



SCE/015

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

## STE II

### 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.

Oscar Armando Maldonado Astorga  
Departamento de Engenharia Elétrica  
UNESP – Campus de Guaratinguetá

Elder Carlos Diniz Campos  
Karina Fujino  
Diogo R. M. da Silva  
Marcelo Hideki Kobayashi  
Departamento de Engenharia Elétrica  
UNESP – Campus de Guaratinguetá

## RESUMO

O trabalho apresenta a análise do desempenho comparativo entre lâmpadas incandescentes e lâmpadas compactas fluorescentes utilizadas em instalações residenciais. A análise objetiva em primeiro lugar, dar uma contribuição no compromisso existente entre a economia ou conservação de energia, e o possível comprometimento da qualidade, em função da injeção de harmônicos na rede, provocada pela utilização das lâmpadas compactas, as quais representam cargas não lineares para o sistema .

O trabalho pretende também estabelecer critérios que facilitem ao público em geral, a tomada de decisão sobre a substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas compactas, considerando aspectos técnicos e econômicos como consumo, duração e custo das lâmpadas.

**PALAVRAS – CHAVE:** Conservação de Energia, Qualidade de Energia, Harmônicas das Correntes, Instalação Residencial.

## 1.0 INTRODUÇÃO:

Considerando-se que o consumo de energia elétrica das instalações residenciais representa quase 27% do total do consumo de energia do país [1], e que dentro deste consumo, a iluminação é responsável por 24% da mesma, a substituição das lâmpadas incandescentes, que atualmente representa 93% deste consumo [2], por lâmpadas de alta eficiência luminosa representa, sem

dúvida, uma grande contribuição no programa de conservação de energia PROCEL.

Ao mesmo tempo, a utilização em grande escala de lâmpadas compactas de alta eficiência representará um novo desafio que atinge desde os aparelhos de medição de energia [2][3], até ocorrências de problemas graves de sobretensões em equipamentos, e aquecimento nos dispositivos de proteção da instalação. Estudos recentes [7] mostram que as lâmpadas compactas fluorescentes apresentam níveis harmônicos de corrente altos implicando em efeitos como a queda significativa de tensão no sistema elétrico, correntes parasitas nos transformadores, aumentos das perdas por histerese e baixo fator de potência.

O desafio para o qual este trabalho pretende dar uma contribuição é: como conciliar a conservação com a qualidade de energia elétrica tendo em vista a substituição de lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes, ou ainda, se a influência na qualidade representa, de fato, um fator preocupante para os consumidores e para as concessionárias.

## 2.0 MONTAGEM EXPERIMENTAL

A montagem foi realizada no laboratório de alta tensão e instalações elétricas da UNESP – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

### 2.1 Instrumentação

Para a aquisição dos dados utilizou-se dos seguintes equipamentos:

Oscar Armando Maldonado Astorga; Av. Ariberto Pereira da Cunha 333, CEP 12516 410, Guaratinguetá, SP, tel 0xx12 5252800 r 249, [oscarama@feg.unesp.br](mailto:oscarama@feg.unesp.br)

- um osciloscópio digital portátil Tektronix THS 720P, true rms VAC, 100 MHz;
- um osciloscópio digital Tektronix TDS 340, true rms VAC, 100 MHz;
- um alicate amperímetro Tektronix A621, 2000A AC;
- um alicate amperímetro digital Fluke, true rms 32, 600A;
- um fluxímetro digital Minipa MLM – 1332;

## 2.2 Metodologia da coleta dos dados

A coleta de dados, para a análise do desempenho das lâmpadas, foi desenvolvida a partir de uma montagem experimental utilizando-se lâmpadas compactas fluorescentes e lâmpadas incandescentes. As indústrias de iluminação modificaram recentemente a tensão de projeto das lâmpadas, substituindo as de 120V por 127V [2]. Portanto, devido à existência, apesar de em pequenas quantidades, de lâmpadas incandescentes de 120V/60W no mercado, utilizou-se os dois tipos de lâmpadas.

Para a execução do projeto foram dispostas 15 lâmpadas num painel. Destas, 12 são incandescentes e de fabricação da GE e 3 são fluorescentes e fabricadas pela TASCHIBRA, sendo que todas são produtos de fácil acesso dos consumidores.

Para comparar o desempenho de lâmpadas de 120V com as de 127V, dividiu-se as lâmpadas incandescentes em dois grupos: seis de 127V/60W e seis de 120V/60W.

As 3 lâmpadas compactas fluorescentes são de 127V/15W, com fluxo luminoso equivalente ao da incandescente 127V/60W.

As lâmpadas foram conectadas à rede trifásica do laboratório como uma carga estrela. Em cada fase foram dispostas 2 incandescentes 127V/60W, 2 incandescentes 120V/60W e 1 fluorescente 127V/15W. Para cada lâmpada foi conectado um interruptor independente, de forma a simular a utilização residencial comum.

Em primeira instância procurou-se estudar algumas pesquisas já realizadas sobre o assunto, para melhor visualização do problema e suas variáveis relevantes. Foram elaboradas tabelas para organização dos dados a serem coletados, sendo registradas as seguintes grandezas: corrente, tensão, potências ativa, reativa e aparente, fator de potência, e, principalmente, o espectro e as formas de onda das correntes harmônicas de fase e do neutro. A partir destes dados, foi possível uma melhor análise do comportamento e influência das harmônicas na rede elétrica.

Estabeleceu-se 21 pontos de medição, sendo 15 correspondentes às medidas de fase de cada lâmpada, 3 relativos aos neutros de cada compacta, uma medida geral do neutro das compactas, uma medida geral do

neutro das incandescentes e uma medida do neutro, incluindo todas as lâmpadas. Ver Figura 1:

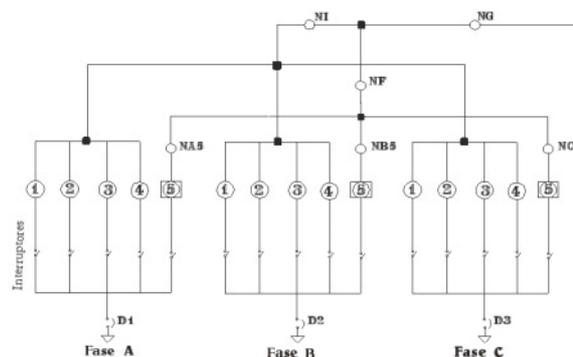


FIGURA 1: Esquema geral do circuito

## 3.0 GRANDEZAS MEDIDAS

Selecionou-se as seguintes grandezas para a realização da análise comparativa e estudo dos efeitos de cada lâmpada:

- Tensão – Foram realizadas medições nas três fases, para monitorar a distorção da tensão de entrada e seu nível de distorção devido às lâmpadas.
- Corrente – Verificou-se o comportamento das amplitudes de fase e de neutro, as formas de onda das correntes, a distorção harmônica total, bem como o espectro das onze primeiras harmônicas.
- Potência – Houve necessidade de medição das potências para análise do consumo e posterior comparação do rendimento efetivo de cada lâmpada.
- Fator de potência – Mediu-se o fator de potência para verificação do comportamento reativo de cada lâmpada.
- Luminosidade – Monitorou-se o fluxo luminoso para verificação do rendimento lúmen/watt e a viabilidade de ambas as lâmpadas.
- Defasagem – preocupou-se também com a defasagem de corrente entre as lâmpadas, apesar de não haver referências sobre tais medições. Apenas colocou-se a título de experiência e estudo.

## 4.0 AQUISIÇÃO DOS DADOS

A aquisição dos dados foi feita de modo a simular, de maneira real, um circuito de iluminação residencial. Portanto, os interruptores foram acionados em todas as ocasiões de medição e estabeleceu-se um tempo médio de funcionamento do circuito de 7 horas diárias.

Teve-se o cuidado de ligar o circuito ao fio terra puro, já que se ligado ao neutro da rede, poderia haver influências de outras cargas não lineares também conectadas nele (computadores, ar condicionado, motores, etc...)

Executaram-se as medições num período de quatro meses, durante os quais o sistema foi ligado diariamente pela manhã, durante cinco dias da semana. Após o acionamento, estabeleceu-se um período de duas horas, para a estabilização do sistema. Foram feitas duas medições diárias, uma no início do dia, após o período de estabilização, e a outra ao final do dia, antes do desligamento total do circuito. Semanalmente, media-se a luminosidade por duas vezes, sempre ao final do dia. Teve-se o cuidado de coletar o fluxo luminoso com todas as demais lâmpadas apagadas e sem qualquer influência de luzes externas, sendo que o fluxímetro foi colocado perpendicularmente a uma distância de 1,40 m da fonte luminosa.

No total foram 665 horas de funcionamento do circuito.

## 5.0 RESULTADOS

Estando com 192 folhas de dados medidos, segundo as grandezas previamente citadas, partiu-se para a análise dos dados coletados.

### 5.1 Análise das componentes harmônicas

Da análise de harmônicos injetados na rede, verificou-se que no circuito estabelecido, as lâmpadas compactas fluorescentes são responsáveis por 84% da Distorção Harmônica Total. Os outros 16% devem-se à distorção da própria tensão da rede, como mostra a forma de onda coletada no barramento de entrada do circuito (ver Figura 2).

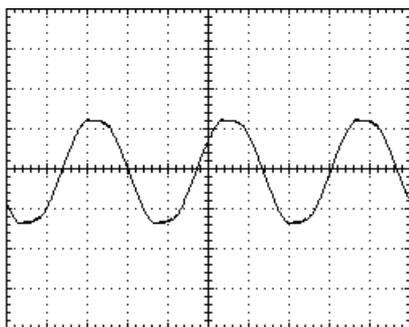


FIGURA 2 – Forma de Onda da Tensão de Entrada.

Pode-se verificar pela figura que há uma pequena distorção nos picos da onda de tensão. Comprova-se ainda melhor este fato, pelo espectro de frequência da tensão de entrada, (ver Figura 3):

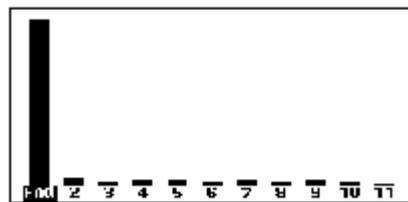


FIGURA 3 – Espectro de Frequência das Tensões de Fase

No espectro coletado encontram-se pequenas distorções, principalmente na segunda e na nona harmônica.

Outro fator importante na qualidade de energia é o fator de potência. Do circuito, verifica-se um comportamento puramente resistivo das lâmpadas incandescentes. Por outro lado, o fator de potência das fluorescentes é 0,52.

As LFCs (Lâmpadas Fluorescentes Compactas) são alimentadas por uma fonte que conduz a corrente apenas durante uma pequena parte do período de 60 Hertz, de modo que a corrente absorvida da rede CA tem a forma de um curto impulso[9].

Pode-se notar, a seguir, a distorção harmônica da corrente de neutro de uma das lâmpadas compactas, sendo que a onda coletada pelo osciloscópio já não tem mais o comportamento senoidal da tensão de entrada, (ver Figura 4).

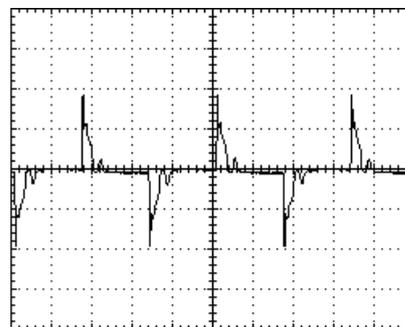


FIGURA 4 – Forma de Onda da Corrente de uma LFC

A parte restante da onda senoidal é retornada para a rede, produzindo a distorção da onda de corrente do sistema de alimentação. A onda de corrente distorcida pode ser analisada pelo Teorema de Fourier e, conseqüentemente, representada pela componente senoidal fundamental e por uma série de componentes harmônicas de ordens mais elevadas, em frequências que são múltiplas inteiras da frequência fundamental, normalmente chamadas de “harmônicas”[9].

Analisando-se o espectro de frequências da LFC comprova-se a distorção da corrente, essencialmente nas componentes ímpares. Ver Figura 5:

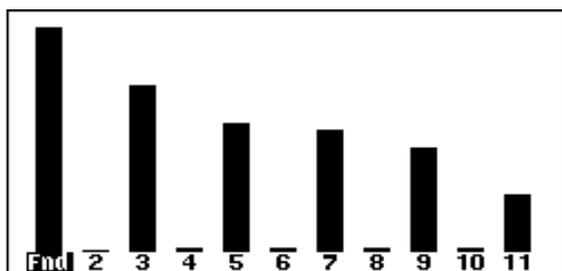


FIGURA 5 – Espectro de corrente das LFCs

A distorção da forma de onda da corrente decresce com a ordem da harmônica, gerando distorções entre 85% e 103% da fundamental.

Pode-se notar a seguir (ver Figura 6), que segundo o espectro de freqüências obtido a partir do neutro geral, devido às LFCs, todas as harmônicas de ordem ímpar apresentam distorções acima de 100% da fundamental. Verifica-se a distorção da corrente total do circuito pela forma de onda coletada, com todas as lâmpadas em funcionamento (ver Figura 7).

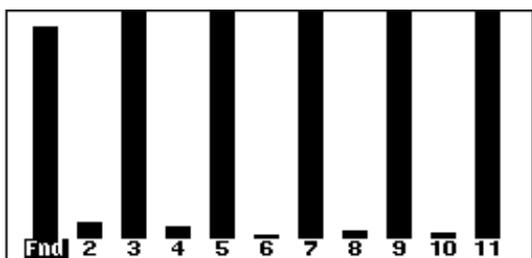


FIGURA 6 – Histograma do neutro geral apenas com as compactas acesas.

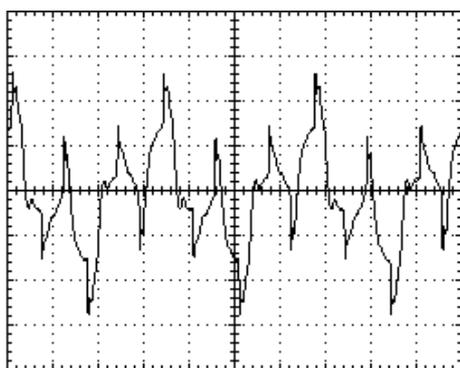


FIGURA 7 – Forma de onda da corrente de neutro geral com todas as lâmpadas acesas

## 5.2 Análise da luminosidade

Com os valores de luminosidade medidos montou-se uma tabela (ver tabela 1). A partir dos valores médios de fluxo luminoso obteve-se o rendimento médio de cada lâmpada. As lâmpadas compactas fluorescentes são representadas por A5, B5 e C5, e pode-se verificar o seu maior rendimento em relação às demais.

TABELA 1 – Rendimento médio (lúmen/Watt) medido para cada lâmpada

Análise Luminosidade					
Lâmpada	Média LUX	Área (m <sup>2</sup> )	Lumen	Watt	Lumen/Watt
A1	38,6	20,0	772,0	68,3	11,3
A2	41,0	20,0	820,0	67,6	12,1
A3	44,9	20,0	898,0	65,2	13,8
A4	44,5	20,0	890,0	62,4	14,3
A5	24,8	20,0	496,0	17,0	29,2
B1	43,1	20,0	862,0	66,2	13,0
B2	41,6	20,0	832,0	65,9	12,6
B3	40,3	20,0	806,0	64,5	12,5
B4	42,1	20,0	842,0	64,0	13,2
B5	24,6	20,0	492,0	19,0	25,9
C1	38,8	20,0	776,0	58,2	13,3
C2	36,4	20,0	728,0	57,1	12,7
C3	43,1	20,0	862,0	56,2	15,3
C4	40,2	20,0	804,0	55,9	14,4
C5	22,4	20,0	448,0	14,6	30,7

A partir destes dados, verifica-se que são necessárias 2,2 lâmpadas incandescentes para se obter o mesmo rendimento luminoso de uma lâmpada fluorescente.

Por outro lado, pesquisando-se preços de lâmpadas no mercado, observou-se que as incandescentes, em média, são 17 vezes mais baratas que as fluorescentes. Portanto, para comprovar a relação custo-benefício, optou-se por um estudo comparativo entre consumo, custo e tempo de vida de ambas as lâmpadas.

## 5.3 Exemplo: quadro comparativo entre duas residências utilizando os dois tipos de lâmpadas

Neste exemplo, com a utilização dos resultados obtidos neste trabalho, impôs-se um padrão residencial, para o qual tem-se 10 lâmpadas fluorescentes 15W no total, divididas em cada cômodo da casa como mostrado na tabela (ver Tabela 2), e com suas respectivas horas de consumo diárias. Calculou-se então os consumos diário e mensal totais. O mesmo foi feito com as lâmpadas incandescentes, porém o fator de luminosidade é 2.2, já que, como dito previamente, necessita-se de 2.2 lâmpadas incandescentes para se obter o mesmo rendimento luminoso de uma fluorescente. Portanto, os cálculos estabelecidos aqui visam o mesmo fluxo luminoso.

TABELA 2 – Consumo Médio de uma Residência com Lâmpadas Fluorescentes

Consumo Médio Residencial de Lâmpadas Fluorescentes					
Cômodo	Luminosidade	N.º de Lâmpadas	Watt	Horas/dia	Consumo (Kwh)
Hall	1	2	15	1	0,030
Sala TV	1	1	15	5	0,075
Sala de Jantar	1	1	15	2	0,030
Copa	1	1	15	3	0,045
Cozinha	1	1	15	5	0,075
Banheiro	1	1	15	2	0,030
Quarto 1	1	1	15	3	0,045
Quarto 2	1	1	15	3	0,045
Lavanderia	1	1	15	1	0,015
Total/dia					0,390
Total/Mês					11,7

TABELA 3 – Consumo Médio de uma Residência com Lâmpadas Incandescentes

Consumo Médio Residencial de Lâmpadas Incandescentes					
Cômodo	Luminosidade	N.º de Lâmpadas	Watt	Horas/dia	Consumo (KWh)
Hall	2,2	2	60	1	0,264
Sala TV	2,2	1	60	5	0,660
Sala de Jantar	2,2	1	60	2	0,264
Copa	2,2	1	60	3	0,396
Cozinha	2,2	1	60	5	0,660
Banheiro	2,2	1	60	2	0,264
Quarto 1	2,2	1	60	3	0,396
Quarto 2	2,2	1	60	3	0,396
Lavanderia	2,2	1	60	1	0,132
Total/dia					3,432
Total/Mês					103,0

A partir das tabelas anteriores, confeccionou-se um quadro de comparação entre custo, consumo e tempo de vida das lâmpadas. Pesquisou-se o valor do KWh na concessionária, o qual está fixado, para baixo consumo, em R\$ 0,06549. Com os valores totais mensais calculados em cada residência, obteve-se o valor, em reais, do consumo mensal. Pela pesquisa de mercado, a razão de preços entre fluorescentes e incandescentes é, em média, 17. Utilizando-se do mesmo recurso, já citado, necessita-se de 2,2 incandescentes para que se obtenha o mesmo rendimento luminoso das 10 fluorescentes. Ou seja, 22 lâmpadas a R\$ 1,00 cada, deve-se ter um investimento inicial para as incandescentes de R\$ 22,00, ao passo que para 10 fluorescentes a R\$ 17,00 investe-se R\$ 170,00. Portanto, conclui-se que para compensar o uso das lâmpadas fluorescentes, seu tempo de vida deve ser bem maior do que o das incandescentes.

É bom ressaltar, que aqui não foi realizado um estudo sobre o tempo de vida das lâmpadas, mas estabeleceu-se, através dos cálculos de consumo e custo, um valor ideal para a durabilidade das lâmpadas. Pesquisando a literatura, encontrou-se que as fluorescentes duram cerca de 6 a 12 vezes mais que as incandescentes[10]. Pelo estudo aqui apresentado, verifica-se que se a relação tempo de vida for de 6 vezes, ainda assim, do lado do consumidor, compensaria economicamente utilizar as lâmpadas incandescentes, apesar de ser uma diferença muita pequena. Ver Tabela 4:

TABELA 4 – Quadro Comparativo: Custo, Consumo e Tempo de Vida

Quadro Comparativo de Custo e Consumo			
Característica	Fluorescentes	Incandescentes	Valor KWh
Consumo (KWh)	11,7	103,0	0,06549
Preço Mensal	R\$ 0,77	R\$ 6,74	Tempo de Vida
Preço cd Lâmp.	R\$ 17,00	R\$ 1,00	
N.º de Lâmpadas	10	22	6
Valor Total	R\$ 170,00	R\$ 22,00	
Custo Total	R\$ 174,60	R\$ 172,46	

Verificou-se ainda que a corrente das compactas é da ordem de 140 mA e das fluorescentes da ordem de 0,5A. Há uma pequena distorção da corrente das incandescentes devido à distorção da tensão de entrada,

aproximadamente 2%. Já a distorção devido às compactas é de 110%, na harmônica de terceira ordem e decresce com a ordem das harmônicas.

Utilizando-se ainda o exemplo residencial anterior, comprova-se um valor alto de corrente circulante pelo neutro, quando se trata de LFCs: por volta de 1,7A. Ou seja, do ponto de vista da qualidade de energia é inviável o uso de lâmpadas compactas fluorescentes.

## 6.0 CONCLUSÕES

As pesquisas em qualidade e conservação de energia têm-se acentuado nos últimos tempos, porém ainda não se obteve respostas concretas sobre como resolver o problema do grande número de cargas não lineares que entram no sistema todos os dias.

Acredita-se que deve-se começar a resolver esse problema estudando-se cada fonte de distorção separadamente. Para tanto, procurou-se aqui estudar à parte, a contribuição harmônica das LFCs em circuitos residenciais.

É evidente que não é tão fácil estabelecer critérios para que o consumidor possa escolher o tipo de lâmpada, mesmo porque ele não se preocupa com a qualidade de energia, se isso não afeta diretamente o seu “bolso”.

A concessionária por sua vez, pode não estar interessada no desperdício, uma vez que o consumidor paga por isso, mesmo sem saber. Apesar disto, o comprometimento da qualidade da energia fornecida, exige medidas a serem adotadas pela concessionária visando um consumidor mais eficiente.

Apresentou-se aqui a distorção devido apenas ao circuito de iluminação fluorescente (110% para 3ª harmônica), o que resulta numa corrente de 1,7 A de 3ª harmônica no neutro geral. Colocando-se mais cargas não lineares, a corrente do neutro aumentará mais ainda, o que, pode ocasionar erros nos medidores confeccionados para trabalhar em 60 Hz, além de sobretensões devido a ressonâncias, aumento das perdas dos condutores, magnetização assimétrica de transformadores, etc.

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o uso acentuado de lâmpadas fluorescentes, realmente compromete a qualidade de energia. A quantificação deste comprometimento deverá ser objeto da continuação deste trabalho.

Em relação à economia, o trabalho mostra que se a relação de tempo de vida entre fluorescentes e incandescentes for menor que 6, ainda assim é mais conveniente o uso das incandescentes, já que o investimento inicial para as lâmpadas fluorescentes é maior. Adotando o tempo de vida citado na literatura[10](entre 8 e 12), é mais viável, economicamente, o uso de lâmpadas compactas fluorescentes

## 7.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] GAMA, Paulo Henrique Ramalho Pereira, “A conservação de energia e sua relação com a qualidade da energia elétrica”, Dissertação de mestrado, EFEI, dezembro de 1998.
- [2] PAGAN, Cesar José Bonjuani, JANUZZI, Gilberto de Martino, “Os impactos das lâmpadas incandescentes de 120V para o país”, Revista Eletricidade Moderna, pgs 108-115, setembro de 1998.
- [3] RODRIGUES, Jorge Williams Aragundi “Proposição de um protocolo de aferição de medidores de energia elétrica submetidos a sinais distorcidos” , Dissertação de Mestrado, EFEI, setembro de 2000.
- [4] LUDEWIG, Carlos Augusto, “Revisão da NBR IEC-64: fim da polêmica das incandescentes?”, Revista Eletricidade Moderna, pgs 132-139.
- [5] PROCOBRE, Instituto Brasileiro do Cobre, “Qualidade de Energia–Harmônicas”, Manual de Referência, 1998.
- [6] WAGNER, V. E., et. Alii., “ Effects of Harmonics on Equipment”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, Nº 2, abril of 1993.
- [7] GAMA, Paulo Henrique R. P ; et. Alii; “Interferência no Sistema Elétrico Causado pela Utilização de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Consumidores Residenciais”, II SBQEE, EFEI, 1997.
- [8] FUJIWARA, José K., DELGADO, Antonio Carlos, DORNELLAS, Vanice Ferreira dos S., HADDAD Jamil, YAMACHITA, Roberto A., GAMA Paulo Henrique R. P., “Interferência causada pelo uso de fluorescentes compactas em residências”, Revista Eletricidade Moderna, pgs 134-141, setembro de 1998.
- [9] GOTHELF Natan. “Os efeitos das fluorescentes compactas na qualidade de energia”, Revista Eletricidade Moderna, pgs 164-171, Agosto de 1999.
- [10] CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. Livros Técnicos e Científicos Editor Ltda, 11ª edição.
- [11] BRONZEADO, Herivelto; LIMA, Everaldo N.; SOARES, Luciana R.; “Análise de Desempenho de Reatores Eletrônicos e Eletromagnéticos”, Revista Eletricidade Moderna, pgs 108-115, setembro de 1998.