

Electromagnetic Compatibility Analysis of CFL with Integrated Reactor in the Brazilian Market

R. Bittencourt, K. Cardoso, A. Fragoso, J. Silva, and M. Fortes, *Senior Member, IEEE*

Abstract—In the quality certification of compact fluorescent lamps (CFL), the electromagnetic compatibility aspect is a mandatory requirement in USA and European countries. In Brazil, this evaluation is optional and this work presents tests of such requirement accomplished in the Fluminense Federal University Lighting Laboratory (LABLUX) using as samples the products sold in electric material stores of Brazilian market. Evaluations were carried out on 10 samples and the results are presented and commented, showing that if in Brazil this quality requirement was mandatory only one of the tested model would be approved.

Index Terms—Electromagnetic Compatibility, Compact Fluorescent Lamp, Electromagnetic Interference, Conducted Emissions, Radiated Emissions.

I. INTRODUÇÃO

AS Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado (LFCs) surgiram no mercado brasileiro com o intuito de substituir as lâmpadas incandescentes, uma vez que exigem menor potência para gerar o mesmo fluxo luminoso das incandescentes, sendo até cinco vezes mais eficientes. [1]. Com a crise energética de 2001, o governo brasileiro incentivou o consumo desse produto, através de políticas de subsídio e estabelecendo limites mínimos de eficiência para lâmpadas incandescentes [2-3].

Apesar de eficiente, as LFCs não possuem um circuito puramente resistivo como as incandescentes, existindo em seu interior um reator integrado com componentes eletrônicos que podem provocar perturbações eletromagnéticas de natureza conduzida ou radiada [4], o que faz com que seja necessária a adoção de algum tipo de controle e verificação dos níveis de emissão desses ruídos eletromagnéticos gerados pelo reator [5].

Em países da União Europeia e nos Estados Unidos, a compatibilidade eletromagnética, no inglês, *Electromagnetic compatibility* (EMC), nas LFCs é obrigatória, dado a

importância de se controlar essas emissões. O responsável por regulamentar e controlar os limites de interferência em países da União Europeia é o CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*), enquanto que nos Estados Unidos a FCC (*Federal Communications Commission*) é o órgão responsável [6]. Esta preocupação com as emissões das LFCs se estendem inclusive a limites da exposição humana aos campos eletromagnéticos a distâncias muito curtas como destacado em [7].

No Brasil, o órgão responsável pela avaliação de conformidade das LFCs é o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). A Portaria 489/2010 do Inmetro obriga a realização de ensaios de segurança elétrica e eficiência energética. Porém, o ensaio EMC é opcional, ficando por conta dos fabricantes esse controle [8].

Sendo de caráter opcional, será que as LFCs comercializadas no Brasil estão em conformidade com os limites especificados nas normas internacionais de EMC?

Alguns estudos recentes relacionados a interferências eletromagnéticas e distorções harmônicas provocadas por LFCs, devido à sua característica de carga não linear e, a assuntos ligados às preocupações e estudos de EMC são listados na Tabela I.

Outras pesquisas relacionadas ao tema e que devem ser destacadas são: avaliação de EMC em LFCs efetuada por [9] em que se identificam problemas similares aos destacados neste estudo, variações do comportamento de partes das LFCs e a EMC gerada [10], impacto harmônico da LFCs nas redes de distribuição [11].

Atualmente, a tecnologia de iluminação que utiliza um diodo emissor de luz (LED) tem ganhado cada vez mais espaço no mercado, devido ao seu melhor desempenho no que diz respeito à eficiência energética. No entanto, ainda é ampla a utilização de LFCs no Brasil, organizações como a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux) e a Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação (Abilume) estimam em cerca de 250 milhões o consumo anual dessas lâmpadas [12-13].

O objetivo deste artigo é realizar uma verificação das perturbações eletromagnéticas emitidas por LFCs do mercado brasileiro, e avaliar se estão em conformidade com os limites especificados em normas internacionais. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense (LABLUX) que realiza pesquisas ligadas ao tema como: análise dos distúrbios gerados por lâmpadas de uso doméstico disponíveis no mercado brasileiro [14], solução

R.S. Bittencourt, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brazil, rsbittencourt@id.uff.br.

K.R. Cardoso, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brazil, keylarezendec@gmail.com.

A.P. Fragoso, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brazil, adrianofragoso@gmail.com.

J.O. Silva, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brazil, joacir.uff@gmail.com.

M.Z. Fortes, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brazil, mzf@vm.uff.br.

para mitigação de harmônicos quando da implantação massiva de LFCs [15], avaliação de LFCs dentro dos limites de tensão de alimentação permitidos no PRODIST – Módulo 8 [16] e sistemas de Iluminação Pública com tecnologia LED [17], entre outros.

TABELA I

SÍNTESE DE ESTUDOS RECENTES ABORDANDO SOBRE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM LFCs E SOBRE EMC

Estudo	Abordagem	Referência
<i>Measurement and simulation of power quality disturbances between 2–150 kHz from compact fluorescent lamps</i>	Perturbações eletromagnéticas conduzidas em LFCs	[18]
<i>Development of a Measurement Apparatus for Conducted Electromagnetic Emissions</i>	Uso massivo de cargas não lineares e interferências eletromagnéticas	[19]
<i>Energy harvesting from electromagnetic radiation emissions by compact fluorescent lamp</i>	Radiação eletromagnética gerada por LFCs	[20]
<i>Simulation of supraharmonics: A Compact Fluorescent Lamp (CFL) in single operation</i>	Uso massivo de cargas não lineares e LFCs e harmônicas de alta frequência	[21]
<i>Exposure to electric and magnetic fields at intermediate frequencies of household appliances</i>	Rádofrequências de LFCs e limites de exposição humana	[22]
<i>Performance analysis of fluorescent and led lamp system</i>	Distorções harmônicas provocadas por LFCs devido à sua característica de carga não linear	[23]
<i>The study of the power quality emission characteristics of different types of lamps and their impacts on distribution systems</i>	Distorções harmônicas provocadas por LFCs	[24]

II. LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Na Fig. 1 é apresentada uma ilustração de uma LFC, que corresponde a uma lâmpada de descarga a baixa pressão que pode ser separada em dois componentes principais: o bulbo de vidro e o reator eletrônico integrado à sua base. O bulbo de vidro possui, em sua superfície interna, uma camada de material fluorescente e, em seu interior, vapor de mercúrio ou argônio. Seu funcionamento consiste na passagem de corrente elétrica, proveniente do reator, através do gás, mistura de gases ou vapores presentes no interior do tubo de vidro, fazendo com que ele emita luz ultravioleta. A luz ultravioleta, então, excita a camada fluorescente, emitindo luz visível [25-26].



Fig. 1. Lâmpada fluorescente compacta com reator integrado. (1) Bulbo de Vidro e (2) Base com reator integrado.

O reator eletrônico fornece corrente e tensão a altas frequências, o que proporciona uma maior eficiência luminosa, mas que também pode provocar ruído eletromagnético conduzido ou radiado [5].

III. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Um sistema eletrônico que é capaz de funcionar compativelmente com outros sistemas eletrônicos e não produzir ou ser susceptível à interferência é dito eletromagneticamente compatível com o ambiente no qual está inserido [27].

A compatibilidade eletromagnética leva em consideração a geração, transmissão e recepção de energia eletromagnética. Uma fonte de energia eletromagnética produz a emissão, o meio a transmite e o receptor a recebe. A interferência eletromagnética (IEM) ocorre quando uma energia eletromagnética, recebida por determinado sistema, causa algum comportamento indesejado no mesmo [27].

Uma pesquisa recente focando a IEM em redes de comunicação esta apresentada em [28].

A IEM pode ser classificada em interferência radiada e interferência conduzida, dependendo do meio de propagação. A interferência radiada é aquela que se propaga através do campo eletromagnético, enquanto que a interferência conduzida é propagada por cabos ou interligações físicas entre os sistemas. [6]

Para sistemas de iluminação, a norma que regulamenta os limites de interferência eletromagnética permitida e que foi utilizada como referência para verificação da compatibilidade das lâmpadas sob ensaio neste artigo é a ABNT NBR IEC/CISPR 15: 2014 [4].

Os limites exigidos por [4] são apresentados nas Tabelas II, III e IV, sendo que, na Tabela II constam os limites aplicáveis às tensões de perturbação nos terminais de alimentação; na Tabela III, os limites aplicáveis a perturbações radiadas na faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz e, na Tabela IV, os limites aplicáveis a perturbações radiadas na faixa de 30 MHz a 300 MHz, quando utilizado o método de medição pela *Coupling Decoupling Network* (CDN) É importante ressaltar que, nas frequências de transição, os limites inferiores são aplicados.

TABELA II

LIMITES DAS TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO

Faixa de frequência	Limites dB (μ V)	
	Quase Pico	Média
9 kHz a 50 kHz	110	-
50 kHz a 150 kHz	90 a 80	-
150 kHz a 0,5 MHz	66 a 56	56 a 46
0,5 MHz a 5 MHz	56	46
5 MHz a 30 MHz	60	50

IV. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Foram realizados ensaios para verificação de emissão conduzida, através da LISN (*Line Impedance Stabilization Network*), e emissão radiada por meio de dois métodos de medição para as faixas de frequência de 9 kHz a 30 MHz e de 30 MHz a 300 MHz, respectivamente. São eles: o método de

medição com antena loop e o método independente de medição de perturbações radiadas pelo uso da CDN. Tais métodos são especificados para medições de rádio perturbações conforme ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014 [4].

TABELA III

LIMITES DE PERTURBAÇÃO RADIADA NAS FREQUÊNCIAS DE 9 KHZ A 30 MHZ

Faixa de frequência	Limites para antena loop de 2 m dB (μ A)
9 kHz a 70 kHz	88
70 kHz a 150 kHz	88 a 58
150 kHz a 3 MHz	58 a 22
3 MHz a 30 MHz	22

TABELA IV

LIMITES DE TENSÃO NOS TERMINAIS EM MODO COMUM – MÉTODO CDN

Faixa de frequência (MHz)	Limites de quase pico dB (μ V)
30 a 100	64 a 54
100 a 230	54
230 a 300	61

A LISN, utilizada nas medições de perturbações eletromagnéticas conduzidas, tem dois objetivos: primeiramente, evitar que ruídos externos ao ensaio (presentes na rede de energia comum, em corrente alternada) influenciem nas medições; o segundo objetivo é garantir impedância constante nos terminais de fase e neutro, conforme é abordado em [27]. Os detalhes das configurações de medições de perturbações conduzidas pelos terminais de alimentação são especificados pela *IEC/CISPR 16-Part 2-1:2014* [29].

O método que utiliza a antena loop para medição de interferências radiadas na faixa de 9 kHz a 30 MHz, constitui-se de uma forma de medição da componente magnética da IEM radiada, onde a rádio perturbação induz correntes nos loops da antena (demonstrada na Fig. 3), que podem ser medidas através de sensores conectados a estes. Os detalhes desse método de medição são especificados pela *IEC/CISPR 16-Part 1-4: 2010* [30].

O método da CDN é uma forma de medição da componente de campo elétrico das rádio perturbações radiadas na faixa de 30 MHz a 300 MHz indicada como um método alternativo de medição pela ABNT NBR IEC/CISPR 15: 2014 [4], cujo detalhamento das configurações de ensaios são especificados pela norma *IEC/CISPR 16-Part 1-2: 2014* [31].

Foram utilizadas 10 amostras, identificadas na Tabela V.

TABELA V
AMOSTRAS ENSAIADAS

Número da Amostra	Potência (W)	Tensão (V)
01	45	127
02	45	220
03	30	127
04	30	220
05	20	127
06	20	220
07	15	127
08	15	220
09	9	127
10	9	220

Conforme definido em [4], para tais amostras foram avaliadas as tensões de perturbação nos terminais de alimentação, perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de 9 kHz a 30 MHz e, perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de 30 MHz a 300 MHz, conforme é apresentado nas subseções A, B e C.

A. Tensões de Perturbação

As medições dos limites das tensões de perturbação nos terminais de alimentação foram realizadas utilizando LISN e uma caixa metálica cônica, conforme Fig. 2, para as frequências de 9 kHz a 30 MHz com o objetivo de verificar se os níveis de emissividade conduzida estão dentro dos limites especificados na Tabela II.



Fig. 2. Esquema de medição das tensões de perturbação nos terminais de alimentação utilizando a LISN.

B. Perturbações Eletromagnéticas Radiadas na Faixa de 9 kHz a 30 MHz

Foram realizadas as medições dos limites de quase pico da componente magnética da intensidade de campo da perturbação radiada nas frequências de 9 kHz a 30 MHz como corrente, utilizando uma antena loop de 2 m ao redor da amostra sob ensaio, conforme Fig. 3. Os limites aplicáveis a este ensaio são especificados na Tabela III.



Fig. 3. Esquema de medição das perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de 9 kHz a 30 MHz utilizando uma Antena Loop.

C. Perturbações Eletromagnéticas Radiadas na Faixa de 30 MHz a 300 MHz

As medições dos limites de quase pico da componente elétrica da intensidade de campo da perturbação radiada na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz foram medidos pelo método independente de medição de perturbações radiadas, utilizando CDN, conforme Fig. 4. Os limites aplicáveis a este ensaio são os apresentados na Tabela IV.



Fig. 4. Esquema de medição das perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz utilizando o CDN.

V. RESULTADOS

Os resultados obtidos para os ensaios de compatibilidade eletromagnética, descritos separadamente na seção anterior, foram analisados de acordo com as tabelas de limites de perturbações apresentadas na seção III. Tais resultados são apresentados nas subseções A, B e C a seguir, para perturbações eletromagnéticas conduzidas e radiadas, respectivamente.

A. Tensões de Perturbação

Inicialmente, para este ensaio foi utilizado o detector de pico para medir as tensões de perturbação nos terminais de alimentação na faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz. A partir dos valores de pico obtidos, foram selecionadas as frequências nas quais resultaram as maiores tensões de perturbação para realizar as medições com detector de quase pico e média para avaliação de acordo com os limites especificados em norma [4]. Esse procedimento foi realizado para cada uma das dez amostras apresentadas na Tabela V.

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados utilizando a LISN, sendo a frequência destacada a que resultou uma maior tensão de perturbação para cada uma das amostras de 01 a 10.

Na Fig. 5 são apresentados os resultados das medições de tensões de perturbação nos terminais de alimentação utilizando o detector de quase pico, e na Tabela VI são apresentados os respectivos valores de quase pico medidos para cada amostra, bem como as frequências de ocorrência de cada valor e o limite especificado em norma.

TABELA VI
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO PELO DETECTOR DE QUASE PICO

Amostra	Frequência (MHz)	Quase pico dB (µV)	Limite dB (µV)	Margem dB (µV)
01	0,3567	96	59	-37
02	0,1506	109	66	-43
03	0,1789	103	65	-38
04	0,2316	107	62	-45
05	0,2698	68	61	-7
06	0,1546	83	66	-17
07	0,1562	75	66	-9
08	0,2774	46	61	15
09	0,1757	77	65	-12
10	0,1754	87	65	-22

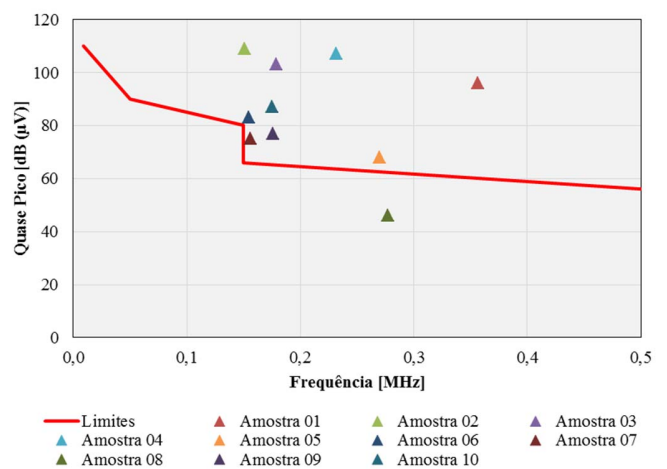


Fig. 5. Resultados das medições das tensões de perturbação nos terminais de alimentação e limites especificados, com detector de quase pico.

Na Fig. 6 podem ser observados os valores máximos das tensões de perturbação nos terminais de alimentação utilizando o detector de média, e na Tabela VII são apresentados os respectivos valores medidos para cada uma das amostras, suas frequências de ocorrência e os respectivos limites.

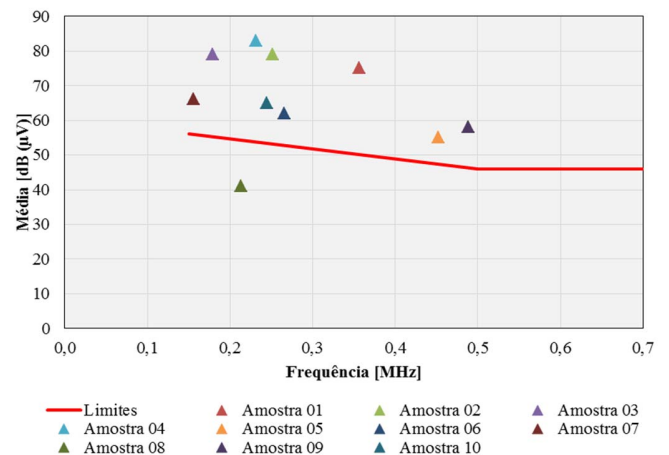


Fig. 6. Resultados das medições das tensões de perturbação nos terminais de alimentação e limites especificados, com detector de média.

TABELA VII
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS
DE ALIMENTAÇÃO PELO DETECTOR DE MÉDIA

Amostra	Frequência (MHz)	Média dB (μV)	Limite dB (μV)	Margem dB (μV)
01	0,3567	75	49	-26
02	0,252	79	52	-27
03	0,1789	79	55	-24
04	0,2316	83	52	-31
05	0,4523	55	47	-8
06	0,2654	62	51	-11
07	0,1562	66	56	-10
08	0,2134	41	53	12
09	0,4882	58	46	-12
10	0,2448	65	52	-13

Conforme pode ser observado pela análise das Figs. 5 e 6, e também pelos valores de margem (diferença entre valor limite permitido em norma e o valor medido) apresentados na Tabela VI e na Tabela VII, das dez amostras de LFCs analisadas neste estudo, apenas uma (Amostra 08) apresentou perturbações de tensão nos terminais de alimentação dentro dos limites (linha em vermelho) estabelecidos em [4], tanto para o detector de quase pico quanto para o detector de média, (padrões estabelecidos em norma [4] para as medições de EMC).

Uma vez que não existe certificação compulsória de EMC para LFCs no Brasil, o atendimento desse requisito não constitui atualmente uma preocupação de fabricantes e importadores dessa tecnologia de iluminação no país, que podem optar por componentes e produtos mais baratos e de menor qualidade que, por sua vez, não apresentam eficácia na filtragem de IEM, mas tornam menores os custos de fabricação e importação.

Tais resultados precários de IEM não são encontrados para a tecnologia de iluminação LED, dado que isso resultaria na não autorização de sua comercialização no Brasil pelos órgãos reguladores, visto que EMC é um requisito de atendimento obrigatório para lâmpadas LED.

B. Perturbações Eletromagnéticas Radiadas na Faixa de 9 kHz a 30 MHz

Neste item apresentam-se os resultados das medições das perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de 9 kHz a 30 MHz, realizadas conforme descrito no item IV, através de uma antena loop.

Na Fig. 7 é apresentada a componente magnética da intensidade de campo da perturbação radiada de maior intensidade, para cada uma das dez amostras ensaiadas, e na Tabela VIII é apresentado cada um desses valores para sua respectiva frequência de ocorrência e o limite especificado em norma [4].

Conforme pode ser observado pela análise da Fig. 7 e dos valores de margem apresentados na Tabela VIII, todas as amostras de LFCs analisadas apresentam valores de perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz dentro dos limites especificados em [4],

mostrando bom desempenho nesse requisito de EMC.

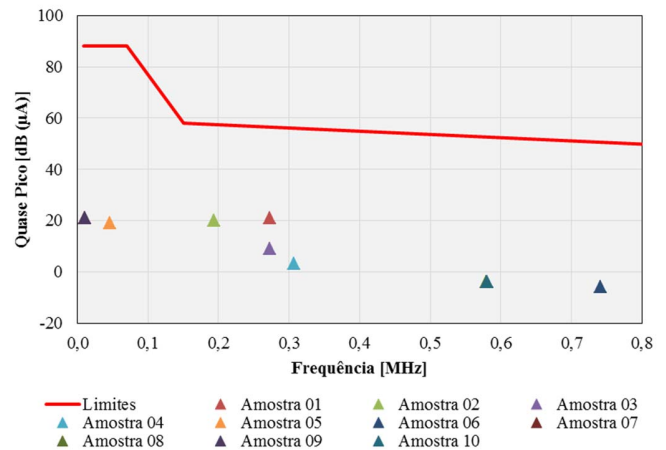


Fig. 7. Resultados das medições de perturbações eletromagnéticas radiadas, na faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz.

TABELA VIII
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PERTURBAÇÃO RADIADA NAS FREQUÊNCIAS
DE 9 KHZ A 30 MHZ

Amostra	Frequência (MHz)	Quase pico dB (μA)	Limite dB (μA)	Margem dB (μA)
01	0,2728	21	51	30
02	0,1939	20	55	35
03	0,2732	09	51	42
04	0,3073	03	49	46
05	0,04586	19	88	69
06	0,7408	-06	39	45
07	0,01008	21	88	67
08	0,5792	-04	42	46
09	0,0104	21	88	67
10	0,5811	-04	42	46

C. Perturbações Eletromagnéticas Radiadas na Faixa de 30 MHz a 300 MHz

Na Fig. 8 estão indicados os maiores valores medidos da componente elétrica da intensidade de campo da perturbação radiada na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz, medido para cada uma das dez amostras ensaiadas, conforme especificado no item IV, através do método com CDN. A Tabela IX contém esses valores para cada uma das suas respectivas frequências de ocorrência e os limites especificados em norma [4].

De forma semelhante ao observado para as perturbações eletromagnéticas radiadas na faixa de 9 kHz a 30 MHz, as perturbações nas frequências de 30 a 300 MHz também se apresentaram dentro dos limites estabelecidos em [4], conforme pode ser verificado na Fig. 8, mostrando também um bom desempenho para esse requisito de EMC.

Na Tabela X apresenta-se o parecer final dos ensaios para cada uma das amostras ensaiadas, considerando os três requisitos de EMC analisados neste estudo, seguindo os limites especificados.

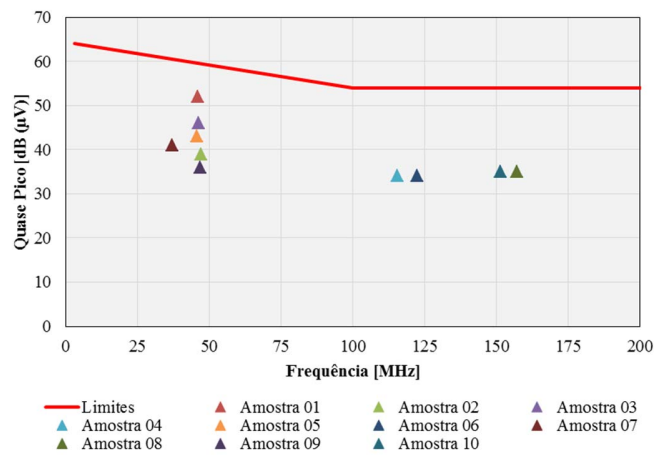


Fig. 8. Resultados das medições de perturbações eletromagnéticas radiadas, na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz.

TABELA IX
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PERTURBAÇÃO RADIADA NAS FREQUÊNCIAS DE 30 MHz A 300 MHz

Amostra	Frequência (MHz)	Quase pico dB (μ V)	Limite dB (μ V)	Margem dB (μ V)
01	46,06	52	60	8
02	47,01	39	60	21
03	46,16	46	60	14
04	115,32	34	54	20
05	45,56	43	61	18
06	122,45	34	54	20
07	37,07	41	62	21
08	157	35	54	19
09	46,79	36	60	24
10	151,46	35	54	19

TABELA X
RESULTADOS DOS ENSAIOS

Amostra	Parecer
01	Reprovada
02	Reprovada
03	Reprovada
04	Reprovada
05	Reprovada
06	Reprovada
07	Reprovada
08	Aprovada
09	Reprovada
10	Reprovada

VI. CONCLUSÕES

Este estudo teve por objetivo realizar uma verificação de compatibilidade eletromagnética de LFCs comercializadas no mercado brasileiro, visto que a certificação para EMC não é obrigatória no país. Para isso foram realizados ensaios em dez amostras dessa tecnologia de iluminação, de diferentes níveis de potência e tensão, considerando a aplicação de limites

especificados para a tecnologia de iluminação LED no Brasil e aplicados também a LFCs internacionalmente [4].

Conforme pode ser observado pela verificação dos resultados, as amostras de LFCs analisadas neste estudo não apresentaram problemas quanto à emissividade radiada, tanto para a análise da componente magnética (seção V - B), quanto para a análise da componente elétrica (seção V - C) da intensidade de campo da perturbação radiada. Os resultados dos ensaios de tensões de perturbação nos terminais de alimentação, no entanto, mostram que os níveis de emissividade de nove das dez amostras analisadas estão acima dos valores limites especificados em norma.

Em síntese, atendendo ao objetivo deste trabalho, observa-se pelo parecer apresentado na Tabela X que, se tal tecnologia de iluminação fosse avaliada para EMC no Brasil, sem alteração no projeto das amostras analisadas, apenas uma, das dez avaliadas, estaria de fato apta a ser comercializada no país. Todas as demais amostras apresentaram níveis de IEM demasiadamente elevados e precisariam passar por uma revisão de seus projetos, sendo necessário o investimento em filtro para IEM, a fim de se obter certificação para autorização de comercialização.

De posse dos resultados obtidos, conclui-se que seria de grande importância que os níveis de perturbações eletromagnéticas emitidos pelas LFCs no Brasil fossem avaliados a rigor pelos órgãos certificadores, uma vez que essas lâmpadas representam uma parcela considerável no mercado brasileiro de iluminação e elevados níveis de perturbações eletromagnéticas podem comprometer um bom funcionamento de equipamentos eletrônicos conectados à rede.

REFERÊNCIAS

- [1] M.Z. Fortes, A.P. Fragoso, A.M.E. Pereira and G.M. Tavares, "Análise sobre Qualidade de LFCs disponíveis no Mercado Brasileiro", SODEBRAS, vol.8, pp.63-66, 2013.
- [2] Ministério de Minas e Energia – MME, "Portaria Interministerial nº 1008, de 31 de dezembro de 2010", 2010. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Portaria_Interministerial_nx_1008_2010.pdf/e6cab7cb-f58d-4aa9-9ce9-8a6028718759. Acesso em: 10 de dezembro de 2016.
- [3] Ministério de Minas e Energia – MME, "Portaria Interministerial nº 1007, de 31 de dezembro de 2010", 2010. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interministerial+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1. Acesso em: 10 de dezembro de 2016.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, "Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares – ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014 Versão Corrigida 2015", 56 p., 2015.
- [5] F. Giezendanner, J. Biela, J.W. Kolar and S. Zudrell-Koch, "EMI Noise Prediction for Electronic Ballasts", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.25, pp.2133-2141, 2010. doi: 10.1109/TPEL.2010.2046424.
- [6] E.F. Magnus, "Desenvolvimento de uma Ferramenta para Ensaio de EMI Condutida de Baixo Custo", Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 101 p., 2001.
- [7] T. Letertre, A. Azoulay, A. Destrez, F. Gaudaire and C. Martinsons, "Characterization of compact fluorescent lights RF emissions in the perspective of human exposure", Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Compatibility Conference – EMC'09, paper 22S3-3, 2009.

- [8] Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, “Portaria N° 489/2010”, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001644.pdf>. Acesso em: 5 de outubro de 2016.
- [9] G. Buta, E. Coca, A.Graur and V. Popa, “Performance Evaluations and Comparative Electromagnetic Compatibility Measurements on Compact Fluorescent Lamps”, Proceedings of 10th International Conference on Development and Application Systems, pp.289-293, 2010.
- [10] G. Schmidt and I. Berta, “Radiated Radiofrequency Emission from the Plasma of Compact Fluorescent Lamp”, International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, vol.5, pp.84-92, 2011.
- [11] J. Molina and L. Sainz, “Model of Electronic Ballast Compact Fluorescent Lamps”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.29, pp.1363-1371, 2014. doi: 10.1109/TPWRD.2013.2284095.
- [12] Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação – Abilux, “10 Formas de Reduzir o Consumo de Energia Elétrica”, 2015. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/2/10-formas-de-reduzir-o-consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 16 de maio de 2019.
- [13] Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação – Abilume, “Novas tecnologias na produção do LED, mais qualidade e menos custo”, 2017. Disponível em: <http://www.abilumi.org.br/novas-tecnologias-na-producao-do-led-mais-qualidade-e-menos-custos/>. Acesso em: 16 de maio de 2019.
- [14] A.M.E. Pereira, V.A. Teixeira, M.Z. Fortes, G.M. Tavares and V.H. Ferreira, “Power Quality Analysis of Domestic Lamps available in the Brazilian Market”, WSEAS Transactions on Circuits and Systems, vol.14, pp.388-398, 2015.
- [15] J.E.V. Fassarella, M.Z. Fortes, A.P. Fragoso and G.M.Tavares, “Analysis and Suggested Solution of Power Quality Problems in Lighting Laboratory”, IEEE Latin America Transactions, vol.12, pp.1019-1026, 2014. doi: 10.1109/TLA.2014.6893995.
- [16] M.Z. Fortes, A.M.E. Pereira, A.P. Fragoso and G.M. Tavares, “Avaliação de LFC’s nos limites de tensão do PRODIST”, Engvista, vol.16, pp.283-291, 2014.
- [17] A.M.E. Pereira, V.A. Teixeira, M.Z.Fortes, A.P. Fragoso, G.M. Tavares, “Some considerations about LED Technology in Public Lighting”, 2015 Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies – CHILECON, vol.1, pp.561-565, 2015. doi: 10.1109/Chilecon.2015.7400433.
- [18] D. Agudelo-Martinez e A. Pavas, “Measurement and simulation of power quality disturbances between 2–150 kHz from compact fluorescent lamps”, in *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, Ljubljana, 2018, p. 1–6.
- [19] B. Pohlot Ricobom, M. Jose do Couto Bonfim, J. Americo Vilela Junior, e L. Vicente Montanheir, “Development of a Measurement Apparatus for Conducted Electromagnetic Emissions”, *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, n° 8, p. 2122–2130, ago. 2018.
- [20] M. Z. Chaari, M. Lahiani, e H. Ghariani, “Energy harvesting from electromagnetic radiation emissions by compact fluorescent lamp”, in *2017 Ninth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)*, Doha, Qatar, 2017, p. 272–275.
- [21] D. Agudelo-Martinez e A. Pavas, “Simulation of supraharmonics: A Compact Fluorescent Lamp (CFL) in single operation”, in *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)*, Bogota, Colombia, 2017, p. 1–6.
- [22] S. Aerts *et al.*, “Exposure to electric and magnetic fields at intermediate frequencies of household appliances”, in *2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium - Italy (ACES)*, Florence, 2017, p. 1–2.
- [23] D. De, S. Sahana, e B. Roy, “Performance analysis of fluorescent and led lamp system”, in *2016 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)*, Kolkata, India, 2016, p. 1–6.
- [24] S. Lin, N. Huang, e M. Zhu, “The study of the power quality emission characteristics of different types of lamps and their impacts on distribution systems”, in *2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Hefei, China, 2016, p. 613–618.
- [25] V.A. Moreira, Iluminação Elétrica, 1a ed., São Paulo: Blucher, 189 p., 1999.
- [26] C.S. Moraes Jr., C. Castilho, G. Moretto and H.C.Silva, “Custo Benefício: Lâmpadas LED x Fluorescente x Incandescente”, *Revista Techno@ng*, vol.3, p.1-8, 2011.
- [27] C.R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, 2a ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 983 p., 2006.
- [28] L.M.Silva, A.C.T.Carvalho, J.F.Araujo, M.Z.Fortes, L.B.Oliveira and J.O.Silva, “Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies”, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 2018. doi: 10.1080/09205071.2018.1537135.
- [29] International Electrotechnical Commission (IEC), “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - CISPR 16 Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity - Conducted disturbance measurements”. IEC, 2014.
- [30] International Electrotechnical Commission (IEC), “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - CISPR 16 Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus Antennas and test sites for radiated disturbance measurements”. IEC, 2010.
- [31] International Electrotechnical Commission (IEC), “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - CISPR 16 Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Coupling devices for conducted disturbance measurements”. IEC, 2014.



Renan de Souza Bittencourt é graduado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal Fluminense (UFF). Possui experiência em Engenharia Elétrica e na área de goniofotometria do Laboratório de Luminotécnica da UFF (LabLux).



Keyla Rezende Cardoso recebeu o título de Engenheira Eletricista pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2017. Atualmente é aluna do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET) da UFF, na área de Modelagem e Análise de Sistemas de Energia Elétrica. Atua também como estagiária no Laboratório de Luminotécnica da UFF (LabLux), na área de Compatibilidade Eletromagnética (EMC).



Adriano Pinheiros Fragoso é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2008 e Mestre em Metrologia e Qualidade pelo Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO) em 2015. Possui experiência na Luminotécnica e Qualidade de energia. Atualmente é gerente técnico do Laboratório de Luminotécnica (Lablux) na Universidade Federal Fluminense.



Joacir de Oliveira Silva recebeu os títulos de Engenheiro de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2008 e Mestre em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2012. Possui experiência na área de redes sem fio em malha, energia solar e Smart

Grids. Atualmente é metrologista na área de Compatibilidade Eletromagnética do Laboratório de Luminotécnica (Lablux) na Universidade Federal Fluminense.



Márcio Zamboti Fortes (M'2010 SM'2017) recebeu o título de Mestre em Engenharia da energia pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2000 e de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) em 2007. Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense (UFF)

e desenvolve estudos nas áreas de: conservação e qualidade de energia, manutenção industrial, máquinas elétricas e acionamentos.