

# A utilização de lâmpadas fluorescentes compactas nas redes elétricas <sup>1</sup>

Cíntia Gonçalves Mendes da Silva, PIPGE-USP / CEFET-SP

Hédio Tatizawa, IEE-USP, Kleiber Tadeu Soletto, IEE-USP

**Abstract**-- The increase of the consumption in Brazil aside with problems of supply of electrical energy in the decade of 90, during a period of bad hydrological conditions caused a concern and urged a search for ways of reduction of the consumption. The power quality was not a priority, loads were not so sensitive nor the existing processes demanded as much as quality of the supply of electric energy. The concern on quality of energy supply increased, mainly in the industrial sector, with the increase of the competition in the domestic markets and overseas. The quality and the amount of production became a distinguished item for the profit. In this way, the quality of energy supply and the continuity of the production lines became more important.

This work aims to show results of an experimental survey about compact fluorescent light bulbs with integrated reactor, and some consequences of its generalized use.

**Index Terms** — *fluorescent compact light bulbs, harmonics, power quality, harmonic distortions, electromagnetic compatibility*

## I. INTRODUÇÃO

As lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) no Brasil foram introduzidas no mercado de forma mais intensa por volta do ano 2000, em resposta aos sérios problemas de oferta de energia elétrica no país nesse período, caracterizado pelo baixo nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas. O racionamento de energia elétrica imposto facilitou a entrada no mercado e a aceitação das lâmpadas fluorescentes compactas pelos consumidores, em substituição às lâmpadas incandescentes, mesmo considerando-se o maior preço das LFC, tendo em vista sua maior eficácia energética. O sobre preço das LFC frente às tradicionais lâmpadas incandescentes, reduziu-se substancialmente com o aumento do volume de importação do produto, contribuindo para a popularização das LFC. Essa tendência foi reforçada certamente pela escalada da tarifa de energia elétrica nos anos subseqüentes. O crescimento da participação das LFC no mercado de iluminação gerou uma preocupação quanto a vários aspectos decorrentes do uso em massa desse produto, sendo um deles o impacto quanto à qualidade de energia nos sistemas elétricos de potência, uma vez que as LFC incorporam geralmente um reator eletrônico, com a função de proporcionar para a lâmpada tensão elétrica em alta frequência, da ordem de dezenas de kHz normalmente, para sua alimentação e para facilitar a ignição, eliminando a necessidade de starter utilizado nas lâmpadas fluorescentes tradicionais que utilizam reator eletromagnético.

No passado, as cargas do sistema elétrico não eram tão sensíveis e nem os processos existentes exigiam tanta qualidade no fornecimento de energia elétrica. A preocupação em relação à qualidade de fornecimento de energia, com seus impactos econômicos aumentaram muito, principalmente no setor industrial, com o aumento da concorrência nos mercados internos e externos. A qualidade e a quantidade de produção passaram a ser um item diferencial para o ganho de mercado, com alguns segmentos

mais intensamente influenciados pela qualidade de fornecimento de energia no seu processo produtivo. Daí o aumento na busca em se identificar possíveis geradores de distúrbios e as formas de redução de seus efeitos. A durabilidade e o fator de potência das lâmpadas não foram medidas sendo um item a ser acrescido no aprofundamento deste estudo.

## II. METODOLOGIA DE TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho as etapas realizadas foram:

- Aquisição de lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) no mercado considerando os seguintes aspectos: potências semelhantes, quantidade de tubos, tensão de alimentação e preços;
- Realização de medições para estabelecer os índices de distorção harmônica gerados pelas amostras nas condições normais de trabalho e compará-los aos valores estabelecidos pelas normas que regularizam a qualidade do produto colocado no mercado (INMETRO, etc.);
- Realização de medições para estabelecer os índices alcançados em relação à interferência eletromagnética e compará-los aos estabelecidos pelas normas existentes.

### A. Definição da Amostra

Uma rápida análise de mercado mostrou que a potência das LFCs varia muito de fabricante para fabricante e de modelo para modelo e sua forma construtiva também. Dessa forma, adotou-se que um dos parâmetros utilizados como referência seria o valor de mercado, ou melhor, lâmpadas de valores comerciais bem próximos e de fabricantes diferentes.

Foram selecionadas cerca de 7 LFCs sendo 6 de fabricantes diferentes e 1 uma com forma construtiva diferente das tubulares mais usuais. Por ter sido selecionada uma amostra de cada tipo, as medições foram realizadas uma única vez.

A tabela I mostra características das LFCs utilizadas na pesquisa:

Tabela I - Dados das LFCs utilizadas

Tipo	Fabric.	Pot. (W)	Tensão (V)	Temp.Co r (K)	Efic. (lm/W)	Fluxo Lum. (lm)	Valor Coml. RS
LFC1	A	20	110/127	6500	55	1100	8,00
LFC2	B	16	110/130	4000	52	900	6,82
LFC3	C	30	127	6500	52	1495	11,15
LFC4	D	11	127	6400	67,6	744	7,40
LFC5	E	25	127	4000	65	1720	10,09
LFC6	F	13	110/130	4000	65	800	6,91
LFC7	F	15	120/127	6500	44	660	8,72

### B. Procedimentos experimentais adotado

As lâmpadas foram ensaiadas utilizando os procedimentos apresentados a seguir.

Cíntia G. Mendes, Engenheira Eletricista, CEFET-SP.

Hédio Tatizawa, Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP.

Kleiber Tadeu Soletto, Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP.

### a) Medições de Interferência Eletromagnética (IEM)

A montagem utilizada nas medições é mostrada na Figura 1. As medições foram realizadas em câmara blindada, tomando-se como referência a norma IEC CISPR 15 – 2000. Uma fonte com baixa distorção harmônica foi utilizada para a alimentação das lâmpadas. Também foi utilizada uma LISN (Line Impedance Stabilization Network), equipamento com a finalidade de proporcionar condições padronizadas para a rede elétrica determinada pela norma já citada. O equipamento LISN é mostrado na Figura 2.

O esquema de montagem utilizado para a realização das medições está sendo apresentado abaixo.

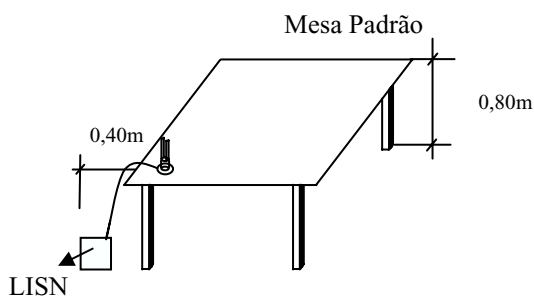


Figura 1 – Montagem utilizada para a realização das medições de IEM, realizadas no interior de câmara blindada.



Figura 2 – LISN (Line impedance stabilization network) utilizada nas medições de IEM.

As medições de interferência eletromagnética conduzida foram efetuadas utilizando-se um aparelho de medição de interferência eletromagnética (EMI Receiver), mostrado na Figura 3.

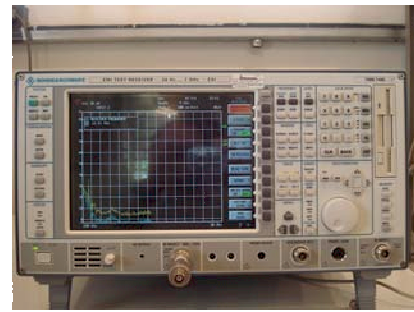


Figura 3 - EMI Receiver utilizado nas medições de IEM.

### b) Medições de grandezas elétricas

As medições de distorção harmônica foram realizadas utilizando-se um Analisador de Qualidade de Energia mostrado na Figura 4, tomando-se como referência a norma IEC 61000 – 4 – 7. Para a alimentação das lâmpadas durante as medições foi utilizada uma fonte com baixa distorção harmônica, mostrada na Figura 5.



Figura 4. Analisador de qualidade de energia.

As lâmpadas foram com alimentação em 110V e 127 V, considerando tensões usuais de fornecimento de tensão secundária, conforme a região.



Figura 5 - Fonte de tensão com baixa distorção harmônica.

Os valores utilizados como padrão para realização das comparações foram os valores definidos pela norma CISPR15, reproduzidos abaixo na tabela II.

Tabela II - Limites de distúrbios de tensão nos terminais principais das cargas (extraída da norma CISPR15)

Faixa de frequência	Limites dB(μV)*	
	Quase Pico	Valor Médio
9 kHz to 50 kHz **	110	-
50 kHz to 150 kHz **	90 to 80 ***	-
150 kHz to 0,5 MHz	66 to 56 ***	56 to 46 ***
0,5 MHz to 2,51 MHz	56	46
2,51 MHz to 3,0 MHz	73	63
3,0 MHz to 5,0 MHz	56	46
5 MHz to 30 MHz	60	50

\* Na frequência da transição, aplicam-se os limites mais baixos  
 \*\* Os valores limites na faixa de frequência de 9 kHz até 150 kHz são consideradas "limites provisórios" que pode ser modificado após alguns anos de experiência  
 \*\*\* Os limites diminuem linear com o logaritmo da frequência na escala 50 kHz a 150 kHz e 150 kHz a 0,5 MHz  
 Nota: No Japão, os limites da escala de frequência 9 kHz a 150 kHz não são aplicáveis. Além disso, o limite de 56 dB (μV) de quase-pico e 46 dB (μV) aplica-se a média entre 2,51 MHz e 3 MHz.

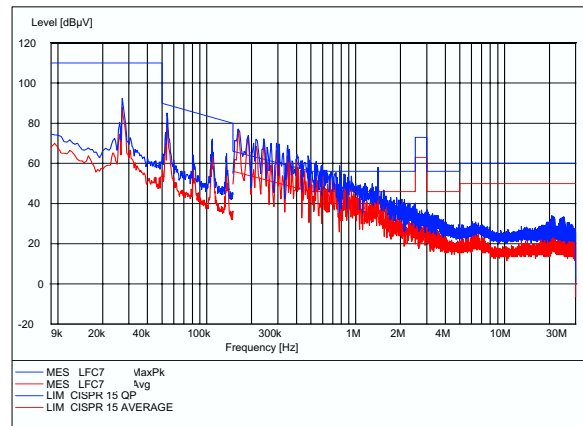


Figura 6 - Frequência x Interferência Eletromagnética (dBμV) da lâmpada LFC7

A título de comparação, a Fig. 8 mostra o comportamento da lâmpada LFC1.

C. Resultados Obtidos

a) Medição de Interferência Eletromagnética

As lâmpadas LFC2 e LFC7 tiveram os piores desempenhos comparados com as outras amostras. Na Fig. 6 é possível observar os resultados da amostra LFC2. São apresentadas as duas linhas que determinam os limites aceitos pela norma CISPR15 (em azul – valor máximo, em vermelho valor médio). Observa-se que com frequências acima de 150 kHz e abaixo de 2MHz o comportamento da lâmpada ultrapassa os limites em cerca de 36%. Isto ocorre também com a amostra LFC7 com uma ultrapassagem igual e que está sendo apresentada na Fig. 7.

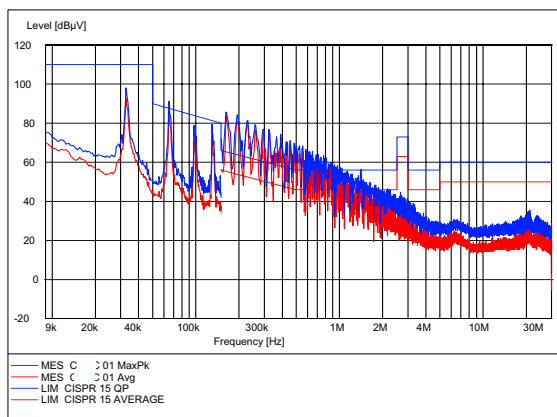


Figura 6 - Frequência x Interferência Eletromagnética (dBμV) da lâmpada LFC2

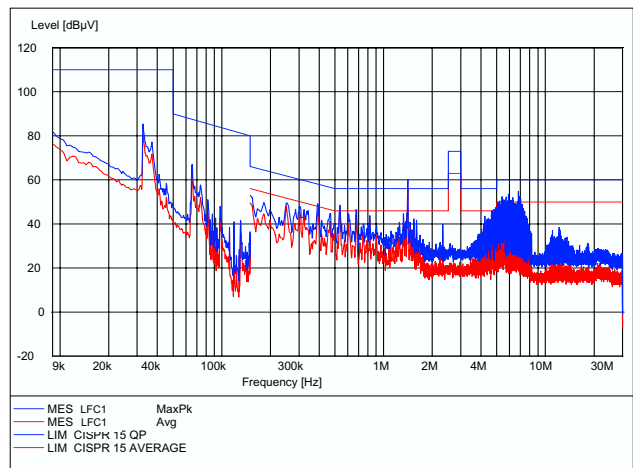


Figura 8 - Frequência x Interferência Eletromagnética (dBμV) da lâmpada LFC1

b) Medição das componentes harmônicas de tensão

A tabela III apresenta os índices de distorção harmônica total de tensão e de corrente verificados a partir de uma simulação através de uma planilha eletrônica. Os corpos de prova foram testados nas tensões de 110V e 127V.

Tabela III -Comparativo das distorções harmônicas totais de tensão e de corrente entre amostras (simulado)

Tipo	Potência (W)	THDV (%)		THDI (%)	
		110 V	127 V	110 V	127 V
LFC1	20	0,093%	0,105%	49,463%	53,680%
LFC2	16	0,107%	0,109%	90,831%	96,704%
LFC3	30	0,164%	0,115%	107,184%	112,967%
LFC4	11	0,104%	0,106%	92,354%	98,420%
LFC5	25	0,131%	0,132%	114,817%	122,965%
LFC6	13	0,112%	0,128%	108,575%	114,304%
LFC7	15	0,115%	0,132%	134,410%	140,687%
<b>Valores Médios</b>		<b>0,118%</b>	<b>0,118%</b>	<b>99,662%</b>	<b>105,675%</b>

Tabela IV -Comparativo das distorções harmônicas totais de tensão e de corrente entre amostras (medido)

Tipo	Potência (W)	THDV (%) 110 V	THDV (%) 127 V	THDI (%) 110 V	THDI (%) 127 V
LFC1	20	0,110%	0,120%	50,080%	54,220%
LFC2	16	0,120%	0,140%	91,150%	97,050%
LFC3	30	0,180%	0,200%	109,120%	115,400%
LFC4	11	0,100%	0,130%	93,990%	100,120%
LFC5	25	0,160%	0,180%	115,460%	124,070%
LFC6	13	0,130%	0,140%	111,700%	117,400%
LFC7	15	0,130%	0,150%	137,600%	144,180%
<b>Valores Médios</b>		<b>0,133%</b>	<b>0,151%</b>	<b>101,300%</b>	<b>107,491%</b>

Os valores apresentados na tabela IV foram obtidos a partir da medição. As distorções harmônicas da tensão apresentam valores baixos, conforme esperado, tendo em vista a utilização da fonte de tensão com baixa distorção harmônica, considerando que todos os ensaios foram realizados em laboratório.

Em relação à distorção harmônica de corrente, as diferenças entre LFC que indicou menor valor e a LFC que indicou maior valor chegou a 171% na tensão de 110V e 162% na tensão de 127V.

Estes índices são elevados, se considerarmos que os produtos passam por processos de fabricação semelhantes (e apresentam preços próximos entre si).

A Fig. 9 compara graficamente os valores de distorção harmônica total de corrente verificados.

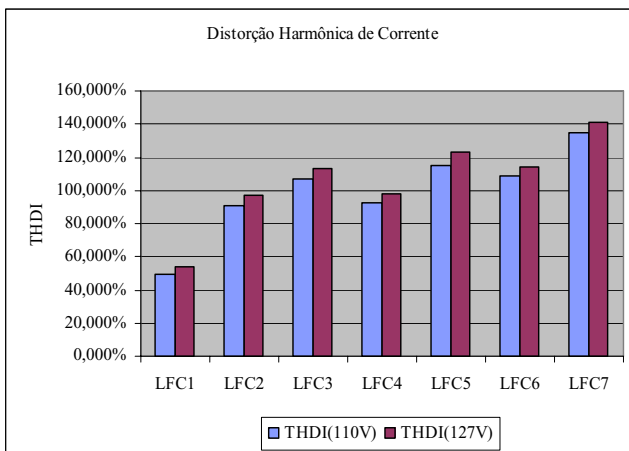


Figura 9 - Comparação das distorções harmônicas totais de corrente, considerando a tensão de alimentação

Analisando a Fig. 9, verifica-se a grande variabilidade no que se refere à distorção harmônica total de corrente, como função do projeto da LFC e do fabricante.

#### D. Regulamentação Brasileira

A seguir na tabela V é apresentado um resumo geral da normalização das LFC no Brasil:

Tabela V - Resumo das Normas Brasileiras das LFC

Data	Legislação	Órgão responsável	O que determina
	Contratos de Concessão	ANEEL	Já obrigava algumas concessionárias a aplicar um percentual de receita em projetos de eficiência energética
02/12/1999	Resolução n°. 334	ANEEL	Início dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento na área de Eficiência Energética - Recomendação
06/2000	NBR 14538	ABNT	Requisitos de segurança e intercambialidade das LFC tubulares
06/2000	NBR 14539	ABNT	Requisitos desempenho juntamente com os métodos de ensaio e as condições requeridas para demonstrar a conformidade das LFC tubulares
24/07/2000	Lei n°. 9.991	Congresso Nacional	Determina que as Concessionárias devam aplicar no mínimo, 75 centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final
17/09/2001	Resolução n°. 394	ANEEL	Aplicação anual de, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) da Receita Operacional Líquida por parte das Concessionárias de Energia
29/01/2002	Portaria n°. 020	MDIC - INMETRO	Fica mantida a certificação compulsória de reatores para lâmpadas fluorescentes tubulares fabricados e comercializados no país
03/09/2002	Resolução n°. 492	ANEEL	Altera o percentual sobre a Receita Operacional Líquida que se destina a aplicação em programas de eficiência energética de 0,25% para 0,5% até 31 de dezembro de 2005.
13/05/2004	Etiquetagem RESP/010 - LUZ	INMETRO	Regras para fabricantes/importadores utilizarem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em sua linha de produção, especificamente para as LFC com reator integrado.
12/06/2006	Portaria Interministerial n°. 132	MME, MCT, MDIC	Institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE com a finalidade de elaborar

16/11/2006	Portaria no. 289	MDIC	regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia além de definir os índices mínimos de Eficiência Energética de lâmpadas fluorescentes compactas Institui, no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, a etiquetagem compulsória de lâmpadas fluorescentes com reatores integrados
------------	------------------	------	--

Tabela VI - Resumo das Políticas de incentivo à substituição de lâmpadas no mundo

País	Política Adotada
Austrália	Interromper a venda de lâmpadas incandescentes até 2010.
Canadá	Interromper a venda de lâmpadas incandescentes até 2012 como parte do plano para diminuir em até 20% o consumo até 2020
Cuba	Plano de substituição anunciado em 2005. Em 2006 adquiriu 200.000.000 unidades de LFC da China
Filipinas	As lâmpadas fluorescentes já representam 64% da iluminação residencial
Nova Zelândia	Anunciou que poderá banir as lâmpadas incandescentes
Venezuela	Já substituiu 53 milhões de lâmpadas incandescentes por fluorescentes em mais de 95% dos lares domiciliares

Fonte: Abilumi e Taxonomia Empresarial 2007

### E. Panorama Mundial

Tanto o Brasil quanto outros países no mundo desenvolveram políticas de incentivo de troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes sendo estas compactas ou não. Do aspecto de consumo isso irá garantir uma economia de energia que pode ser importante considerando a grande quantidade de lâmpadas incandescentes que poderão se substituídas nos diversos segmentos.

Podemos ter uma idéia do que isto pode vir a representar se tomarmos como base os dados gerados pelo simulador SINPHA do Procel (2007).

Segundo o gráfico apresentado na figura 9, nas faixas de menor consumo de energia a lâmpada fluorescente representa cerca de 35% enquanto que nas demais faixas de consumo, este número varia chegando até 60% do total instalado. Isto representa uma potência de troca muito elevado, pois a faixa de menor consumo representa os consumidores classificados de baixa renda que são considerados os principais focos nas campanhas de incentivo à troca.

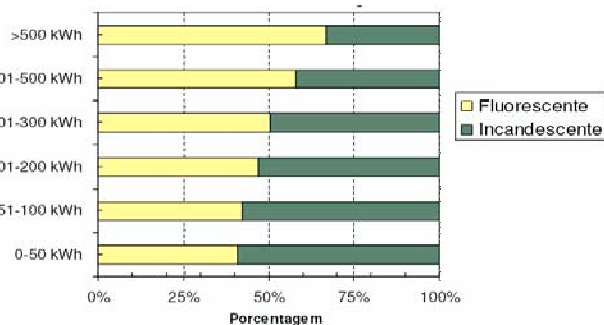


Figura 10 – Utilização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por faixa de consumo de energia (Fonte: SINPHA – Procel – 2005)

Na tabela VI, a seguir apresentada verificamos um resumo das políticas de incentivo à substituição de lâmpadas em alguns países do mundo.

Se observarmos as políticas de incentivo à substituição é claro notar a grande preocupação das nações em reduzir os consumos de uma forma geral.

### F. Conclusão

Este trabalho foi desenvolvido utilizando processos de medições que não haviam sido utilizados com este tipo de carga para as averiguações da qualidade de energia. A medição da interferência eletromagnética nos trouxe resultados que, até então, eram desconhecidos. Apesar da não repetição das medições na mesma amostra e em várias amostras do mesmo tipo, os resultados mostraram que a distorção harmônica e a interferência eletromagnética gerada por este tipo de carga pode se tornar preocupante, dependendo da situação e aplicação do uso das mesmas.

Quanto à distorção harmônica total de corrente, foi observada variabilidade de até 171% entre o maior e menor valor de THDI, dentre as LFC testadas.

Os resultados obtidos na simulação das amostras em situações que se aproxima do real se mostraram bem diferentes daqueles já observados.

As políticas de incentivo à substituição de lâmpadas são de muita importância para a redução de gasto de energia no mundo todo. Poupar é importante também pelo aspecto de preservação da natureza. Porém é importante salientar que o problema das harmônicas também é preocupante.

Os índices levantados neste estudo, apesar do pequeno universo amostral analisado, indicam a possibilidade de impactos importantes no que se refere a níveis de poluição harmônica e de interferência eletromagnética alcançados, dependendo fortemente da qualidade da LFC, com a expansão para uma quantidade elevada de LFCs instaladas. Assim, é demonstrada a importância desse tipo de avaliação na implantação de políticas públicas de conservação de

energia, onde a certificação das lâmpadas pode ter papel fundamental com a verificação dos níveis de distúrbios causados.

### III. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração da equipe técnica do laboratório de Compatibilidade Eletromagnética do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP onde foi possível a realização das medições.

### IV. REFERÊNCIAS

*IEC Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment. IEC CISPR 15, 2000.*

Portaria Interministerial no. 132, de 12/06/2006 do Ministério de Minas e Energia, da Ciência e Tecnologia, e de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Regulamentação Específica que define os índices de eficiência energética de lâmpadas fluorescentes compactas.

Portaria no. 289, de 16/11/2006 do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.

Portaria no. 020, de 29/01/2002 do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.

Resolução no. 492, de 3/09/2002. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estabelece os critérios para publicação de recursos em Programas de Eficiência Energética.

IEC, Electromagnetic Compatibility (EMC), IEC 61000, todas as partes, 2000.

Políticas públicas para lâmpadas eficientes – Abilumi e Taxonomia. Portal Lumière. Setembro 2007.

### V. BIOGRAFIAS

**Cíntia Gonçalves Mendes da Silva**, Engenheira Eletricista pela Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie, (1991). Mestranda pelo IEE-USP. Coordenadora da Área de Eletrotécnica do CEFET-SP, Coordenadora do Curso de Tecnologia em Sistemas de Energia da mesma unidade com início em Agosto de 2006. Professora da Coordenadoria de Eletrotécnica desde 1996.

**Hélio Tatizawa** Engenheiro Eletricista pela Escola Politécnica da USP, em 1984, onde concluiu mestrado (1994) e doutorado (2001) em Sistemas de Potência. Trabalha no IEE/USP - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP desde 1985.

**Kleiber Tadeu Soletto** Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI – São Bernardo do Campo SP, em 1988. Concluiu o mestrado (1998) e doutorado (2004) em Sistemas da Qualidade pela EPUSP. Trabalha no IEE/USP - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP desde 1989.