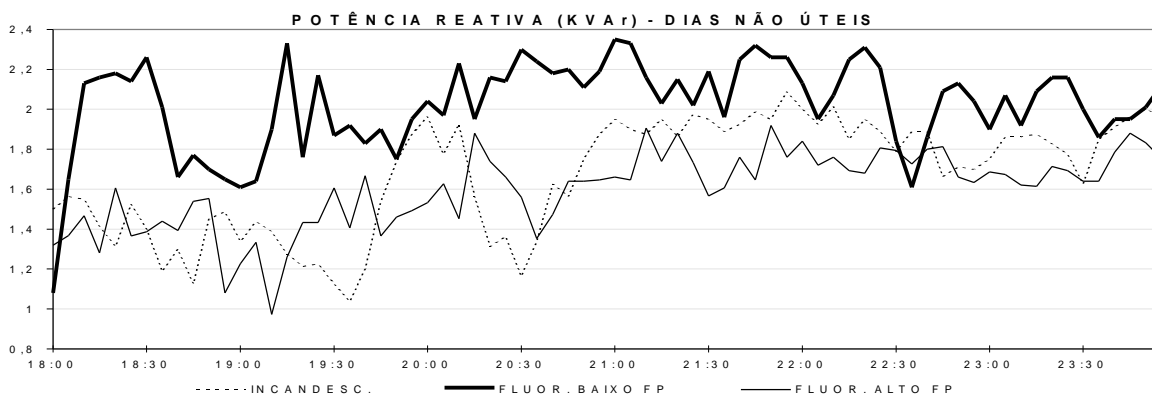


Gráfico 6 - Potência Reativa no transformador, dias não úteis

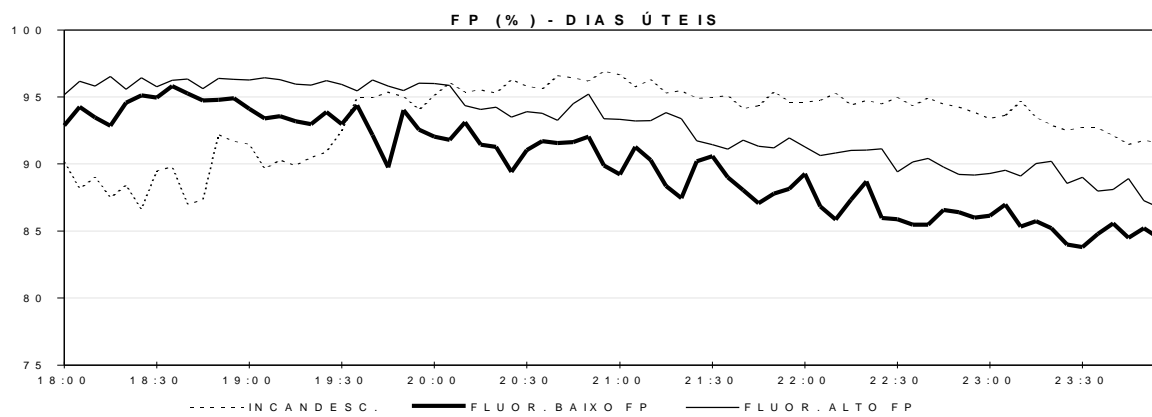


Gráfico 7 - Fator de Potência no transformador, dias úteis

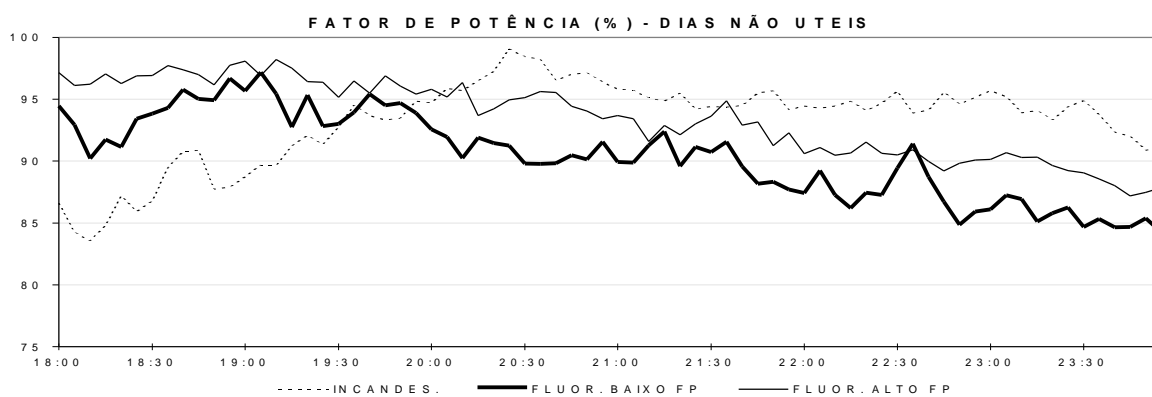


Gráfico 8 - Fator de Potência no transformador, dias não úteis

4. LÂMPADAS ENSAIADAS.

As lâmpadas fluorescentes compactas com reator eletrônico de alto e baixo fator de potência (FP), foram ensaiadas em laboratório sob condições de tensão nominal (V_n), 90 % de V_n ($0,9 V_n$) e 110 % de V_n ($1,1 V_n$). As tabelas 1 e 2 apresentam os valores medidos de distorção total harmônica de corrente (THDi) e tensão (THDu) respectivamente para as lâmpadas citadas. Os cálculos de THD se referem à norma IEEE [1].

Tabela 1 - Distorção harmônica total de corrente

Lâmpada	THDi (%)		
	0.9 V_n	V_n	1.1 V_n
L1	127.2	134.6	131.8
L2	114.4	117.9	125.1
L3	141.1	143.1	147.4
L4	160.0	159.7	168.1
L5	69.9	75.3	81.7
L6	35.8	36.2	37.5
L7	42.4	39.3	37.9

Tabela 2 - Distorção harmônica total de tensão

Lâmpada	THDu (%)		
	0.9 V_n	V_n	1.1 V_n
L1	1.51	1.63	1.62
L2	1.44	1.56	1.51
L3	1.84	1.81	1.81
L4	1.86	1.81	1.71
L5	3.25	3.01	2.73
L6	2.16	1.90	1.94
L7	1.60	1.58	1.54

Na tabela 1, verifica-se que as lâmpadas fluorescentes compactas com reator eletrônico de baixo FP (L3, L4) possuem elevados níveis de THDi, se comparadas às lâmpadas com reator eletrônico de alto FP (L6 e L7). Com a elevação da tensão nominal em 10%, há um pequeno aumento nos níveis de THDi, e nos valores de THDu verifica-se um ligeiro decréscimo.

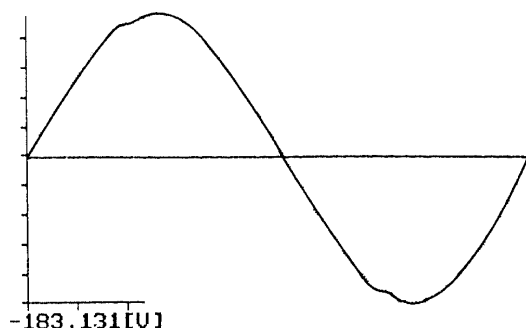


Figura 1 - Forma de onda da tensão de L4.

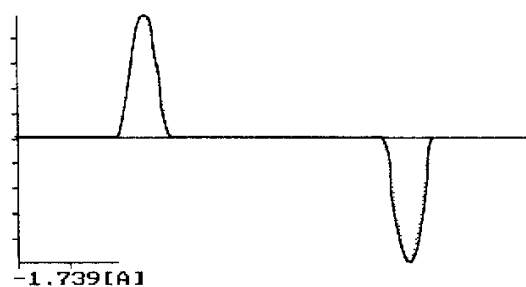


Figura 2 - Forma de onda da corrente de L4.

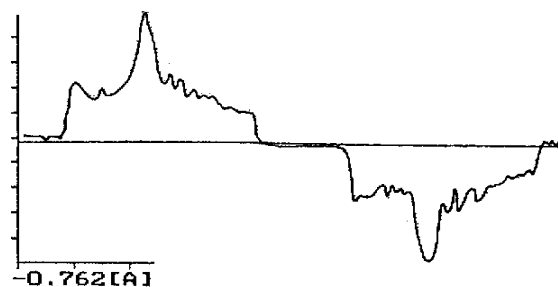


Figura 3 - Forma de onda da corrente de L7.

5. CONCLUSÃO

Levando-se em consideração o horário de verão e a sazonalidade das medições (verão-inverno), verifica-se a diminuição da demanda de energia com a substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas compactas. Ao passo que a potência reativa apresentou um acréscimo, para as fluorescentes eletrônicas de baixo FP, reduzindo o fator de potência do sistema.

Por outro lado deve ser observado a interferência das lâmpadas fluorescentes eletrônicas devido às suas harmônicas. Através de medições individuais realizadas em laboratório, verifica-se que as lâmpadas de baixo FP apresentam valores de THDi superiores às lâmpadas de alto FP. Cerca de 4 vezes para uma lâmpada de mesma potência, sendo mostrado na tabela 1 com as lâmpadas L4 e L7 e suas respectivas formas de onda nas figuras 2 e 3.

Vale ressaltar que a análise, para um grupo grande de cargas não lineares, deve levar em consideração a influência do somatório de harmônicos.

Sugere-se, quando da realização de um novo programa, que as medições sejam realizadas num mesmo período do ano.

Em termos globais o programa mostrou que a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas de alto FP é a mais vantajosa para o sistema elétrico.

6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a colaboração do aluno da EFEI, Ricardo Marques, pela ajuda na preparação dos arquivos de dados.

7. REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Std 519-1992,
- [2] Baggot, A. J., “ The Effects of Waveshape Distortion on the Measurement of Energy by Tariff Meters” International Conference on Sources and Effects of Power System Disturbances, London, pp 261-267, 1974,
- [3] Faucett, M. A. and Keener, C.A., “Effect of Harmonics on Watthour Meter Accuracy” Electrical World, pp 82-84, 1945,
- [4] Siqueira Filho, J.B. “Banco de Capacitores na Presença de Harmônicos” Dissertação de Mestrado Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1995,
- [5] Rocha, A.C. O., Mello, C. A. F. e Gomes, H. N. “Harmônicos Causados pela Operação Simultânea de Televisores” Eletricidade Moderna, pp 234-242, 1997.
- [6] Arseneau R., Ouellette M., “The effects of supply harmonics on the performance of compact fluorescent lamps” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, pp473-479, april 1994.