

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRONICA INDUSTRIAL**

CÉSAR AUGUSTO DOS SANTOS

**ESTUDO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA
EM LÂMPADAS DE TECNOLOGIA LED**

FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2017.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRONICA INDUSTRIAL**

CÉSAR AUGUSTO DOS SANTOS

**ESTUDO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA
EM LÂMPADAS DE TECNOLOGIA LED**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Industrial.

Professor Orientador: Luís Carlos
Martinhago Schlichting, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2017.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, César Augusto dos
Estudo de Interferência Eletromagnética Conduzida em Lâmpadas de Tecnologia LED / César Augusto dos Santos ; orientação de Luís Carlos Martinhago Schlichting.
- Florianópolis, SC, 2017.
113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST em Sistemas Eletrônicos. Departamento Acadêmico de Eletrônica.
Inclui Referências.

1. Compatibilidade Eletromagnética. 2. Interferência Eletromagnética. 3. Lâmpadas LED. I. Schlichting, Luís Carlos Martinhago . II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrônica. III. Título.

**ESTUDO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA EM
LÂMPADAS DE TECNOLOGIA LED**

CÉSAR AUGUSTO DOS SANTOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 14 de fevereiro de 2017.

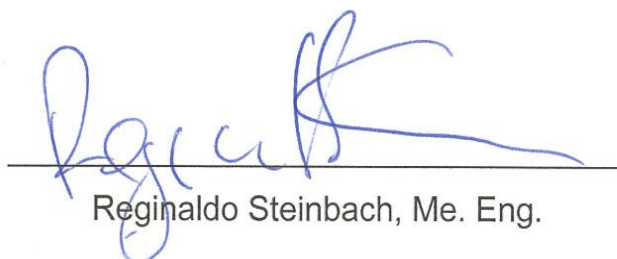
Banca Examinadora:



Luis Carlos Martinhago Schlichting, Dr. Eng.



Muriel Bittencourt de Liz, Dr. Eng.



Reginaldo Steinbach, Me. Eng.

Especialmente ao Meu Pai e Minha Mãe,
Pelo imenso apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Os principais agradecimentos são aos meus Pais, Wilmar e Eliane, pelo incentivo e apoio infinitos.

A minha família, também por seus incentivos.

Ao professor Luis Carlos Martinhago Schlichting por sua competência, pelo caminho das pedras, pela orientação neste trabalho, por sua paciência, não somente nesta fase como também em todo decorrer do curso.

Ao professor Reginaldo Steinbach pela oportunidade em uma bolsa de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), onde sou muito grato, e pela ajuda no restante do curso.

Aos professores Muriel Bittencourt de Liz e Reginaldo Steinbach, por aceitarem o convite de fazer parte da banca examinadora.

Ao professor Marco Pessoa pela ajuda na correção deste trabalho.

Ao restante dos professores com quem tive o imenso prazer de ter aula, desde o início até o fim desta caminhada acadêmica.

Aos servidores do Departamento de Eletrônica do IFSC.

Aos meus amigos de graduação com quem compartilhei e adquiri a principal virtude da vida, o conhecimento.

Enfim, a todos que me incentivaram... Muito Obrigado.

RESUMO

Este documento descreve o estudo comparativo realizado em lâmpadas led de quatro fabricantes e três faixas de potência diferentes comercializadas. O objetivo deste trabalho é realizar testes de conformidade nas lâmpadas e analisar seu desempenho referente à EMC. O produto é novo no mercado, mas pesquisadores descobriram que os circuitos integrados chaveadores são susceptíveis e fonte de ruído eletromagnético. As pesquisas feitas na literatura tiveram como base as teorias de compatibilidade eletromagnética. Foi realizado um levantamento no mercado consumidor. Através de pesquisas feitas nas normas, observou – se os limites de perturbação e foi montado um setup de testes. Nesta etapa foram elaborados dois estudos comparativos um entre os fabricantes e outro entre as faixas de potência. Com os resultados percebe que o produto apresenta níveis de interferência eletromagnética acima dos limites estabelecidos pelos órgãos regulamentadores.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética. Lâmpadas Led. Interferência Eletromagnética. Conversores Estáticos

ABSTRACT

This document describes the comparative study on led lamps from four manufacturers and three different power ranges commercialized. The objective of this work is to perform conformity tests on the lamps and analyze their performance regarding EMC. The product is new on the market, but researchers have discovered that integrated circuit switchers are susceptible and source electromagnetic noise. Research done in literature was based on theories of compatibility electromagnetic. A survey was carried out in the consumer market. Through research done in the norms, the disturbance limits were observed and a test setup was set up. In the stage two comparative studies were carried out, on between the manufacturers and another between the power ranges. With the results was realized that the product levels o electromagnetic interference above the limits established by regulatory agencies.

Key-words: Electromagnetic Compatibility. Led Lamps. Electromagnetic Interference. Static Converters

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ELEMENTOS DA EMC	20
FIGURA 2 – EMISSÃO E SUSCEPTIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	20
FIGURA 3 – INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA POR CONDUÇÃO	21
FIGURA 4 – RADIAÇÃO: 1)ENTRE SISTEMAS; 2) ENTRE SUBSISTEMAS	22
FIGURA 5 – EFEITO DA RAZÃO CÍCLICA NO ESPECTRO HARMONICO GERADO PELA COMUTAÇÃO	23
FIGURA 6 – MODO COMUM (IC) MODO DIFERENCIAL (ID).....	24
FIGURA 7 – (A) ENTRE O DISSIPADOR E O SEMICONDUTOR (B) ENTRE OS ENROLAMENTOS DO TRANSFORMADOR	25
FIGURA 8 – ACOPLAMENTO INDUTIVO.....	26
FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DE UM DIODO REAL	26
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DE UM MOSFET REAL	27
FIGURA 11 – MENU DE MEDIDA	29
FIGURA 12 – R&S HSM-X SPECTRUM ANALYSER	30
FIGURA 13 – R&S ENV216 TWO LINE V-NETWORK	30
FIGURA 14 – SETUP PADRÃO PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO CONDUZIDA	31
FIGURA 15 – DISPOSITIVO LED.....	33
FIGURA 16 – LÂMPADA DE LED.....	34
FIGURA 17 – DIAGRAMA ELÉTRICO CONVERSOR BUCK.....	35
FIGURA 18 – PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.....	36
FIGURA 19 – DIAGRAMA ELÉTRICO CONVERSOR BOOST	37
FIGURA 20 – PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.....	37
FIGURA 21 – DIAGRAMA ELÉTRICO CONVERSOR BUCK BOOST.....	38
FIGURA 22 – PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.....	39
FIGURA 23 – CONVERSOR FLYBACK.....	40
FIGURA 24 – PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.....	40
FIGURA 25 – SETUP MONTADO PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES	50
FIGURA 26 – ENSAIO DO RUÍDO DE FUNDO	51
FIGURA 27 – DIAGRAMA ELÉTRICO DA LÂMPADA ESTUDADA	52
FIGURA 28 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO CI DE CONTROLE.....	53
FIGURA 29 – CONFIGURAÇÃO DOS LEDS DA LÂMPADA.....	54
FIGURA 30 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 1).....	55
FIGURA 31 – VISTA SUPERIOR DO CIRCUITO.....	56
FIGURA 32 – VISTA INFERIOR DO CIRCUITO	56

FIGURA 33 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 1	57
FIGURA 34 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 1).....	58
FIGURA 35 – VISTA SUPERIOR DA PLACA	59
FIGURA 36 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	59
FIGURA 37 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W FABRICANTE 1	60
FIGURA 38 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 1).....	61
FIGURA 39 – VISTA SUPERIOR DO CIRCUITO.....	62
FIGURA 40 – VISTA INFERIOR DO CIRCUITO	62
FIGURA 41 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W FABRICANTE 1	63
FIGURA 42 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS DE 6W, 9W E 12W.....	64
FIGURA 43 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 2).....	66
FIGURA 44 – VISTA SUPERIOR DA PCI	67
FIGURA 45 – VISTA INFERIOR DA PCI.....	67
FIGURA 46 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 2	68
FIGURA 47 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 2).....	69
FIGURA 48 – VISTA SUPERIOR DA PLACA.....	69
FIGURA 49 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	70
FIGURA 50 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W FABRICANTE 2	70
FIGURA 51 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 2).....	71
FIGURA 52 – VISTA SUPERIOR DO CIRCUITO.....	72
FIGURA 53 – VISTA INFERIOR DO CIRCUITO	72
FIGURA 54 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W FABRICANTE 2	73
FIGURA 55 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 6W, 9W E 12W.....	74
FIGURA 56 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 3).....	76
FIGURA 57 – VISTA SUPERIOR DA PLACA	77
FIGURA 58 – VISTA INFERIOR DA PLACA	77
FIGURA 59 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 3	78
FIGURA 60 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 3).....	79
FIGURA 61 – VISTA SUPERIOR DA PLACA	79
FIGURA 62 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	80
FIGURA 63 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W FABRICANTE 3	80
FIGURA 64 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 3).....	81
FIGURA 65 – VISTA SUPERIOR DA PLACA.....	82
FIGURA 66 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	82
FIGURA 67 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W FABRICANTE 3	83

FIGURA 68 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 6W, 9W E 12W.....	84
FIGURA 69 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 4).....	86
FIGURA 70 – VISTA SUPERIOR DA PLACA.....	87
FIGURA 71 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	87
FIGURA 72 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 4.....	88
FIGURA 73 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 4).....	89
FIGURA 74 – VISTA SUPERIOR DA PLACA.....	90
FIGURA 75 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	90
FIGURA 76 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W FABRICANTE 4.....	91
FIGURA 77 – CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 4).....	92
FIGURA 78 – VISTA SUPERIOR DA PLACA.....	93
FIGURA 79 – VISTA INFERIOR DA PLACA.....	93
FIGURA 80 – TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W FABRICANTE 4.....	94
FIGURA 81 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 6W, 9W E 12W.....	95
FIGURA 82 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 6W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.....	97
FIGURA 83 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 9W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.....	100
FIGURA 84 – TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 12W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.....	103

LISTA DE TABELAS

QUADRO 1 – DOCUMENTAÇÃO COMPLEMENTAR PARA ELABORAÇÃO DO RTQ	45
QUADRO 2 – LIMITES DE TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO.....	47
QUADRO 3 – LIMITES DE TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE CARGA.....	48
QUADRO 4 – LIMITES DE TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE CONTROLE.....	48
QUADRO 5 – LISTA DE FABRICANTES E POTÊNCIAS DAS LÂMPADAS.....	51
QUADRO 6 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA	63
QUADRO 7 – COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE	65
QUADRO 8 – NÍVEIS DE COMPARAÇÃO FABRICANTE 1	65
QUADRO 9 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA	73
QUADRO 10 – COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE	75
QUADRO 11 – NÍVEIS DE COMPARAÇÃO FABRICANTE 2	75
QUADRO 12 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA	83
QUADRO 13 – COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE	85
QUADRO 14 – NÍVEIS DE COMPARAÇÃO FABRICANTE 3	85
QUADRO 15 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA	94
QUADRO 16 – COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE	96
QUADRO 17 – NÍVEIS DE COMPARAÇÃO FABRICANTE 4	96
QUADRO 18 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.....	98
QUADRO 19 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE	99
QUADRO 20 – NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS 6W	99
QUADRO 21 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.....	101
QUADRO 22 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE	102
QUADRO 23 – NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS DE 9W	102
QUADRO 24 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.....	104
QUADRO 25 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE	105
QUADRO 26 – NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS 12W	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Corrente Alternada

ANATEL – Associação Nacional de Telecomunicações

CE – Conformité Européene

CFL – Lâmpada Fluorescente Compacta

CISPR – Comité Internacional Special Pertubations Radioelectric

EMC – Compatibilidade Eletromagnética

EMI – Interferência Eletromagnética

ESD – Descarga Eletrostática

FCC – Federal Commission Communication

GHZ – Giga Hertz

HZ – Hertz

IEC – International Electrotechnical Commission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFSC – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO – Organização Nacional de Padronização

ITU – União Internacional de Telecomunicações

LED – Diodo Emissor de Luz

LF – Lâmpada Fluorescente

MHZ – Mega-Hertz

MCC – Modo de Condução Continua

MCD – Modo de Condução Descontinua

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

OATS – Área de Campo Aberto

RTQ – Regulamento Técnico de Qualidade

SAC – Camara Semi – Anecoica

SMD – Surface Mounted Device

V – Volts

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
1.3	OBJETIVO GERAL.....	18
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA.....	19
2.1.1	CONCEITO.....	19
2.1.2	INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA.....	20
2.1.3	INTERFERÊNCIA CONDUZIDA.....	21
2.1.4	INTERFERÊNCIA RADIADA.....	21
2.1.5	GERAÇÃO DE RUÍDO.....	22
2.1.6	COMUTAÇÃO.....	22
2.1.7	RAZÃO CÍCLICA.....	23
2.1.8	MODOS DE PROPAGAÇÃO.....	23
2.1.9	ACOPLAMENTO.....	25
2.1.10	MEDIDA DE EMISSÕES CONDUZIDAS.....	27
2.1.11	MEDIDA DE EMISSÕES RADIADAS.....	31
2.2	LÂMPADAS.....	32
2.3	TOPOLOGIAS DO CIRCUITO DE CONTROLE.....	35
2.3.1	CONVERSOR BUCK.....	35
2.3.2	CONVERSOR BOOST.....	36
2.3.3	CONVERSOR BUCK – BOOST.....	38
2.3.4	CONVERSOR FLYBACK.....	39
2.4	NORMAS.....	41
2.4.1	AGÊNCIAS GOVERNAMENTAIS.....	42
2.4.2	ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014.....	47
3	METODOLOGIA	49
4	RESULTADOS	50
4.1	ANÁLISE LÂMPADA DE 6W.....	52
4.2	RESULTADOS DO FABRICANTE 1:.....	55
4.2.1	Lâmpada de 6W.....	55
4.2.2	Lâmpada de 9W.....	57
4.2.3	Lâmpada de 12W.....	60
4.2.4	COMPARAÇÃO FABRICANTE 1.....	63
4.3	RESULTADOS DO FABRICANTE 2:.....	66
4.3.1	Lâmpada de 6W.....	66
4.3.2	Lâmpada de 9W.....	68
4.3.3	Lâmpada de 12W.....	71
4.3.4	COMPARAÇÃO FABRICANTE 2.....	73
4.4	RESULTADOS DO FABRICANTE 3:.....	76
4.4.1	Lâmpada de 6W.....	76

4.4.2	Lâmpada de 9W	78
4.4.3	Lâmpada de 12W	81
4.4.4	COMPARAÇÃO FABRICANTE 3	83
4.5	RESULTADOS DO FABRICANTE 4:	86
4.5.1	Lâmpada de 6W	86
4.5.2	Lâmpada de 9W	88
4.5.3	Lâmpada de 12W	91
4.5.4	COMPARAÇÃO FABRICANTE 4	94
4.6	COMPARAÇÃO ENTRE AS FAIXAS DE POTÊNCIA	97
4.6.1	Primeira Comparação (6W)	97
4.6.2	Segunda Comparação (9W).....	100
4.6.3	Terceira Comparação (12W).....	103
5	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	108

1. INTRODUÇÃO

O surgimento de luz artificial aconteceu durante o período da pré-história, quando o homem passou a dominar o fogo. Até o século XIX, o fogo foi utilizado como principal fonte de iluminação noturna, através de velas e lamparinas que utilizavam algum tipo de combustível. Em 1879, Thomas Edison desenvolveu a primeira lâmpada elétrica incandescente viável comercialmente. (PIACENTINI; RUBIN, 2015)

No ano de 1962, o primeiro LED (Light Emitting Diode), foi produzido pela General Eletric. Com o passar das décadas o LED foi sendo aperfeiçoado em diversos aspectos, como o aumento de sua durabilidade, eficiência e economia. No início dos anos 90, surgiu o LED azul que acabou originando o tão esperado LED branco, onde revolucionou a área de iluminação. Atualmente, o LED substitui eficientemente uma lâmpada ou luminária convencional em áreas externas ou internas. (OSRAM 2016)

Em 2014, após as lâmpadas de LED já estarem sendo comercializadas, foi aprovado pelo Inmetro a Portaria nº 389, era um Regulamento Técnico de Qualidade para Lâmpadas Led com Dispositivo de Controle Integrado à Base, onde determina que os fabricantes desses dispositivos devam passar as lâmpadas por testes de conformidade e apresentar as determinações mínimas de segurança, eficiência e compatibilidade eletromagnética, após ser descoberto que alguns elementos do circuito de controle da lâmpada ser susceptível e fonte de ruído eletromagnético. (IWASHITA, 2015)

A compatibilidade eletromagnética está relacionada a um sistema ser ou não compatível eletromagneticamente, deve funcionar de acordo com as suas características, no seu ambiente eletromagnético, sem impor perturbações aos demais equipamentos, dispositivos ou sistemas que compartilham o mesmo ambiente eletromagnético. (IWASHITA, 2015)

Esse trabalho se propõe a conhecer o funcionamento dos elementos que constituem os circuitos de iluminação com Lâmpadas LED (Light Emitting Diode) e propor testes para analisar o produto.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Nos dias de hoje, a lâmpada tem uma função indispensável para melhor qualidade de vida dos seres humanos, mas ela não está somente relacionada com iluminação residencial ou pública, aplica-se também em diversos ambientes.

Com o avanço tecnológico este produto está sofrendo alterações para maior economia e durabilidade, tendo isso em vista foi desenvolvida uma lâmpada compacta com uma longa vida útil, além de ser eficiente energeticamente, o seu descarte apresenta uma menor degradação ao meio ambiente, por não conter os metais pesados das lâmpadas de descarga. Porém quando produto chegou ao mercado, o seu custo era alto e somente alguns consumidores compravam o dispositivo.

No desenvolvimento desta lâmpada de led uma grande característica não foi muito bem tratada: a compatibilidade eletromagnética (EMC). (IWASHITA, 2015). Seus princípios e técnicas podem ser a solução de diversos problemas área eletroeletrônica. Segundo a Portaria nº 357 do Inmetro de 2014, todas as lâmpadas com dispositivos de controle integrados a base devem estar totalmente de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ). Esta portaria apresenta os requisitos mínimos de Compatibilidade Eletromagnética.

Então o objetivo deste trabalho será o de estudar esses circuitos de controle e avaliar seu comportamento, buscando medir qual é o comportamento das lâmpadas LED, no que se refere à EMC? Comparar o funcionamento de diversos fabricantes tendo como base a norma CISPR 15.

1.2 JUSTIFICATIVA

As lâmpadas além de serem utilizadas nas residências e na iluminação pública também apresentam variadas aplicações, por exemplo, em faróis de carro, cadeira de dentista, lanternas, etc.

Este novo produto que utiliza o LED como fonte de luminescência, é novo no mercado, sendo que alguns problemas foram descobertos, pois o circuito de controle da corrente provida aos LEDs é susceptível e fonte de ruído eletromagnético. (IWASHITA, 2015). Devido a isso o Inmetro decidiu aprovar um Regulamento Técnico em 2014, para que todos os fabricantes desses produtos apresentem os requisitos mínimos que devem ser atendidos pelas lâmpadas LED, visando à eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética das mesmas.

O incentivo dessa pesquisa então se dá, na importância desses critérios serem alcançados. Como o estudo será no ponto de vista de compatibilidade eletromagnética que além de ser um dos fundamentos relevantes impostos pelo Inmetro, é um meio de resolver problemas com suas técnicas na área de eletrônica. Com isso, propõe-se interpretar os circuitos que compõem as lâmpadas, e realizar os testes de EMI conduzida para analisar o seu comportamento referente à EMC.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é analisar o desempenho com lâmpadas de quatro fabricantes disponíveis no mercado, em três faixas de potência diferentes, realizando testes de EMC conduzida e desenvolver um estudo comparativo.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para a pesquisa:

- a) explicitar o conceito de Compatibilidade Eletromagnética;
- b) fazer um levantamento das lâmpadas disponíveis no mercado, e selecionar as lâmpadas com níveis de potência mais comuns;
- c) definir as características dos circuitos de controle integrados a base da lâmpada, identificando e relacionando a função individual de cada componente;
- d) realizar testes de conformidade para analisar o produto;
- e) desenvolver um estudo comparativo entre as lâmpadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir serão expostos os diferentes assuntos e princípios utilizados para desenvolvimento da pesquisa no estudo de compatibilidade eletromagnética em lâmpadas LED.

2.1 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

2.1.1 CONCEITO

A compatibilidade eletromagnética está relacionada a um sistema ou um conjunto de sistemas serem eletromagneticamente compatíveis ou não. Para um sistema ou um grupo ser eletromagneticamente compatível deve cumprir os seguintes critérios. (SCHLICHTING, 2003)

- Não causar interferência eletromagnética (EMI), em outros sistemas, ou seja, o seu funcionamento não provocar o mal funcionamento a outros sistemas próximos;
- Não ser susceptível a interferência eletromagnética (EMI), de outros sistemas, ou seja, o seu funcionamento não ser prejudicado a ruídos gerados por outros sistemas;
- Não causar interferência eletromagnética (EMI) em si própria, ou seja, os ruídos produzidos por ele não afetar o seu funcionamento.

A partir do exposto percebe-se que para ocorrer interferência eletromagnética a necessidade da existência de um gerador da interferência (fonte), um sistema susceptível no qual a interferência ira afetar (receptor), e um meio, caminho pela qual onde a interferência se propaga da fonte até o receptor. A seguir na figura 1, tem os elementos necessários para ocorrer à interferência eletromagnética (EMI). (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

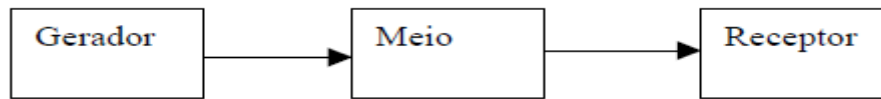


FIGURA 1: ELEMENTOS DA EMC

2.1.2 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

A interferência eletromagnética é um fenômeno físico no qual altera o desempenho de um equipamento, causa por uma perturbação eletromagnética. Existem várias fontes de interferência eletromagnética, por exemplo, ser radiado pelo ar ou conduzido através de meios metálicos. Para redução deste nível de interferência eletromagnética deve-se adotar três procedimentos:

- Identificar a fonte de interferência e reduzir ao máximo a emissão gerada;
- Identificar e tornar o meio de acoplamento entre a fonte e o receptor o mais ineficiente possível, ou seja, dificultar a propagação das emissões, sendo conduzidas ou radiadas;
- Tornar o receptor menos susceptível possível às emissões da fonte.

A propagação de energia eletromagnética pode ser dividida em quatro subgrupos: Emissões Conduzidas, Emissões Radiadas, Susceptibilidade a Condução e Susceptibilidade a Radiação. Conforme a figura 2.

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

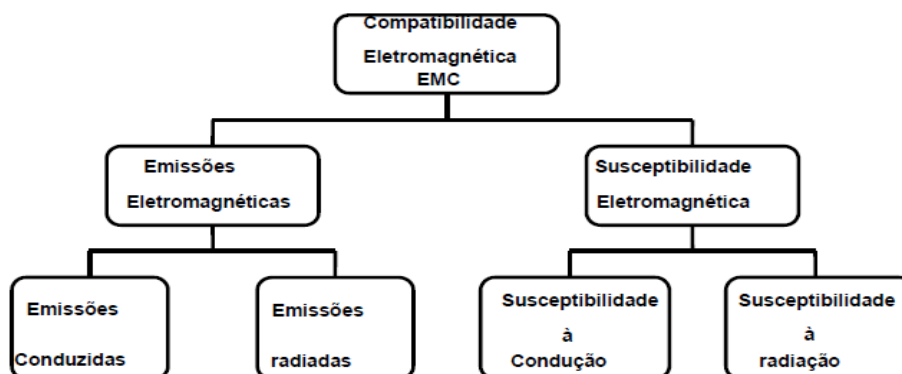


FIGURA 2: EMISSÃO E SUSCEPBILIDADE ELETROMAGNÉTICA.

2.1.3 INTERFERÊNCIA CONDUZIDA

A condução é o mecanismo pelo qual a interferência é levada de dentro para fora de um sistema via condutores metálicos ou via elementos parasitas. Há pouco atrás quando falava-se em interferência por condução, era o ruído injetado na rede de alimentação. Pois a rede de alimentação atua como meio de propagação destes ruídos. Porém, os conversores estáticos injetam ruído na carga que alimentam e servem como meio de propagação entre a rede e a carga. Devido a isso foram intensificados os estudos e modelagem, como gerador, receptores e meio de transmissão de energia eletromagnética. Na figura 3, tem onde ocorre a interferência por condução. (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

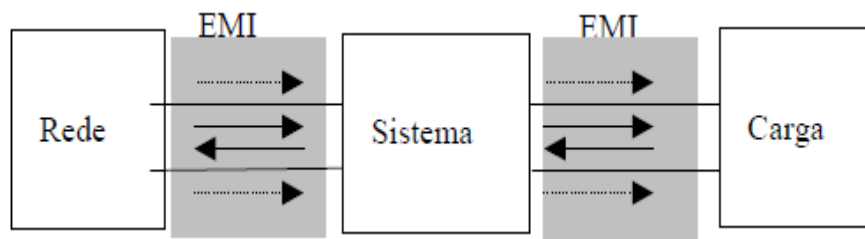


FIGURA 3: INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA POR CONDUÇÃO

A EMI por condução pode se propagar por meios intencionais (trilhas, componentes) e/ou por caminhos não intencionais, como capacitâncias intrínsecas de componentes e acoplamentos indutivos e capacitivos. Com isso, para diminuir a propagação é necessário conhecer todos os possíveis caminhos que um ruído (onda eletromagnética) pode percorrer de dentro e fora de um equipamento.

2.1.4 INTERFERÊNCIA RADIADA

A radiação é um mecanismo pela qual o ruído eletromagnético é levado para dentro ou para fora de um sistema por meios não metálicos como, por exemplo, o ar. Esses ruídos aparecem devido a correntes que “circulam” por trilhas cabos, terminais dos semicondutores, em caminhos fechados gerando campos eletromagnéticos cuja intensidade depende da corrente (amplitude e frequência), do tamanho dos cabos, área dos caminhos fechados, etc. Na figura 4, tem um exemplo

de interferência entre sistemas e de subsistemas de um sistema. (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

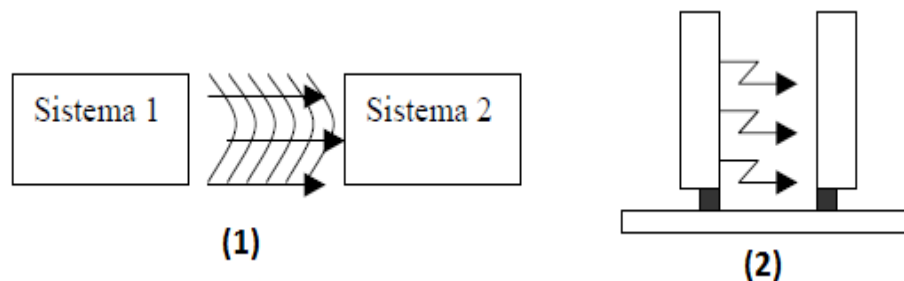


FIGURA 4: RADIAÇÃO: 1) ENTRE SISTEMAS; 2) ENTRE SUBSISTEMAS.

2.1.5 GERAÇÃO DE RUÍDO

A definição de ruído em eletrônica nos diz que este é qualquer corrente ou tensão indesejada. Um exemplo é o ruído 'gerado' pela comutação dos semicondutores. Na prática esses semicondutores comutam tensões e correntes em altas frequências. Estas comutações (comportamento não linear) produzem distúrbios eletromagnéticos que podem ou não se propagar no equipamento, carga, pela rede de alimentação e até pelo ar. (SCHLICHTING, 2003).

Temos nas lâmpadas LED um conversor estático CA-CC, onde a transferência de energia da rede para a carga é controlada pela abertura e fechamento (comutação), de um componente como, por exemplo, o MOSFET. O controle de transferência de energia para a carga pode ser realizado de diversas formas, a mais comum é conhecida como modulação por largura de pulso (PWM), largura de pulso com frequência constante. (SCHLICHTING, 2003).

2.1.6 COMUTAÇÃO

Um dispositivo semicondutor de potência funciona em comutação, alternando em dois estados distintos: (SCHLICHTING, 2003).

- Estado de Condução: onde na qual o semicondutor opõe uma queda de tensão desprezível à passagem de corrente elétrica que o atravessa, comportando-se como se fosse um interruptor

fechado. Dependendo do semicondutor, este estado corresponde a zona de saturação.

- Estado de Corte: onde na qual o semicondutor opõe uma impedância muito elevada a passagem de corrente elétrica, o que suprime praticamente a ligação dos terminais, comportando-se como um interruptor aberto. Dependendo o semicondutor, este estado corresponde à zona de corte.

2.1.7 RAZÃO CÍCLICA

O termo também conhecido como *Duty Cycle*, é a proporção de tempo em que um componente está em operação. Nos conversores estáticos a energia fornecida à carga, é controlada pelo sinal PWM, é uma relação entre condução e período. A seguir na figura 5, tem o efeito da razão cíclica no espectro harmônico. (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

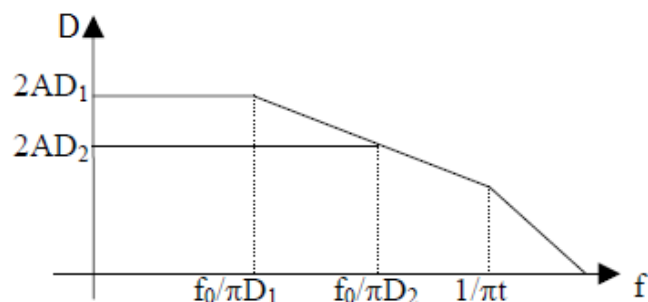


FIGURA 5: EFEITO DA RAZÃO CÍCLICA NO ESPECTRO HARMÔNICO GERADO NA COMUTAÇÃO.

Analisando a figura 5, percebe que com a redução da razão cíclica, a amplitude dos sinais comutados é reduzida do conteúdo espectral de mais baixa frequência da forma de onda. Porém, não afeta o conteúdo de mais alta frequência. (SCHLICHTING, 2003)

2.1.8 MODOS DE PROPAGAÇÃO

A EMI gerada precisa de um caminho para se propagar até o receptor, esta energia (amplitude/conteúdo espectral), é relacionada às características da

comutação. Como a propagação de um sinal se dá por um caminho de menor impedância, as componentes do conteúdo harmônico resultante da comutação se propagam por caminhos diferentes. Assim a maior ou menor capacidade de interferência de uma harmônica está associada a sua energia e a impedância (caminho), que encontra na sua propagação. (SCHLICHTING, 2003)

Os semicondutores que compõem um equipamento não são ideais e estas não idealidades tornam-se mais significativas com o aumento da frequência, logo, é o motivo dos harmônicos indesejáveis se propagar. (SCHLICHTING, 2003)

Basicamente um equipamento eletrônico possui um condutor de alimentação (positivo), um condutor de retorno (neutro, negativo, 0V), e um terra onde as correntes se propagam. As interferências conduzidas ou irradiadas podem surgir a partir de correntes que circulam em um sistema ou dois sistemas. Estas podem ser decompostas em correntes/tensões de modo comum e de modo diferencial.

- Modo Comum: São correntes que se propagam no mesmo sentido, é caracterizado por correntes circulando pelos condutores fase e neutro com uma diferença de 0° entre eles;
- Modo Diferencial: São correntes que se propagam em sentidos opostos, é o ruído mais simples, pois ocorre nos terminais de alimentação (fase e neutro), com uma diferença entre elas de 180° .

Na figura 6, tem um exemplo de propagação em modo comum (I_c) e modo diferencial (I_d). (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

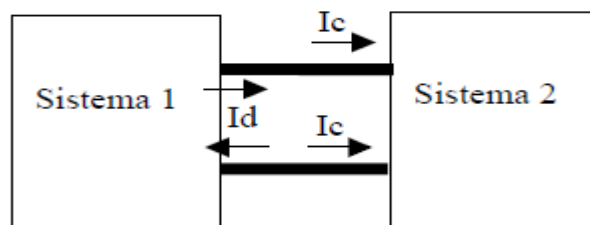


FIGURA 6: MODO COMUM (I_c) E MODO DIFERENCIAL (I_d).

2.1.9 ACOPLAMENTO

Como já visto anteriormente os caminhos dependem das não idealidades dos componentes e dos acoplamentos indutivos e capacitivos que contem no sistema.

2.1.9.1 ACOPLAMENTO CAPACITIVO

As capacitâncias parasitas e de acoplamento podem surgir em vários componentes e é através dela que há uma conexão indesejada entre dois pontos do circuito. Podem estar em diversos lugares como em trilhas, enrolamentos do transformador, terminais dos semicondutores, resistores, dissipadores, etc.

Estes acoplamentos capacitivos variam de componente para componente, e com o *Layout* utilizado.

A seguir na figura 7, tem um exemplo de acoplamento capacitivo.

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

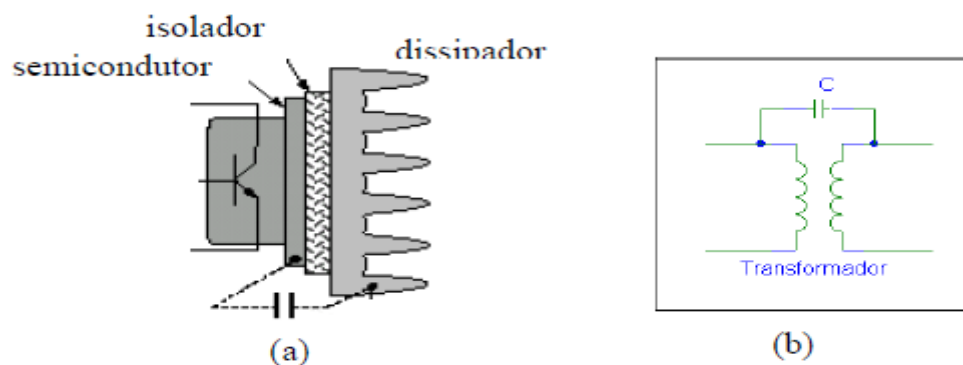


FIGURA 7: (A) ENTRE O DISSIPADOR E O SEMICONDUTOR; (B) ENTRE OS ENROLAMENTOS DE UM TRANSFORMADOR.

2.1.9.2 ACOPLAMENTO INDUTIVO

As indutâncias parasitas e de acoplamento podem surgir principalmente entre condutores e trilhas

Este acoplamento indutivo entre dois condutores ou trilhas, provoca tensão induzidas parasitas. Os caminhos fechados, indutores, transformadores,

dependendo da corrente que circula por eles, podem irradiar uma EMI significativa, bem como, servir de antena na recepção de ruídos. (SCHLICHTING, 2003).

A seguir na figura 8, tem um exemplo de acoplamento indutivo.

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

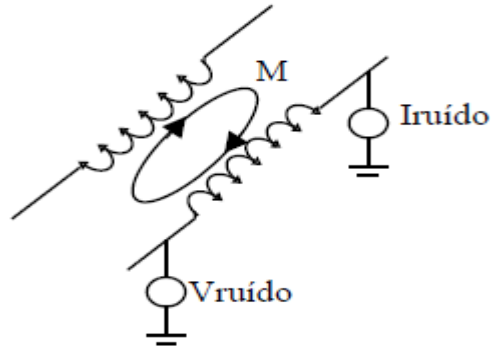


FIGURA 8: ACLOPAMENTO INDUTIVO.

2.1.9.3 NÃO IDEALIDADES DOS COMPONENTES

2.1.9.3.1 DIODO

Um diodo é idealmente representado por uma chave aberta (na polarização reversa) e por uma chave fechada (na polarização direta), em altas frequências pode ser acrescido de elementos que surgem devido às características dos materiais da sua área e junção PN. Estes elementos estão associados a um diodo ideal, podem ser uma fonte de tensão CC, uma resistência serie e capacitâncias de transição e de difusão. Na figura 9, tem um exemplo de diodo real. (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

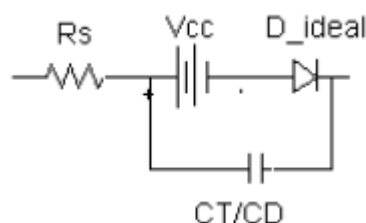


FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DE UM DIODO REAL.

2.1.9.3.2 MOSFET

O Mosfet quando opera em altas frequências pode ter acrescido ao seu modelo ideal, circuito aberto no corte e alta impedância na saturação, capacitâncias que aparecem devido a construção do semiconductor e de onde o mesmo esta inserido. Estas capacitâncias aparecem entre o terminal porta (g), dreno (d) e fonte (s) do semiconductor como as capacitâncias porta-fonte (C_{gs}), porta-dreno (C_{gd}) e dreno-fonte (C_{ds}). Na figura 10, tem o circuito equivalente de um MOSFET. (SCHLICHTING, 2003)

FONTE: (SCHLICHTING, 2003).

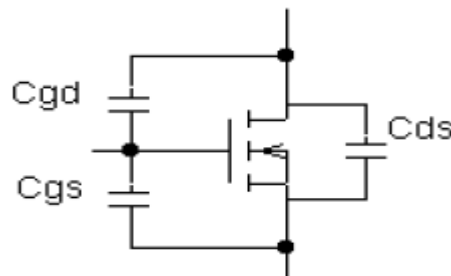


FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DE UM MOSFET REAL.

2.1.10 MEDIDA DE EMISSÕES CONDUZIDAS

As emissões eletromagnéticas conduzidas são ruídos que se transferem através dos cabos de alimentação de corrente alternada (AC) do produto, sendo seus caminhos intencionais ou não.

Seus limites são impostos para reduzir que esta corrente ruidosa que se propaga através do cabo de alimentação AC e não interfira nos circuitos mais susceptíveis do produto. (PAUL, 2006).

A faixa de frequência em que se realizam os testes de emissão conduzida abrange um espectro que está entre 150 kHz até 30 MHz. Devido à norma CISPR 16.

Os testes devem ser realizados inserindo uma linha de rede de estabilização de impedância (LISN) em cascata com o cabo de alimentação do produto. A LISN tem duas funções: 1) A primeira é de evitar que o ruído externo

contamine a medição; 2) A segunda é de apresentar uma faixa de impedância praticamente constante, independente o local que seja realizado o teste.

Também em conjunto com a LISN deve ser utilizado um analisador *EMI receiver* que tem como função mostrar o campo elétrico em função da frequência.

Os níveis estabelecidos pelas normas são detectados pelo analisador em dois métodos. O *Average* (Média) ou *quasi-peak* (quase pico). O método de *quasi-peak* consiste em avaliar a frequência de repetição dos componentes espectrais que compõem um sinal, ou seja, o resultado de uma medida em quase pico depende da taxa de repetição do sinal (PAUL, 2006). O método *Average* consiste em utilizar todos os valores medidos num determinado intervalo de tempo e produzir uma saída proporcional a média do modulo de um sinal senoidal (PAUL, 2006).

O programa utilizado para realização dos testes foi o HS PRECOM 2.02, do mesmo fabricante do Analisador de Espectro, é um software de pré-conformidade conectado via USB num computador. No programa as linhas de limite são adicionadas, assim como o ambiente de medição pelo usuário. Algumas configurações podem ser alteradas para melhor visualização como, por exemplo, escalas de nível ou frequência com diferentes opções de notação, informações de tempo com dados podendo ser visualizados em segundos (s), usando o sistema internacional (SI) e notação exponencial. Uma medida de pré-conformidade é baseada em um padrão de medição. Na figura 11 tem as configurações utilizadas para realização das experiências.

FONTE: HS PRECOM 2.02.

Measurement Setup

Measurement environment

Tranducer: <None>

Amplifier / Attenuator: <None> Add

(Doubleclick to remove item)

Limits:

Limit 1: EN 55015 Voltage on Mains AV

Limit 2: <None>

Measurement Settings

Start frequency: 150,00 kHz

Stop frequency: 30,00 MHz

Stepsize: 4,50 kHz

Meas. Time: 20 ms

Reference Level: 67 dBuV

Resolution Bandwidth (Premeasure): 10 kHz

Resolution Bandwidth (Finalmeasure): CISPR 9kHz

Preamplifier: Off

Cancel OK

FIGURA 11: MENU DE MEDIDA.

O analisador de espectro utilizado nos testes de pré-conformidade foi um HMS-X da Rohde & Schwarz, sua função nos testes de conformidade é de realizar a medida, usando um cabo de dados acoplado ao USB do equipamento. O dispositivo já inicia o modo de varredura para as medições de EMI de acordo com a Norma a ser utilizada nos testes. Possui quatro tipos de detectores PEAK, AVERAGE, QUASE-PEAK e RMS. Na figura 12 tem a ilustração do analisador de espectro utilizado.

FONTE: ROHDE & SCHWARZ



FIGURA 12: R&S HSM-X SPECTRUM ANALYSER.

A Linha de Estabilização de Impedância (LISN) utilizada foi modelo ENV216 da Rohde & Schwarz, suas principais funções são de prevenir que o equipamento em teste a sofra com ruído externo, fornecer uma impedância de carga de aproximadamente de 50Ω . O dispositivo dispõe de vários sistemas de proteção e opções de operação, contendo todas as configurações que o usuário necessita exposta no manual, e todas as indicações para manuseio do equipamento para uma medida segura e precisa. Nos testes realizados a configuração escolhida foi a para testes de perturbação nos terminais de alimentação, medida através do terminal fase e com a referência ligada ao plano de terra junto o modo de proteção de transiente ativado. Na figura 13 tem uma ilustração da LISN utilizada nos testes.

FONTE: ROHDE & SCHWARZ



FIGURA 13: R&S ENV216 TWO LINE V-NETWORK.

A medida de emissão conduzida aplica-se em AC, DC, sinais de controle e portas de telecomunicações, os equipamentos que deverão ser utilizados nesses experimentos como a LISN e o Analisador de Espectro (Receiver), deverão cumprir

todos os requisitos e deverão ser calibrados de acordo com a Norma. Os limites de perturbação que deve-se configurar a LISN são extraídos da CISPR 15, mas as características de manuseio dos equipamentos são definidas através da CISPR 16-1-2. Já para o Receiver a norma que especifica as características para os receptores como impedância de entrada, precisão, é a CISPR 16-1-1. Na figura 14 tem em exemplo de setup padrão para as medidas de emissão conduzida.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

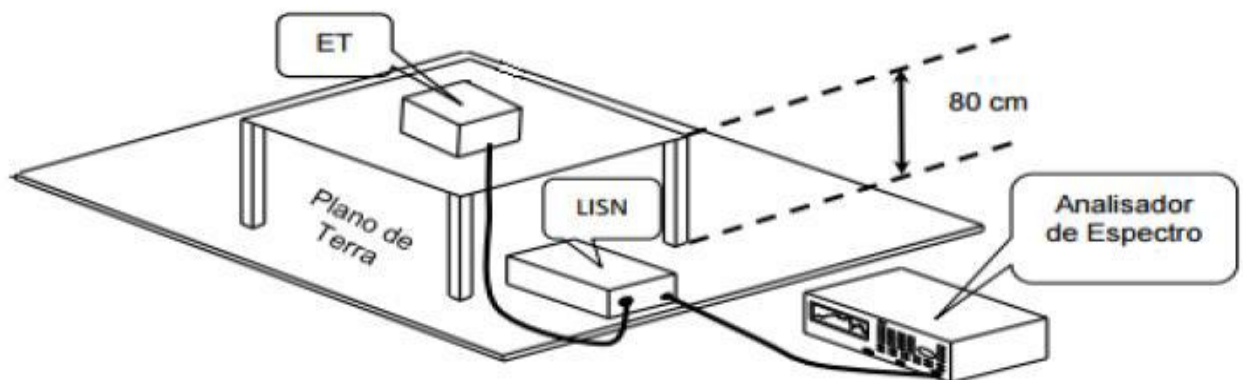


FIGURA 14: SETUP PADRÃO PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO CONDUZIDA.

A informação contida na norma expõe que também poderá haver um plano de terra vertical interligado ao plano horizontal. O plano de terra tem a função de que todo ruído vindo da rede de distribuição e o gerado pelo produto seja concentrado nele. Como ele deve ser condutor, foi utilizada uma chapa de aço galvanizado de tamanho especificado na norma.

2.1.11 MEDIDA DE EMISSÕES RADIADAS

As emissões eletromagnéticas radiadas são o quanto de radiação eletromagnética um equipamento irradia pelo ar na faixa de frequência de (30 MHz a 1GHz). Os limites impostos não devem ser extrapolados, pois o mesmo poderia causar interferência em outros equipamentos. Os ensaios são feitos em Câmaras Semi-Anecóicas (SAC) ou em uma Área de Campo Aberto (OATS). A câmara tem dois objetivos: O primeiro é de evitar que campos externos interfiram na medida. O segundo é de evitar as reflexões de campos emitidos pelo próprio equipamento interfiram na medida.

2.2 LÂMPADAS

2.2.1.1 LÂMPADAS LED

2.2.1.1.1 HISTORIA DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)

Primeiramente o LED é nada mais que um diodo, constituído de um cristal semicondutor de silício ou germânio numa película cristalina onde são dopadas por diferentes gases durante sua formação. Tem como sua principal característica permitir a passagem de corrente elétrica somente quando polarizado diretamente. O LED em si foi descoberto por Robert Biard e Gary Pittman em 1961, quando perceberam que o Gás (composto usado na fabricação de diodo retificador e de sinal), emitia radiação infravermelha quando percorrido por corrente. A radiação infravermelha não é visível a olho nu, portanto em 1962, Nick Holonyak Jr., conseguiu luz visível vermelha, assim surgindo o diodo emissor de luz. (OSRAM, 2016)

Foram Robert e Gary que patentearam o LED, mas é Holonyak conhecido como 'pai do diodo emissor de luz'. Na década de 70 começam a ser criados LED's de diversas cores, porem somente em 1989 os Leds azuis começaram a serem produzidos com intensidade luminosa suficiente para ser comercializado, assim possibilitando originar outros dispositivos visuais com uso de LED. Hoje em dia já tem LEDS com uma eficiência luminosa que ultrapassam a geradas por lâmpadas de descarga de gás.

2.2.1.1.2 FUNCIONAMENTO DO LED

Diferente das lâmpadas convencionais onde a luz é emitida através de um filamento ou por descarga de algum gás inerte, nos LEDS o método é outro, onde a luz está associada às características de algum material semicondutor. Os materiais que possuem elétrons livres, onde as cargas elétricas deslocam-se de forma relativamente livre, são conhecidos como condutores, por exemplo, os metais. Já os materiais que não possuem elétrons livres são conhecidos como isolantes, como o vidro e a borracha. (OSRAM, 2016).

Os semicondutores estão em uma situação interposta. Em temperaturas baixas seus elétrons estão presos a átomos, mas basta um pequeno aumento na

temperatura para esses átomos se tornarem livre. Átomos com um elétron a menos são chamados de lacunas. Os números de lacunas e elétrons livres de um semicondutor puro são iguais, mas quando adicionado impurezas podem ter semicondutores com excesso de lacunas, tipo P, ou de elétrons livres, tipo N. Os diodos em si são estruturados pela junção de semicondutores do tipo P e do tipo N.

Então quando um elétron livre alcança a junção e preenche uma lacuna vinda do outro lado recombina-se, ou seja, quando o elétron “cair” na lacuna. Com isso o átomo que tinha um elétron a menos agora encontra-se neutro. Nesta recombinação há uma dissipação de uma pequena quantidade de energia, fóton, acontecendo à emissão de luz. A sua cor em questão depende da energia liberada, originada pela escolha do semicondutor e das impurezas a serem adicionadas. Os diodos com essa finalidade são chamados de diodos foto emissores de luz. Na figura 15 há uma ilustração de um LED. (OSRAM, 2016).

FONTE: DISPONÍVEL EM: < https://http2.mlstatic.com/S_467701-MLB20392947756_082015-Y.jpg >



FIGURA 15: DISPOSITIVO LED.

Suas principais características são a longa duração, ocupam pequenos espaços, altos índices de eficiências, não possui mercúrio, e a fundamental particularidade seu baixo consumo de energia. O LED opera em pequenas tensões e a maioria da energia fornecida a ele é transformada em luz, com uma fração é perdida na forma de calor, uma característica importante é de o dispositivo ser ecologicamente correto.

2.2.1.1.3 LÂMPADAS LED

O LED em si foi criado em 1961 por Robert e Gary, mas somente na década de 90 ele chegou ao ramo de iluminação. Num futuro próximo é visto como o principal produto a ser comercializado na área de iluminação, devido as suas

vantagens vindas do LED e como a maior parte da energia é transformada em luz e uma pequena fração em calor, elas podem durar até 50 mil horas e os estudos apontam que sua eficiência energética já ultrapassa 150 (lumens/watt). (LIMA; PIACENTINI; RUBIN, 2015).

A desvantagem desse dispositivo ainda é o custo, pois como é uma tecnologia recente e é uma novidade no mercado, seu investimento em curto prazo pode desmotivar a sua compra.

Outras características ainda precisam ser estudadas por fabricantes do produto, como na projeção da luz, isso devido ao spot, sendo o parâmetro que lhe dá a indicação sobre a abertura do feixe de luz, que no LED é muito direcionada e isso implica na pouca dispersão da iluminação do ambiente. (OSRAM; LIMA; PIACENTINI; RUBIN, 2015, 2016).

A lâmpada utiliza a rede de distribuição para sua alimentação, mas como os LEDs operam em corrente contínua, então o LED é ligado a um circuito cuja seu funcionamento é baseado a um circuito retificador de onda completa para transformação da corrente alternada para corrente contínua pulsada, um filtro capacitivo para diminuir a tensão de *ripple*, logo diminuindo a oscilação deixando a mais estável, e ligado a um conversor estático CC – CC, como por exemplo, um Buck ou um Flyback, tendo como função reduzir a amplitude da tensão a um nível a ser aplicado aos LEDs. Conta ainda com alguns capacitores de filtro e um varistor ligado à rede AC para proteção. A lâmpada LED está representada na figura 16. (LIMA; PIACENTINI; RUBIN, 2015).

FONTE: DISPONÍVEL EM: < https://http2.mlstatic.com/S_467701-MLB20392947756_082015-Y.jpg >



FIGURA 16: LÂMPADA DE LED.

2.3 TOPOLOGIAS DO CIRCUITO DE CONTROLE

O controle das grandezas é importante para não interferir nas características de iluminação dos LEDs, pois o brilho da luz emitida é equivalente à corrente que circula nos seus terminais, assim se a corrente estiver acima dos limites recomendados pelo fabricante do componente sua vida útil irá diminuir e comprometer o ponto de vista econômico dos LEDs.

Existem várias topologias de circuito que podem proporcionar aos LEDs uma corrente constante, o mais comum é obtido através de um circuito chaveado modulador de largura de pulso do tipo PWM (Pulse Width Modulation), no qual seu controle se dá através da razão cíclica e malha de controle de corrente. A razão cíclica é um modo utilizado em eletrônica de potência, sendo estabelecido pelo componente, equivale o tempo em que a chave está ligada pelo período da frequência de chaveamento. (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016).

2.3.1 CONVERSOR BUCK

Este tipo de conversor é utilizado em muitas aplicações, na área eletrônica de potência, na figura 17 é apresentado a diagrama elétrico do Conversor Buck.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

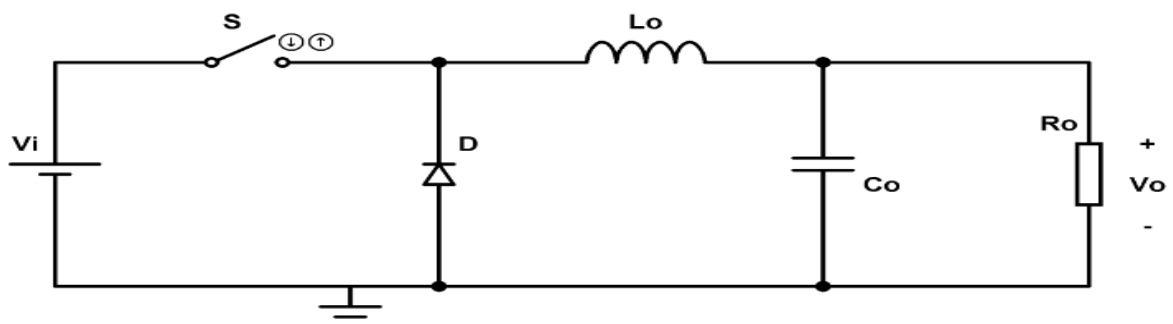


FIGURA 17: DIAGRAMA ELÉTRICO CONVERSOR BUCK.

No instante inicial, a chave S está conduzindo e as correntes em L_o , C_o e R_o aumentam. Já em $t=T_s$ a chave S é bloqueada, então a energia que foi acumulada no indutor L_o circula através do capacitor C_o , na carga, e no diodo D, nesta condição, a corrente do indutor diminui, mas devido à comutação rápida, logo a chave S começa a conduzir outra vez. A Seguir na figura 18, tem as principais formas de onda do conversor Buck.

FONTE: (PETRY, 2001)

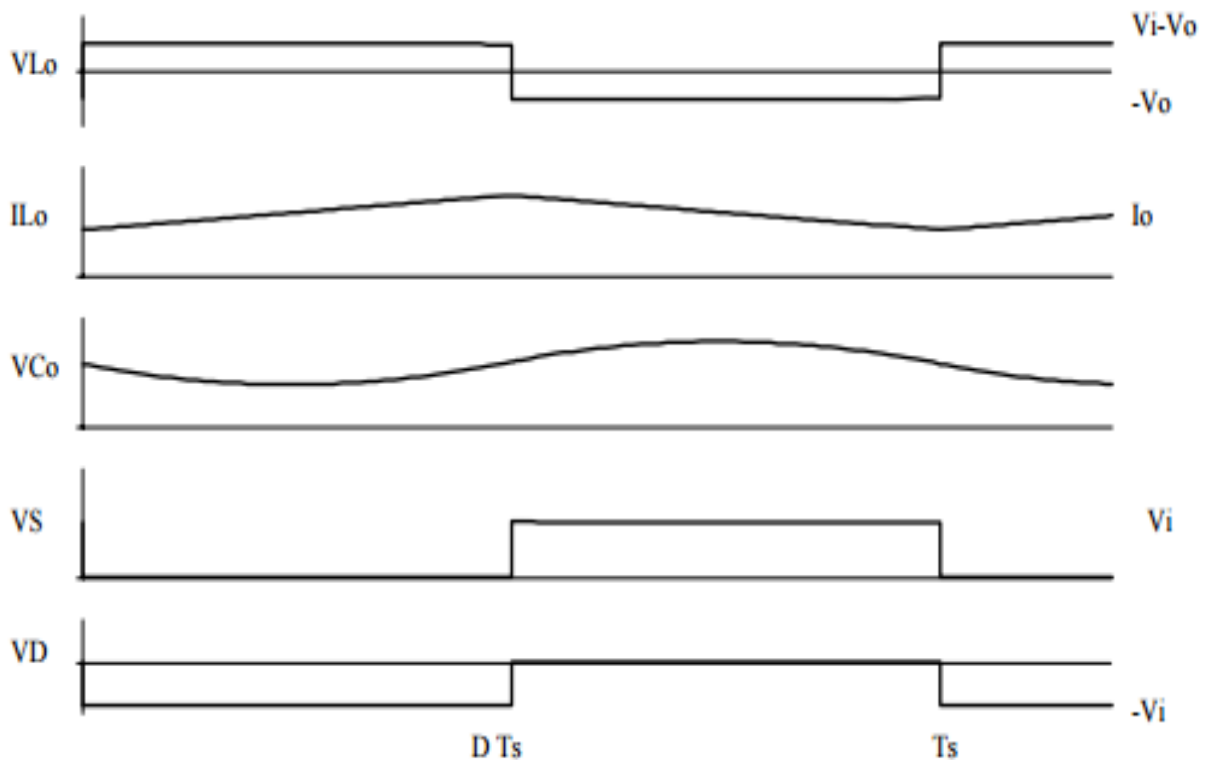


FIGURA 18: PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.

Este conversor não proporciona isolação entre a fonte e a carga. Pode ser projetado para operar em modo de condução contínua (MCC) ou modo de condução descontinua (MCD). É um conversor estático abaixador de tensão. (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016).

2.3.2 CONVERSOR BOOST

Esse é um conversor estático elevador de tensão, ou seja, sua operação é ao contrário do conversor Buck, na figura 19 é exposto o diagrama elétrico do conversor Boost.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

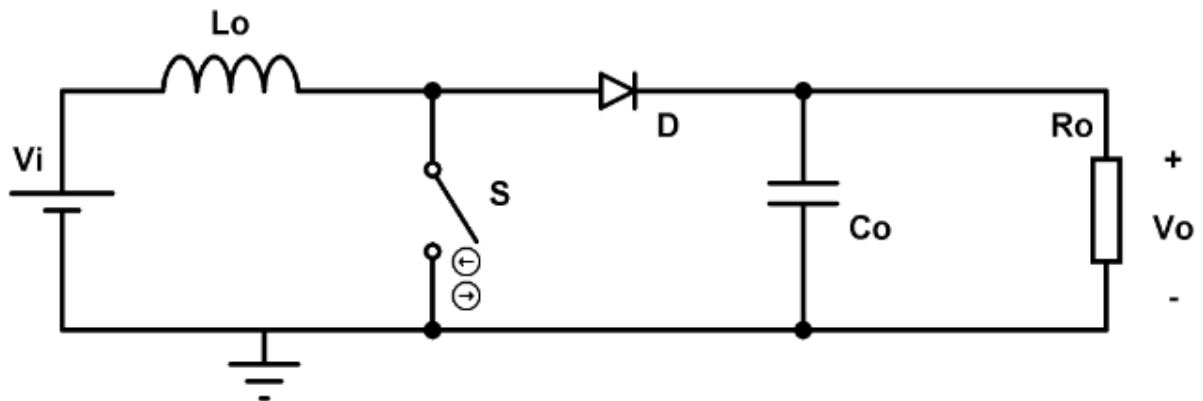


FIGURA 19: DIAGRAMA ELÉTRICO CONVERSOR BOOST.

No instante inicial, a chave S está em condução, logo a corrente de entrada cresce e flui pelo indutor L_o e a fonte fornece energia à carga. Quando a chave S está bloqueada em $t=T_s$, a energia armazenada pelo Indutor, junto à fonte V_i fornecem energia a carga. Assim aumentando a tensão na saída. O princípio de funcionamento deste conversor é de armazenar a energia no indutor e transferir a carga quando a chave S entrar em bloqueio. A Seguir na figura 20, tem as principais formas de onda do conversor Boost.

FONTE: (PETRY, 2001)

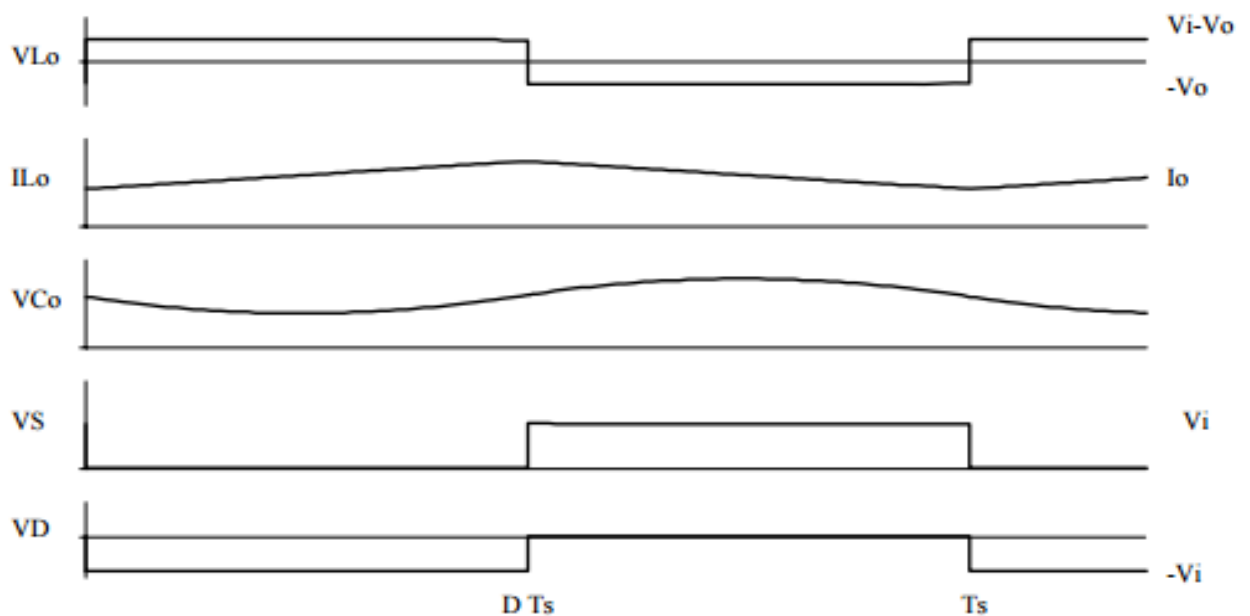


FIGURA 20: PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.

Esse conversor opera modo de condução contínua (MCC) ou no modo de condução descontinua (MCD). (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016).

2.3.3 CONVERSOR BUCK – BOOST

O conversor estático em questão pode operar como um abaixador ou um elevador de tensão. Na figura 21 é mostrado o diagrama elétrico.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

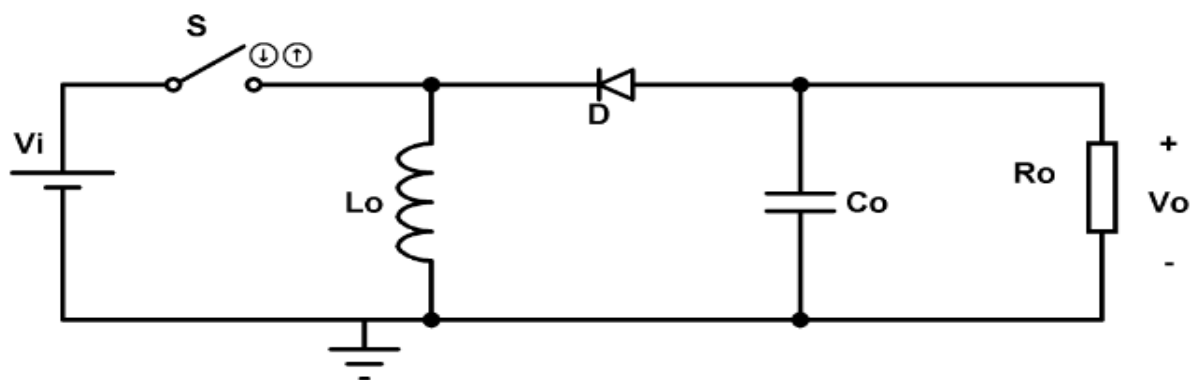


FIGURA 21: DIAGRAMA ELÉTRICO DO CONVERSOR BUCK – BOOST

No instante de partida a chave S esta conduzindo, a fonte V_i magnetiza o indutor L_o , a corrente só circula pela chave, o indutor e V_i , pois o diodo D está polarizado reversamente, impedindo a passagem da corrente. Já em $t=T_s$ a chave entra em bloqueio, a energia armazenada no indutor L_o é entregue através do diodo D a carga. Esta corrente do indutor L diminui até a chave entrar em condução novamente. A Seguir na figura 22, tem as principais formas de onda do conversor Buck-Boost.

FONTE: (PETRY, 2001)

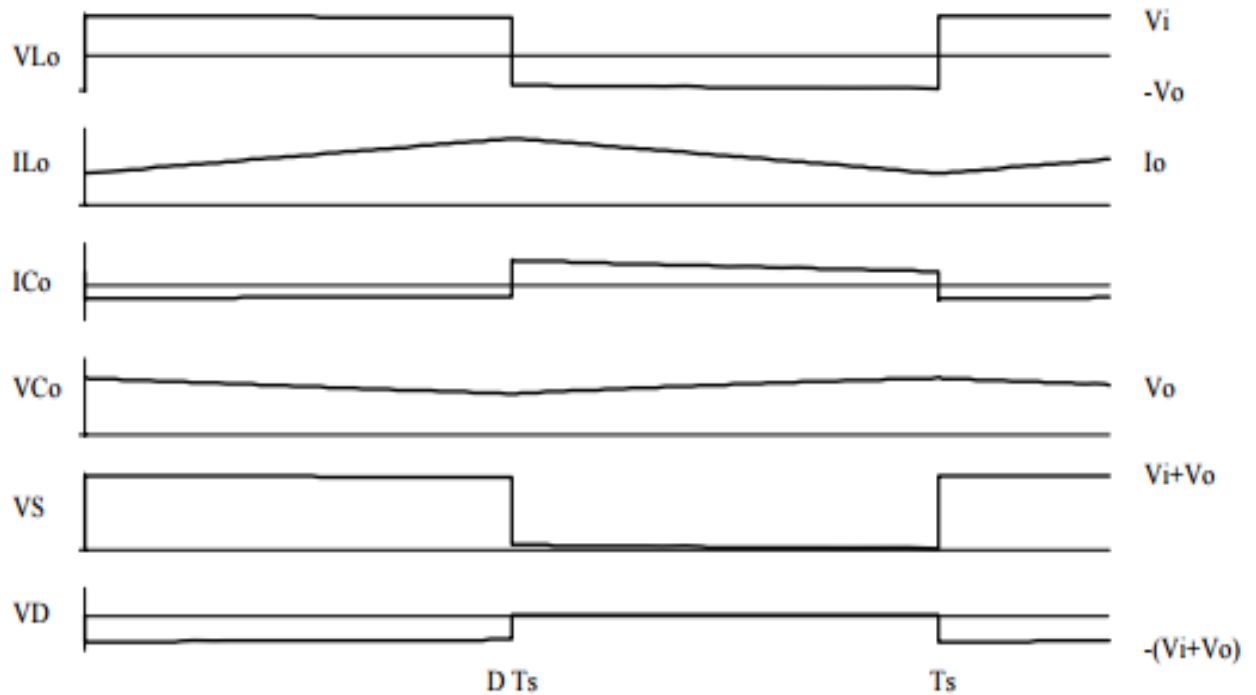


FIGURA 22: PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.

Neste conversor a tensão de saída é oposta a de entrada, pode operar no modo de condução contínua (MCC) e no modo de condução descontinua (MCD). (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016)

2.3.4 CONVERSOR FLYBACK

O conversor estático Flyback é semelhante ao conversor Buck – Boost, mas a principal diferença é a isolamento galvânica entre a entrada e a saída. No caso o indutor L_o é substituído por um transformador de isolamento. Na figura 23 é apresentado o diagrama elétrico.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

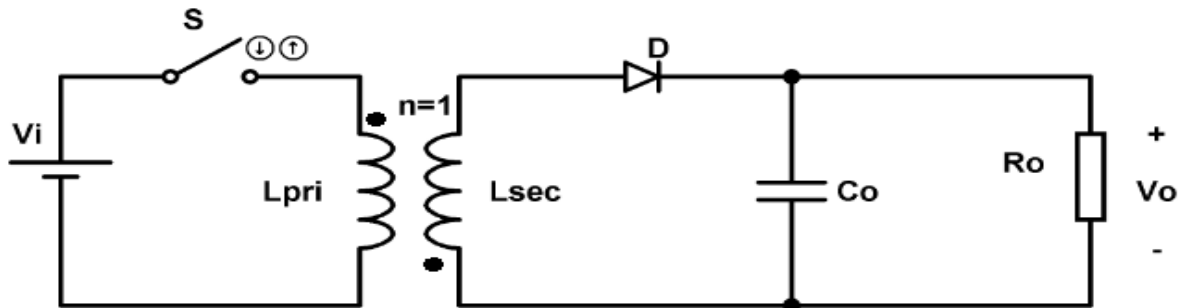


FIGURA 23: DIAGRAMA ELÉTRICO DO CONVERSOR FLYBACK.

No instante inicial a chave S está em condução, a corrente de entrada circula somente no primário do transformador, isso se dá devido à polaridade reversa do diodo D. A corrente não flui pelo primário e secundário do transformador ao mesmo tempo. Em $t=T_s$ a chave é bloqueada, logo a energia acumulada no transformador é fornecida à carga através do diodo D. A Seguir na figura 24, tem as principais formas de onda do conversor Flyback.

FONTE: (PETRY, 2001)

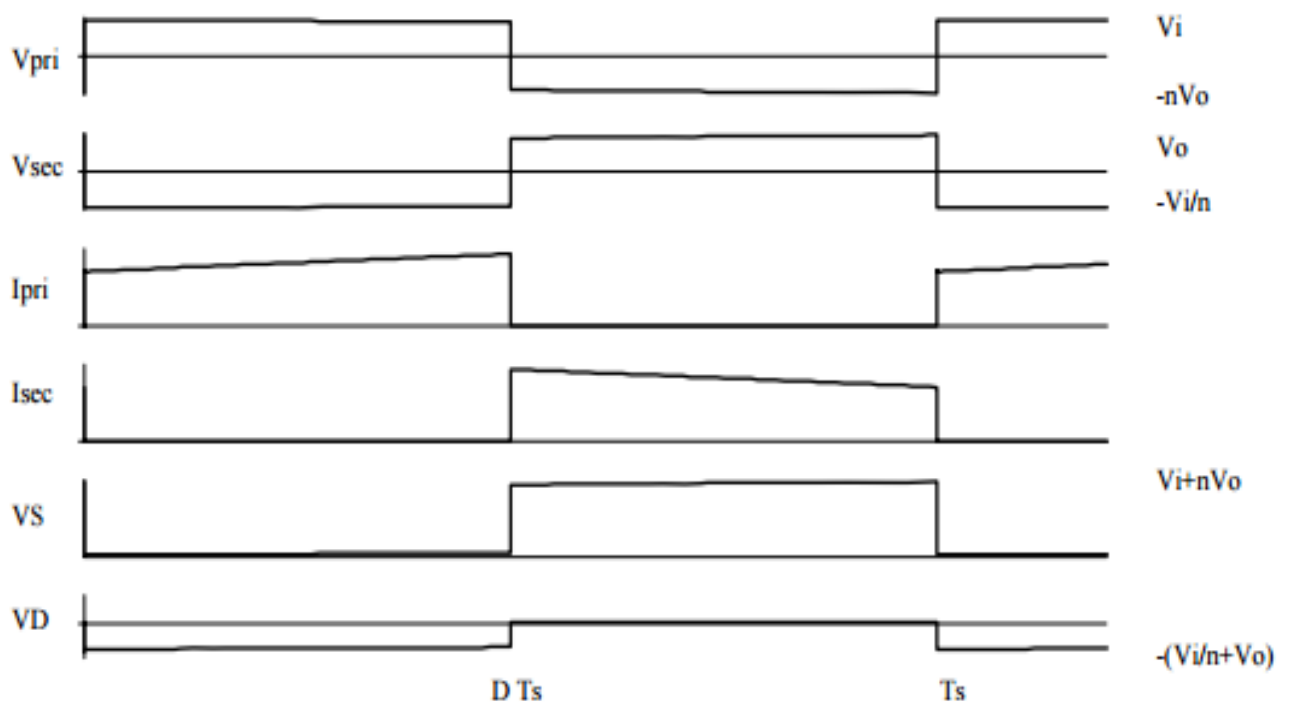


FIGURA 24: PRINCIPAIS FORMAS DE ONDA DO CONVERSOR.

Neste conversor a tensão de saída não é invertida como no Buck – Boost e pode operar em modo de condução contínua (MCC) ou no modo de condução descontinua (MCD). (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016)

2.4 NORMAS

Em compatibilidade eletromagnética toda a normatização obrigatória é definida pelas agências governamentais onde impõem todas as normas legais que controlam a interferência gerada por um equipamento, porém elas não garantem que o mesmo cause interferência. As medidas necessitam padronização dos procedimentos e unidades de medida para que se possam comparar resultados obtidos em locais diferentes. As normas irão sofrer as alterações necessárias de acordo com a evolução dos equipamentos de medidas e também dos dispositivos a passar pelo teste.

As lâmpadas que utilizam o LED como sua fonte de luz começarão a passar por testes de conformidade de acordo com o Regulamento Técnico de Qualidade do Inmetro, a Portaria 389 de agosto de 2014, com o objetivo de estabelecer os limites que deverão ser atendidos pelos Fabricantes, focado na eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética das mesmas. (IWASHITA; MAXIMIANO, 2015).

O teste é feito em uma lâmpada completa se dá conforme a norma da ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014–Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares. Esta norma aponta três ensaios para análise da compatibilidade eletromagnética em lâmpadas LED.

- Tensões de perturbação em terminais de alimentação;
- Perturbações eletromagnéticas radiadas – campo magnético;
- Perturbações eletromagnéticas radiadas – Campo elétrico.

2.4.1 AGENCIAS GOVERNAMENTAIS

Todas as determinações obrigatórias, impostas nas normas que serão aplicadas nos produtos eletrônicos são desenvolvidas por órgãos nacionais e internacionais, onde que no território nacional tem a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ambas que estabelecem os limites e todos os procedimentos de medição, fazendo que os testes nos laboratórios nacionais mantenham o padrão internacional. (IWASHITA, 2015).

2.4.1.1 AGÊNCIAS INTERNACIONAIS

2.4.1.1.1 FEDERAL COMMUNICATIONS COMISSION (FCC)

A FCC é a autoridade principal dos Estados Unidos da America (EUA), para as leis de comunicação, regulamentação e inovação tecnológica. A agência regula as comunicações interestaduais e internacionais de radio, televisão, satélite e cabo em todos os estados e distritos dos EUA. O objetivo de trabalho da instituição é voltado para as oportunidades econômicas e os desafios associados com os avanços na rápida evolução das comunicações globais.

É composta por cinco conselheiros que definem sobre todos os assuntos que envolvem a área de eletrônica e das telecomunicações dos EUA, por isso, todo equipamento elétrico ou eletrônico produzido ou comercializado nos Estados Unidos deve ter um registro na FCC, e recebe um número que serve para identificação, o FCCID.

A FCC está subdividida em 101 partes que conformam quatro subgrupos, dentro do subgrupo A (partes 0-19) ficam as partes de maior interesse deste trabalho, a Compatibilidade Eletromagnética. Especificamente na parte 15: Dispositivos de Rádio Frequência que faz uma classificação dos dispositivos, a mesma especifica as condições sobre a qual podem operar os dispositivos, informações técnicas, requerimentos administrativos, os padrões de medição e outras regras. (FCC, 2016)

2.4.1.1.2 CONFORMITÉ EUROPÉENNE (CE)

A marcação CE é obrigatória para determinados produtos vendidos no Espaço Econômico Europeu (EEE), a partir de 1985, pode ser encontrado em produtos vendidos fora da União Europeia, é semelhante à Declaração de Conformidade da FCC nos Estados Unidos. O registro CE é a alegação que o produto cumpre todas as exigências da legislação europeia. Sua marca nos produtos identifica-se com um logotipo e quatro dígitos para sua identificação. Na parte em que há referência ao trabalho, a CE baseia-se nas normas de compatibilidade eletromagnética, na CISPR 22.

Essas regras devem ser seguidas até por produtos fabricados em países terceiros, por exemplo, um dispositivo fabricado na China cabe ao importador verificar se o produto cumpre todos os procedimentos e tem toda a documentação necessária. A marcação se aplica somente apenas para determinados produtos de acordo com a legislação. Caso não cumpra as diretivas, o fabricante ou quem seja, irá responder sua infração de acordo com leis vigentes em cada país – estado. (EUROPÉENNE, 2016).

2.4.1.1.3 INTERNACIONAL ELETROTECNICAL COMISSION (IEC)

A Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC) é uma organização de padronização de tecnologias elétricas, eletrônicas e áreas afins. Sua sede está localizada na Suíça. Foi fundada em 1906. Alguns de seus padrões são desenvolvidos juntamente com a Organização Internacional para Padronização (ISO) e a União Internacional de Telecomunicações (ITU), onde classificam as Normas para garantir que se completem, por exemplo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é um órgão relacionado com esses padrões desenvolvido por esse ima organizacional, onde cada país a uma agência representante. (IEC, 2016).

2.4.1.1.4 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos foi fundado em 1884, pela fusão do Instituto de Engenheiros de Rádio (IRE) e Instituto Americano de Engenheiros Eletricistas (AIEE) nos Estados Unidos, é uma organização profissional dedicada ao avanço da tecnologia. Suas filiais ao redor do mundo promove a ligação do conhecimento no campo da engenharia elétrica, eletrônica e computação. A fundação também abrange áreas de micro e nanotecnologia, robótica e muitos outros. As atividades se dão através de jornais, conferências, congressos e publicações técnicas de textos dos membros da equipe. (ENGINEERS; IEEE, 2016)

2.4.1.1.5 COMITÉ INTERNACIONAL SPECIAL PERTURBATIONS RADIOELETRIC (CISPR)

O Comitê Internacional Especial sobre Perturbações Eletromagnéticas foi fundado em 1934, para estabelecer normas de controle, a interferência eletromagnética nos aparelhos elétricos e eletrônicos. É um subgrupo da Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC). O órgão estabelece normas de medição de interferência eletromagnética por condução e radiação. Definem também vários padrões para o layout de teste. A CISPR também aborda imunidade à interferência externa. (CISPR, 2016)

2.4.1.2 AGÊNCIAS NACIONAIS

2.4.1.2.1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)

A ABNT é uma entidade privada e sem fins lucrativos, fundada em 1940, é um dos fundadores da International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização-ISO), da Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas-Copant) e da Asociación Mercosur de Normalización (Associação Mercosul de Normalização-AMN). Desde que foi fundada faz parte da International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional-IEC).

A ABNT é o órgão encarregado de formalizar as Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaborada pelos seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

Também atua na análise de conformidade e apresentam programas para certificação de produtos e sistema de rotulagem. As normas que são validas no Brasil seguem as desenvolvidas pelo IEC. (ABNT, 2014)

2.4.1.2.2 INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO)

O INMETRO é um órgão autárquico federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (MDIC). Foi criado em 1973 substituindo o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), e ampliando o seu espaço de atuação no Brasil. Seu objetivo é de fortalecer as empresas nacionais, destinados à melhoria na qualidade dos produtos e serviços, com apoio a inovação tecnológica. Suas principais competências se dão através por meio de Medições, Avaliações de Conformidade, Verificação das Normas Técnicas para mante – lás compatíveis com as internacionais, Planejamento dos Laboratórios de Ensaio de Certificação e outros assuntos afins. (MORAES, 2013).

Com base na Portaria nº 389, de 25 de agosto de 2014, o INMETRO decidiu que sendo considerada a importância das Lâmpadas LED com dispositivos de controle integrados à base, que começaram a serem comercializadas no território nacional, deverão passar por testes de conformidade e apresentar as determinações mínimas de eficiência, segurança e compatibilidade eletromagnética. Com isso foi aprovado o Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ) para as Lâmpadas LED com Dispositivo de Controle Integrado à Base. Este documento apresenta todos os procedimentos e requisitos técnicos.

Toda documentação complementar para a elaboração do Regulamento está apresentada no quadro 1.

FONTE: PORTARIA INMETRO nº 359 (2014)

NORMA/PORTARIA	DESCRIÇÃO
Portaria Inmetro nº 335/2011	Aprova as informações obrigatórias para os dispositivos de baixa tensão
ABNT IEC TS 62504	Termos e definições para LED e os módulos de LED de iluminação geral

ABNT NBR IEC 60061-1	Bases de Lâmpadas
ABNT NBR IEC 60360	Método-padrão para determinação da elevação da temperatura da base da lâmpada
ABNT NBR IEC 60529	Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP)
ABNT NBR IEC 60598-1	Luminárias, Requisitos gerais e ensaios.
ABNT NBR IEC 60695-2-10	Métodos de ensaio de fio incandescente/aquecido, aparelhagem e método geral de ensaio.
ABNT NBR IEC 60695-2-11	Métodos de ensaio de fio incandescente/aquecido, método de ensaio de inflamabilidade para produtos acabados.
ABNT NBR IEC 60695-2-12	Métodos de ensaio de fio incandescente/aquecido, método de ensaio de inflamabilidade para materiais.
ABNT NBR IEC 60695-2-13	Métodos de ensaio incandescente/aquecido – métodos de ensaio de temperatura de inflamabilidade ao fio incandescente (GWIT) para materiais.
ABNT NBR IEC 62031	Módulos de LED para iluminação geral, Especificações de segurança.
ABNT NBR IEC 62560	Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50 V, Especificações de Segurança.
ANSI/IEEE C.62.41	IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low – Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits.
ANSI-NEMA ANSLGC78-09.377	Specification of the chromaticity of solid state lighting products.
CIE 13.3	Method of Measuring and Specifying

	Colour Rendering of Light Sources.
CIE 84	Measurement of Luminous Flux
CISPR 15	Limits and Methods of Measurements of Radio Disturbance Characteristics of Electrical Lighting and Similar Equipments.
IEC 60050-845	Internat. Electrotechnical Vocabulary.

QUADRO 1: DOCUMENTAÇÃO COMPLEMENTAR PARA ELABORAÇÃO DO RTQ

Os testes com as lâmpadas serão realizados conforme a norma da ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014 – Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares.

2.4.2 ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014

Esta norma internacional é utilizada para estabelecer os limites de perturbação, no modo de realizar as medidas, métodos de construção e desenvolvimento de uma luminária ou lâmpada.

Os limites são dados em função da faixa de frequência, os quadros 2, 3 e 4. Os limites de tensões de perturbações a serem realizados os testes estão expostos nas tabelas abaixo. No quadro 2 tem os limites das tensões nos terminais de alimentação para as frequências de 9 kHz até 30 MHz.

FONTE: ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014

Faixa de Frequência	Limites dB (µV) ^a	
	Quase Pico	Media
9 kHz a 50 kHz	110	-
50 kHz a 150 kHz	90 a 80 ^b	-
150 kHz a 0,5 MHz	66 a 56 ^b	56 a 46 ^b
0,5 MHz a 5 MHz	56 ^c	46 ^c
5 MHz a 30 MHz	60	50

^b Na frequência de transição, o limite inferior se aplica.

^c O limite decresce linearmente com o logaritmo da frequência nas faixas de 50 kHz a 150 kHz e de 150 kHz a 0,5 MHz.

^d Para lâmpadas de indução e suas luminárias, o limite na faixa de frequência de 2,51 MHz a 3,0 MHz é de 73 dB (uV) de quase pico e 63 dB (uV) médio.

QUADRO 2 – LIMITES DE TENSOES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO.

Já no quadro 3 estão expostos os limites de tensão de perturbação nos terminais de carga do dispositivo para a faixa de 150 kHz até 30 MHz.

FONTE: ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014

Faixa de Frequência (MHz)	Limites dB (uV) ^a	
	Quase Pico	Media
0,15 a 0,50	80	70
0,50 a 30	74	64

^a Na faixa de transição, o limite inferior se aplica.

QUADRO 3 – LIMITES DAS TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE CARGA.

Os limites das tensões de perturbação nos terminais de controle para a faixa de 150 kHz até 30 MHz estão expostos no quadro 4.

FONTE: ABNT NBR IEC/CISPR 15:2014

Faixa de Frequência (MHz)	Limites dB (uV)	
	Quase Pico	Media
0,15 a 0,5	84 a 74	74 a 64
0,5 a 30	74	64

NOTA 1: Os limites diminuem linearmente com o logaritmo da frequência na faixa de 0,15 MHz a 0,5 MHz.

NOTA 2: Os limites das tensões de perturbação são derivados para o uso de uma rede de estabilização de impedância que apresenta, em modo comum, impedância de 150 Ohms no terminal de controle.

QUADRO 4: LIMITES DAS TENSOES DE PERTURBAÇÃO NOS TERMINAIS DE CONTROLE.

3 METODOLOGIA

No início deste trabalho, foi feita uma revisão bibliográfica sobre assuntos pertinentes que compõem uma lâmpada de LED. Teve como principal foco a compatibilidade eletromagnética visando conceitos, aspectos e características. Os outros itens estudados foram os tipos de lâmpadas disponíveis no mercado, as possíveis topologias do circuito de controle, explicando o funcionamento de cada conversor em modo de condução contínua. As normas também foram alvo da pesquisa, principalmente das agências regulamentadoras internacionais e nacionais. Por último, a norma IEC CISPR 15, de onde foram extraídos os limites para os testes realizados.

Na etapa seguinte do trabalho, foi realizado um levantamento das lâmpadas de LED disponíveis no mercado, analisando-se especificamente sua potência, sem analisar as demais características. Em vista disso, foram escolhidas 3 faixas de potência comum de 4 fabricantes para os testes a serem realizados.

Na terceira etapa, foi feito um estudo com os circuitos de controle integrados à base da lâmpada, fazendo-se um levantamento dos componentes, quantidade de LEDs, o tipo de topologia utilizada pelo fabricante e outras características.

A quarta parte foi realizar os testes de conformidade, com auxílio dos equipamentos. Foram feitos os testes de emissão conduzida de acordo com a norma regulamentadora. A partir dos testes, foi realizado um estudo comparativo em duas etapas: a primeira entre as lâmpadas do fabricante, analisando as características individuais do produto; e a outra comparação entre as faixas de potência. Foi desenvolvida uma escala, de acordo com o desempenho de cada lâmpada.

4 RESULTADOS

Para a realização dos testes de emissão conduzida deste trabalho foi montado um setup de acordo com as configurações da CISPR 16. A figura 25 ilustra como foi montado o setup no qual foram realizadas as medidas.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).



FIGURA 25: SETUP MONTADO PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES.

No setup apresentado na figura 25, foi feito um ensaio de ruído de fundo. Todas as medidas realizadas terão essas características. A figura 26 apresenta a medida do ruído de fundo.

FONTE: HS PRECOM 2.02.

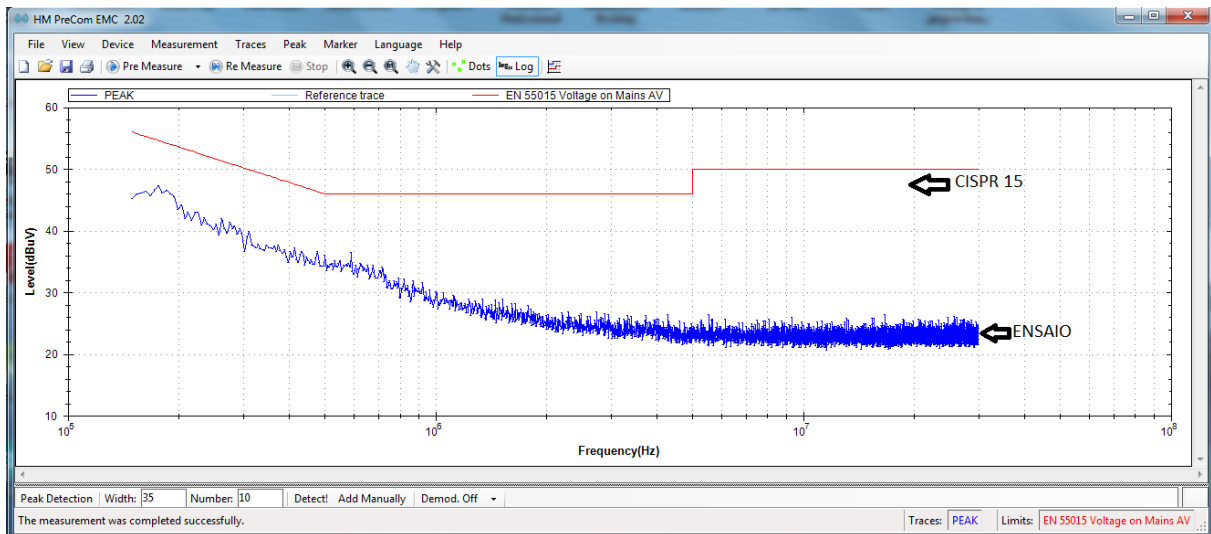


FIGURA 26: ENSAIO DO RÚIDO DE FUNDO.

A figura 26 apresenta duas curvas: Uma está relacionada a CISPR 15 refere-se aos limites extraídos da norma que regulamenta as lâmpadas de LED. A curva que está relacionada a legenda ensaio refere-se a medida do ruído de fundo.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE	POTENCIAS DAS LÂMPADAS		
FABRICANTE 1	6W	9W	12W
FABRICANTE 2	6W	9W	12W
FABRICANTE 3	6W	9W	12W
FABRICANTE 4	7W	9W	11W

QUADRO 5: LISTA DE FABRICANTES E POTÊNCIAS DAS LÂMPADAS.

Os resultados serão apresentados comparativamente em duas etapas:

- Por fabricante, analisando cada lâmpada, determinando qual a melhor lâmpada do fabricante estudado.
- Por Faixa de Potência, analisando cada lâmpada, escolhendo qual o melhor fabricante.

O estudo comparativo será de forma qualitativa, o resultado das medidas será analisado em dois pontos, o primeiro é o pico inicial, referindo-se ao início do ensaio. O segundo é a faixa de transição, tendo como referência os limites da CISPR 15.

Em termos de circuito será analisado apenas o circuito do Fabricante 1. O circuito dos demais fabricantes é semelhante.

4.1 ANÁLISE LÂMPADA DE 6W

O circuito que será analisado é o mais comum entre todos os fabricantes, e é o circuito de controle utilizado em todas as lâmpadas do Fabricante 1.

A seguir na figura 27, é apresentado o esquemático do circuito de controle da lâmpada estudada.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

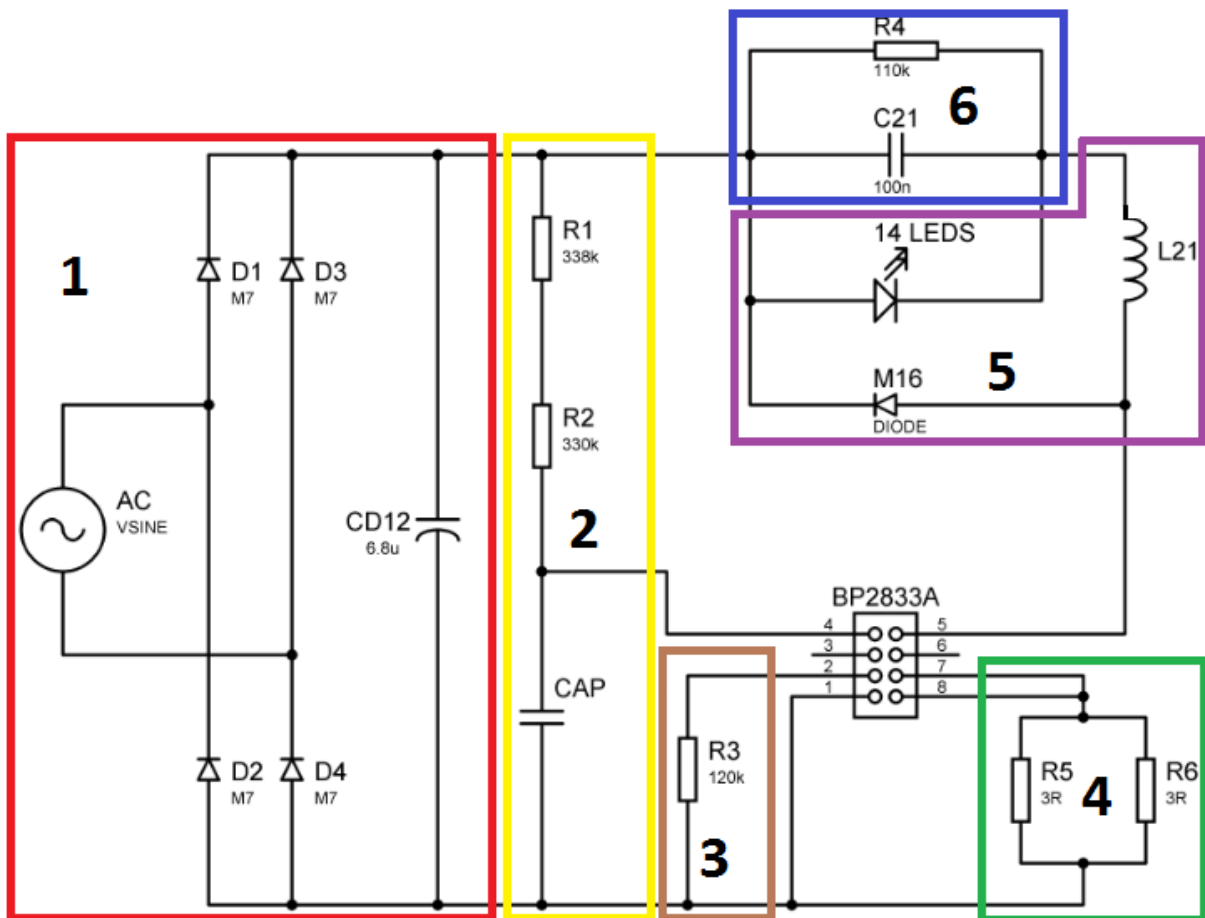


FIGURA 27: DIAGRAMA ELÉTRICO DA LÂMPADA ESTUDADA.

Para melhor análise o circuito de controle foi separado em 6 blocos. O bloco número 1 é um bloco retificador, composto por uma ponte retificadora de diodos e um filtro capacitivo (D1, D2, D3, D4 e CD12), o restante dos componentes fazem parte da aplicação do circuito integrado (BP2833A) que controla o chaveamento, o CI utiliza a topologia Buck. Na figura 28, tem o diagrama de blocos do componente.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

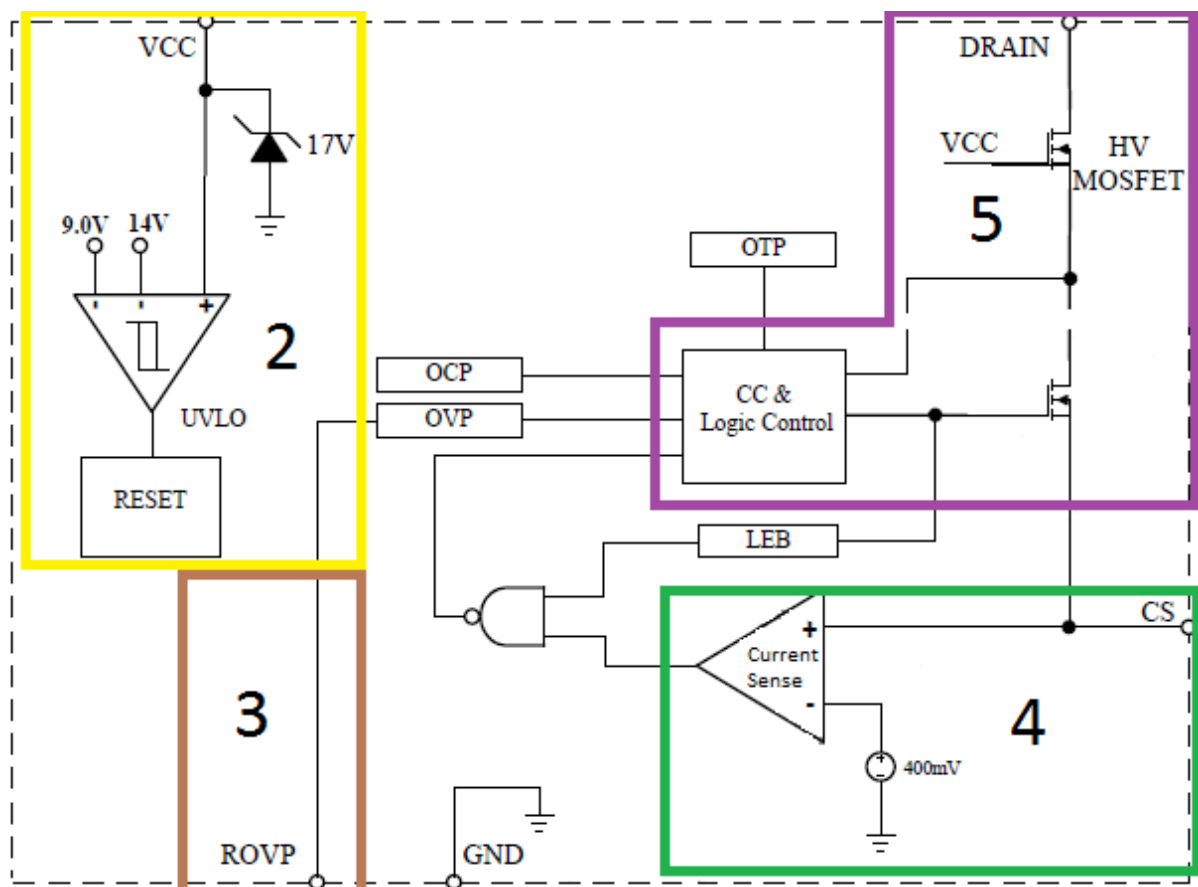


FIGURA 28: DIAGRAMA DE BLOCOS DO CI DE CONTROLE.

A figura 28 é referente ao diagrama interno do CI BP2833A, como estão separados cada função do componente. Com isso os blocos de 2, 3, 4 e 5 estão referenciados ao diagrama elétrico exposto na figura 27.

Na figura 27, o bloco número 2 é responsável pela energização do circuito, após o sistema ser ligado, o capacitor do pino 4 (VCC) é carregado pelos resistores de arranque. A tensão do pino 4 atinge o limite de polarização, os circuitos internos começam a operar, internamente ativa-se um diodo zener de (17V) para fixação da tensão VCC, como se observa na figura 28 o bloco número 2.

O bloco número 3 da figura 27 está relacionado ao pino 2 do circuito integrado, este pino é uma proteção contra sobretensão. Quando o LED está aberto, a tensão de saída tende a crescer gradualmente, e o tempo de desmagnetização é mais curto. O controle lógico interno do CI ativa a proteção de sobtensão e paralisa a comutação. Esta proteção é ajustada pela tensão no Resistor R3 (120k Ω), é visto no bloco número 3 da figura 28 as suas ligações.

Na figura 27, os blocos 4 e 5 estão relacionados aos pinos 7 e 8 do CI, esses pinos estão conectados a um comparador com uma tensão de referência de 400mV, como visto na figura 28 o bloco número 4. Quando atinge-se o limite do comparador, o MOSFET acoplado ao circuito integrado, desliga, fazendo que toda a energia armazenada no indutor (L21) seja transferida a carga. Neste conversor o modo de condução é crítico, a corrente no indutor está no limiar de se anular a cada comutação, então quando a corrente no indutor se aproximar de zero, o MOSFET é ligado novamente pelo controle lógico interno do CI.

O diodo M16 tem a função de um diodo de roda livre.

Nesta lâmpada há 14 LEDs, estão em dois arranjos em paralelo com 7 LEDs em série em cada um, como mostra a figura 29.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

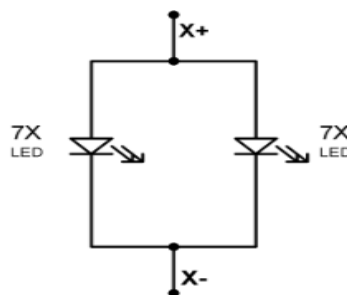


FIGURA 29: CONFIGURAÇÃO DOS LEDS DA LÂMPADA.

Na figura 27 o bloco número 6 é referente ao circuito *snubber*, que no circuito de controle tem função de evitar picos de tensão vindos da rede elétrica.

4.2 RESULTADOS DO FABRICANTE 1:

4.2.1 Lâmpada de 6W

A figura 30 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 6W do Fabricante 1.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

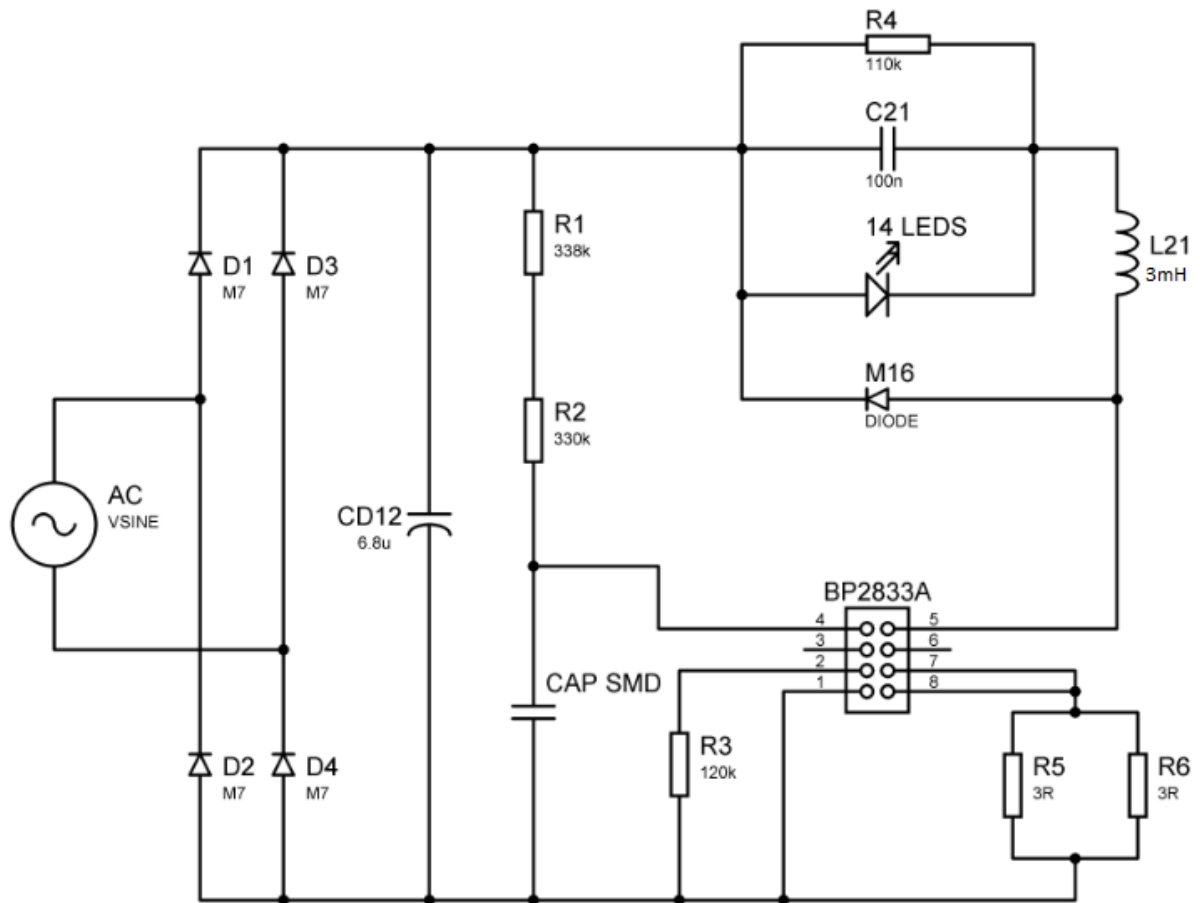


FIGURA 30: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 1).

A figura 30 mostra o mesmo diagrama elétrico da figura 26, pois o estudo do circuito de controle foi realizado somente com esta lâmpada específica.

O circuito de controle conta com quatro diodos M7 e um capacitor eletrolítico (6.8uF), onde compõem um retificador CA-CC (D1, D2, D3, D4 e CD12). Dois resistores de 330k Ω (R1 e R2) e um capacitor SMD. Um resistor de proteção contra sobretensão 120k Ω (R3). Dois resistores de 3 Ω (R5 e R6) para controle da tensão de comparação para acionamento do MOSFET. O CI de controle do chaveamento o BP2833A com topologia BUCK (não isolado). O diodo de roda livre o

M16, dois componentes do circuito Snubber, um resistor de $110\text{k}\Omega$ (R4) e um capacitor de 100nF (C21). Um indutor de 3mH e 14 LEDs.

As figuras 31 e 32 mostra a vista superior e inferior da PCB.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

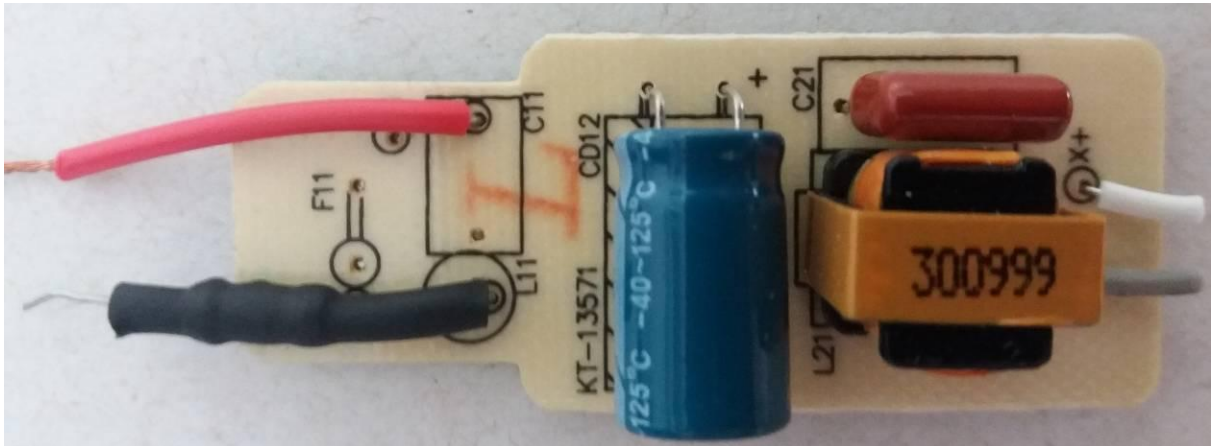


FIGURA 31: VISTA SUPERIOR DA PCB.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

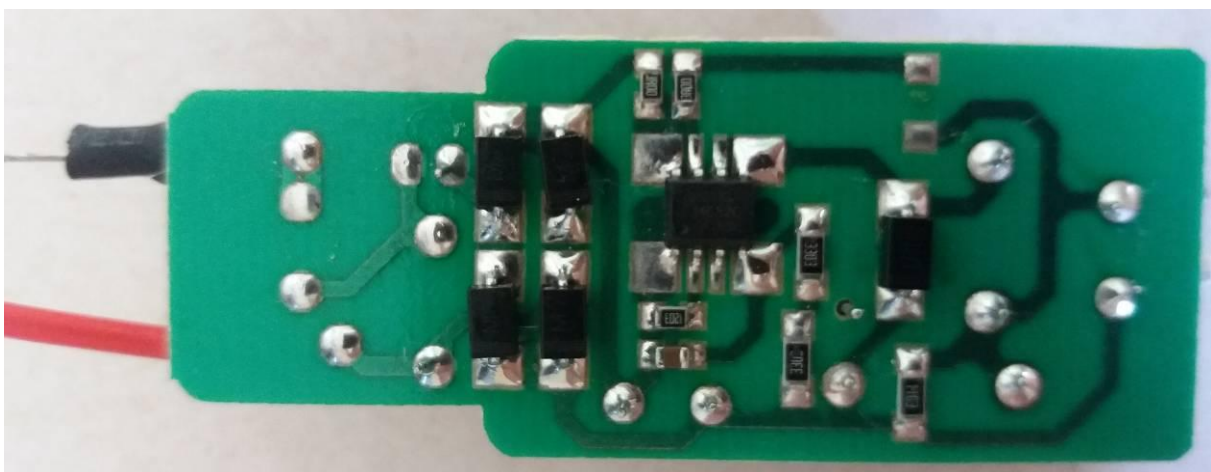


FIGURA 32: VISTA INFERIOR DO CIRCUITO.

Observando as figuras 31 e 32 percebe-se que o circuito apresenta um misto de componentes PTH e SMD. A figura 33 apresenta o resultado do teste de EMI conduzida da lâmpada estudada.

FONTE: HS PRECOM 2.02

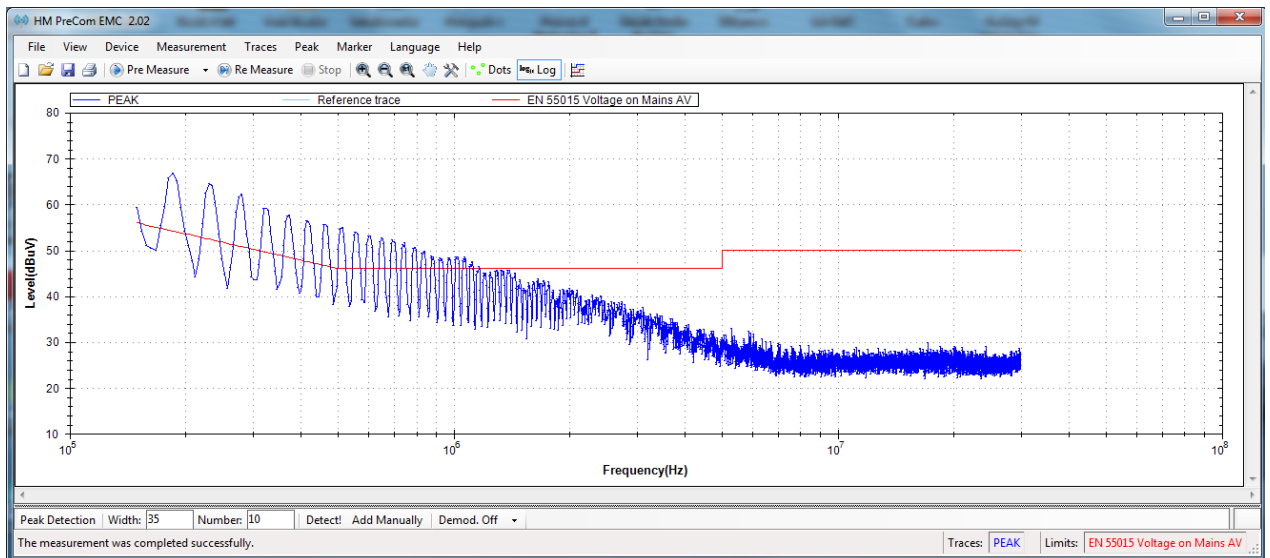


FIGURA 33: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 1.

A figura 33 mostra o resultado do ensaio, semelhante à figura 26, apresentando duas curvas, uma referente aos limites de perturbação extraídos da norma CISPR 15 e a outra curva é o nível de emissão conduzida da lâmpada.

Analisa-se na figura 33 os pontos para desenvolvimento a comparação, com isso percebe-se que o pico inicial nesta lâmpada é de aproximadamente 68dBuV e a faixa de transição de 1.3MHz.

4.2.2 Lâmpada de 9W

A figura 34 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 9W do Fabricante 1.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

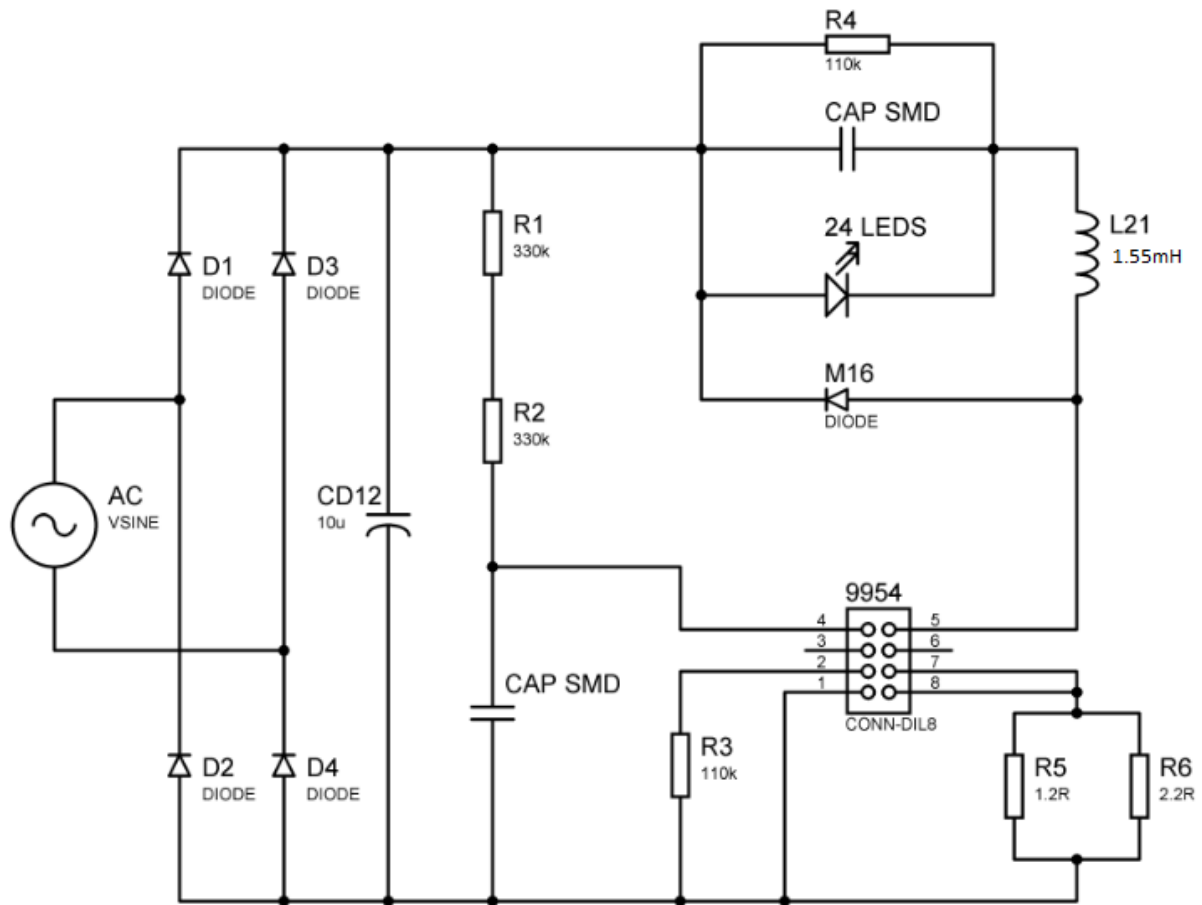


FIGURA 34: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 1).

Percebe-se na figura 34 a semelhança entre os circuitos de controle da lâmpada, o funcionamento do circuito é idêntico, a mudança ocorreu nos componentes, o CI que controla o chaveamento do BP2833A passou para um 9954, ao contrário da lâmpada de 6W, o retificador CA-CC utiliza uma ponte retificadora SMD LLB10 (D1, D2, D3 e D4). O indutor é de 1.55mH e esta lâmpada possui 24 LEDs.

As figuras 35 e 36 apresentam a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

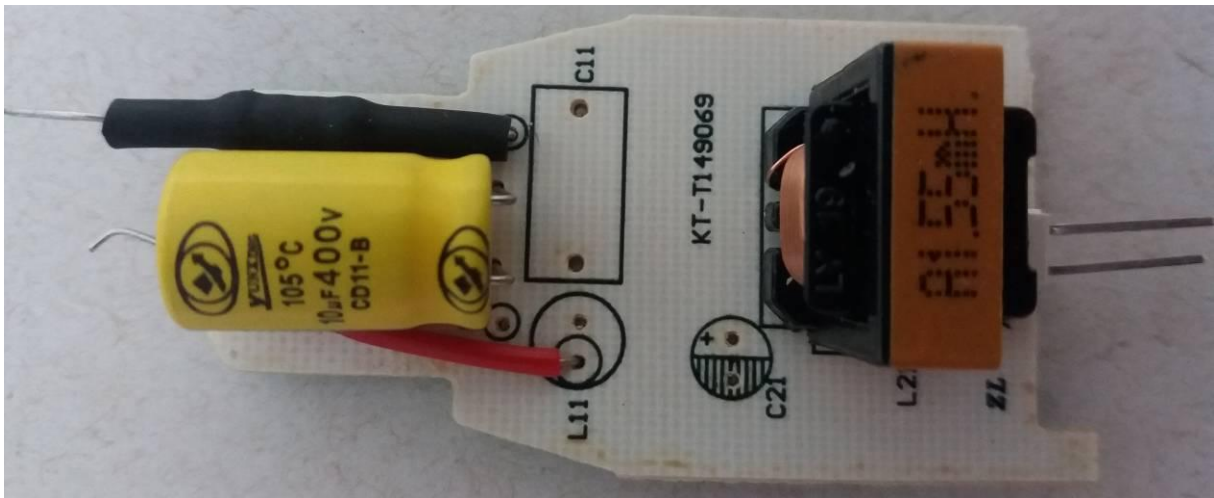


FIGURA 35: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

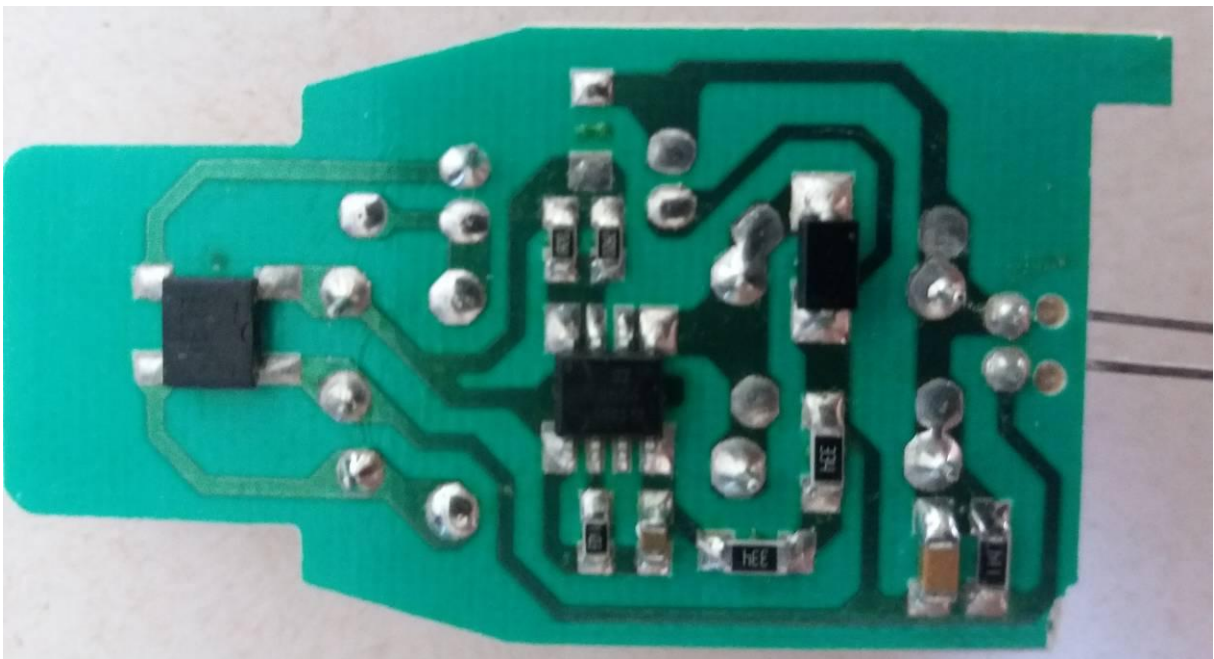


FIGURA 36: VISTA INFERIOR DA PLACA.

Observa-se na figura 35 e figura 36, também há um misto entre componentes PTH e SMD. Na figura 37 tem o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada estudada.

FONTE: HS PRECOM 2.02

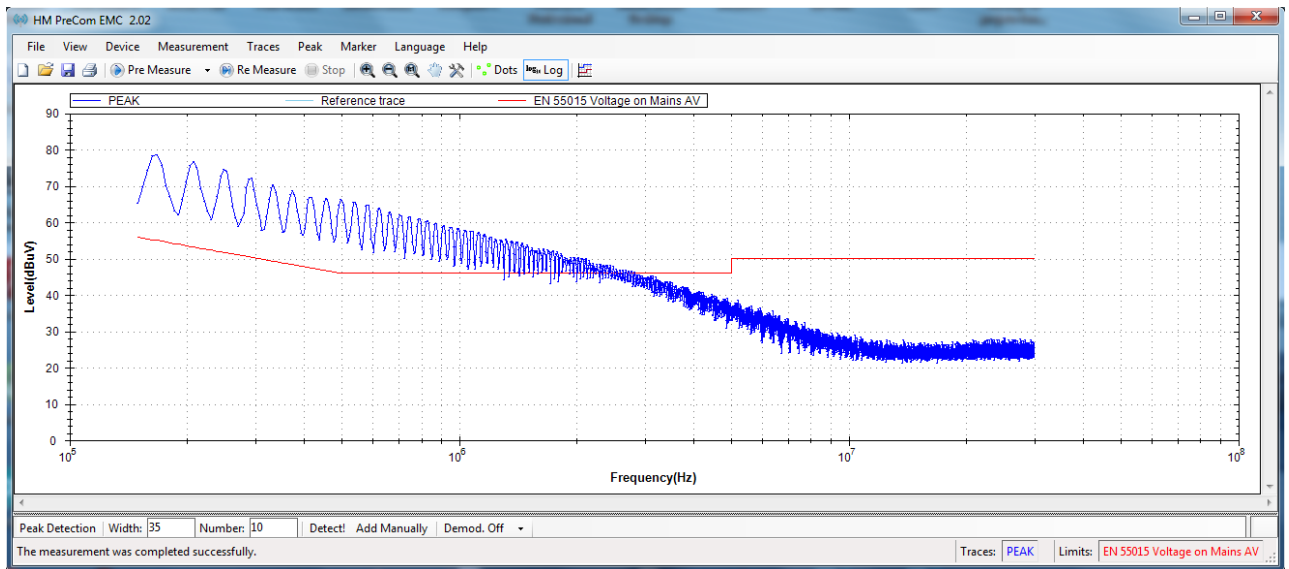


FIGURA 37: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W FABRICANTE 1.

A figura 37 apresenta o resultado do ensaio, percebe-se o pico inicial de 79dBuV e uma faixa de transição de 2.8MHz.

4.2.3 Lâmpada de 12W

A figura 38 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 12W do Fabricante 1.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

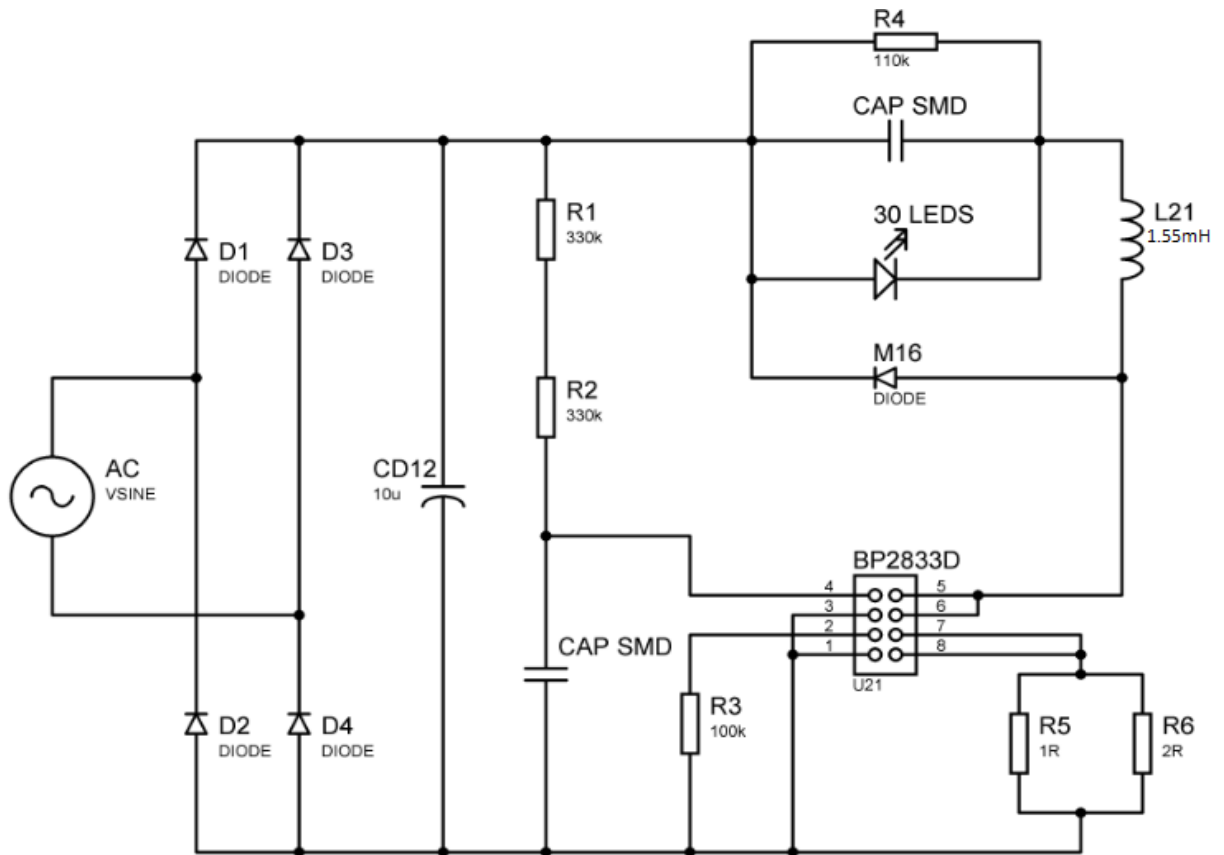


FIGURA 38: CIRCUITO DE CONTROLE DA LÂMPADA DE 12W (FABRICANTE 1).

Este diagrama elétrico é semelhante aos anteriores deste fabricante e o seu funcionamento é o igual ao da lâmpada de 6W, com alguns componentes diferentes. O CI é um BP2833D é o mesmo circuito integrado somente com alterações no encapsulamento. O indutor é de 1.55mH e esta lâmpada possui 30 LEDs.

As figuras 39 e 40 apresentam a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

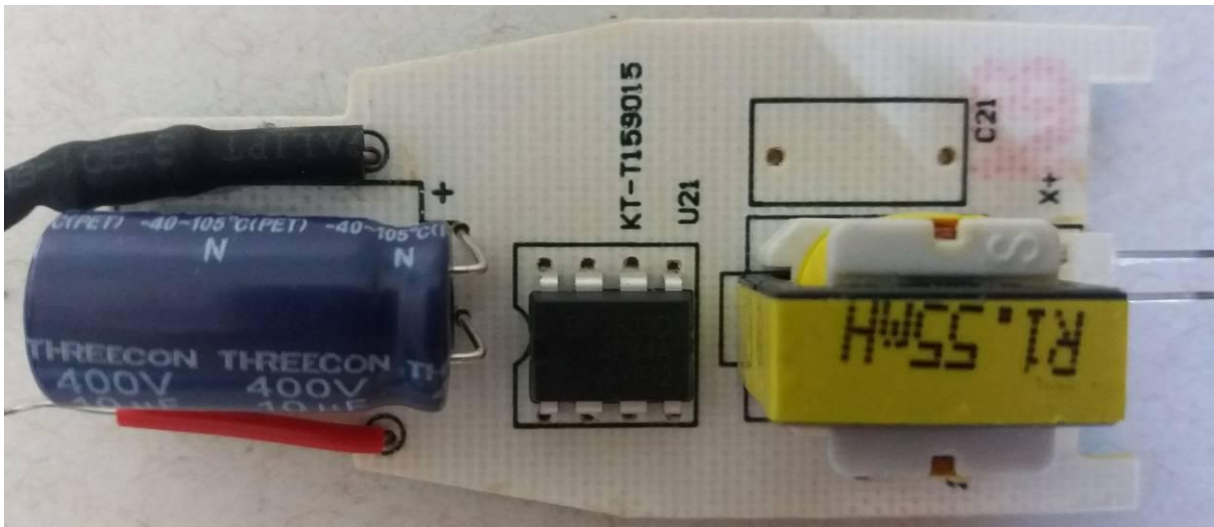


FIGURA 39: VISTA SUPERIOR DA PCI.

Na figura 39 percebe-se o encapsulamento do circuito de controle um DIP8 um componente PTH, em comparação com o encapsulamento SOP8 da lâmpada de 6W, um componente SMD.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

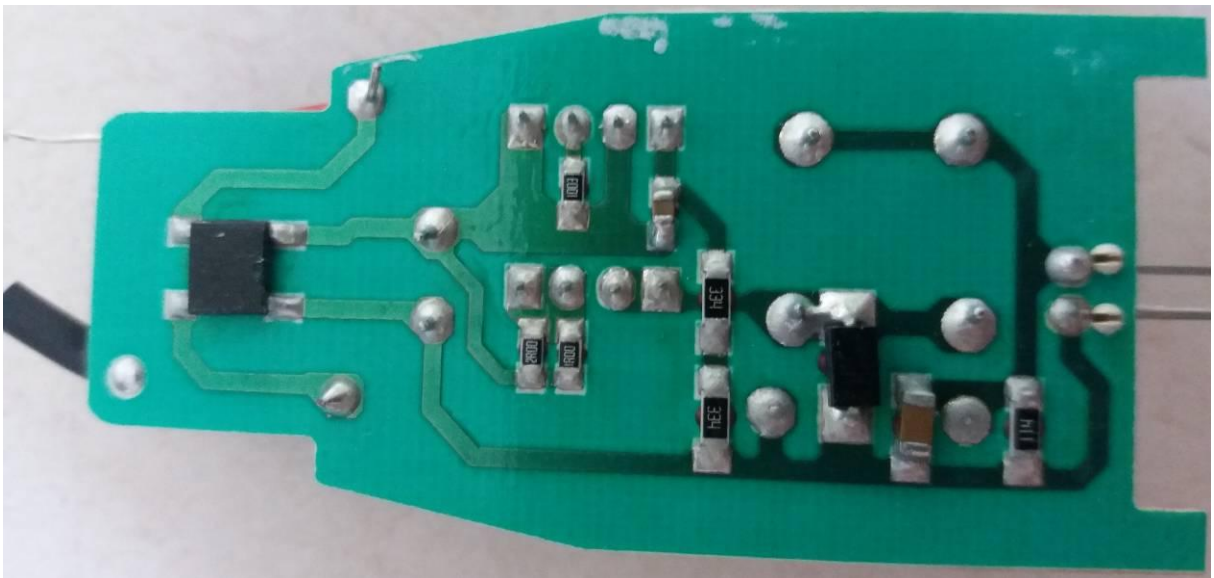


FIGURA 40: VISTA INFERIOR DA PCI.

A figura 41 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada estudada.

FONTE: HS PRECOM 2.02

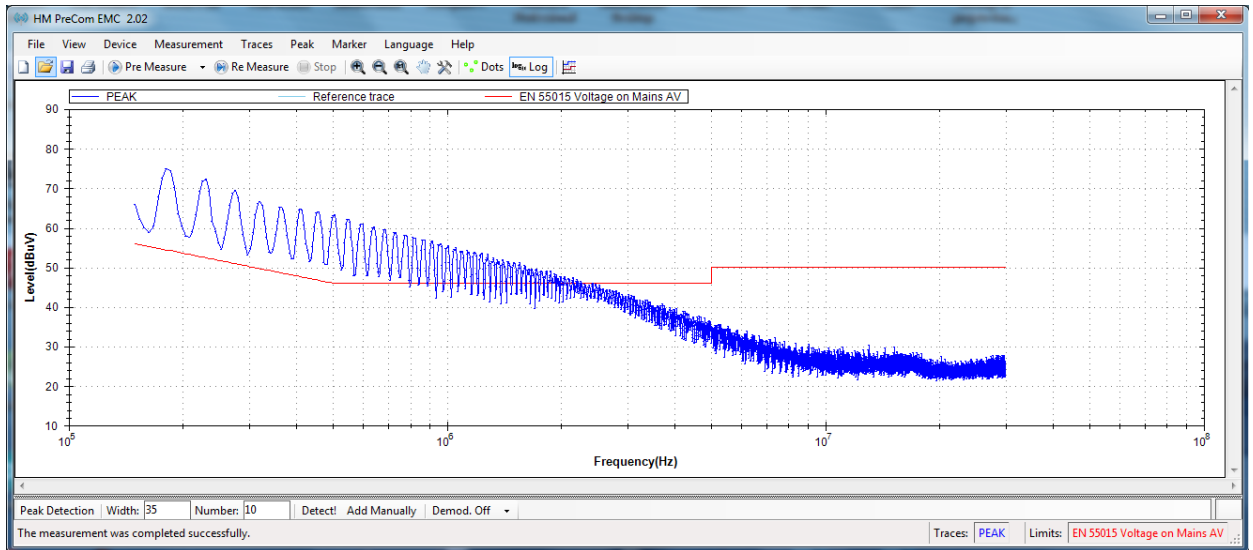


FIGURA 41: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W FABRICANTE 1.

A figura 41 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada estudada, percebe-se um pico inicial de 75dBuV e uma faixa de transição de aproximadamente 2.5MHz.

4.2.4 COMPARAÇÃO FABRICANTE 1

A primeira comparação elaborada é exposta no quadro 6 é a quantidade de LEDs de cada lâmpada do fabricante.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 1	NÚMERO DE LEDS
LÂMPADA DE 6W	14
LÂMPADA DE 9W	24
LÂMPADA DE 12W	30

QUADRO 6: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA.

Observando o quadro 6, a grande quantidade de LEDs das lâmpadas utilizada pelo fabricante 1. A figura 42 apresenta os testes de conformidade das lâmpadas do fabricante 1.

FONTA: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

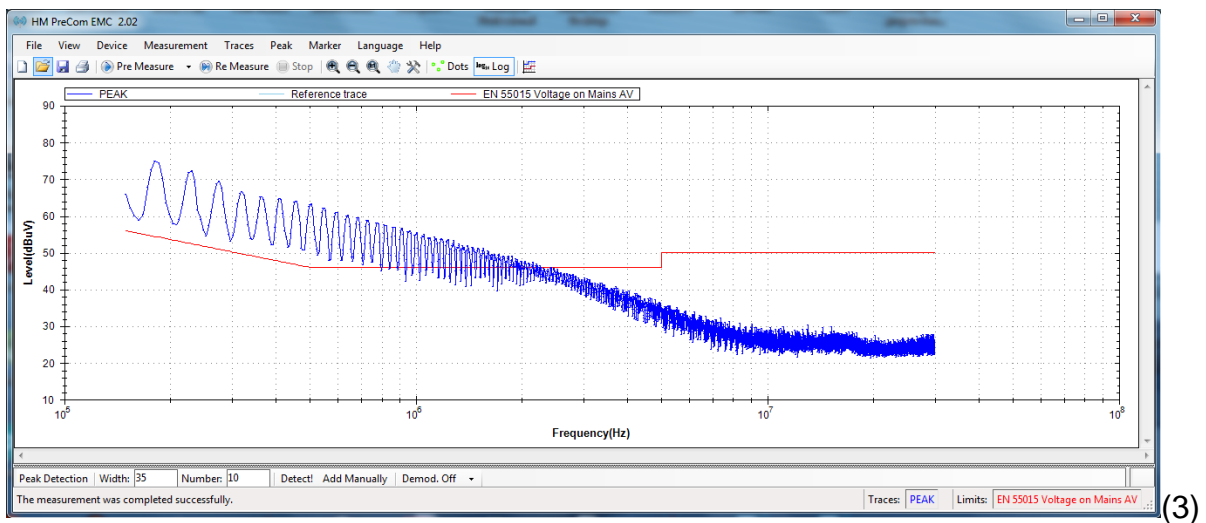
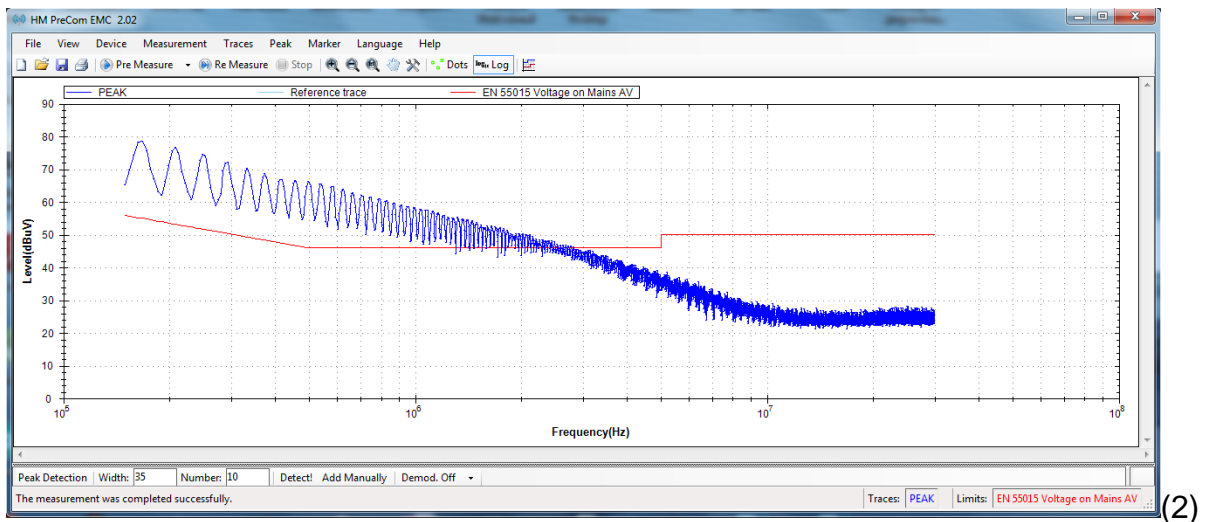
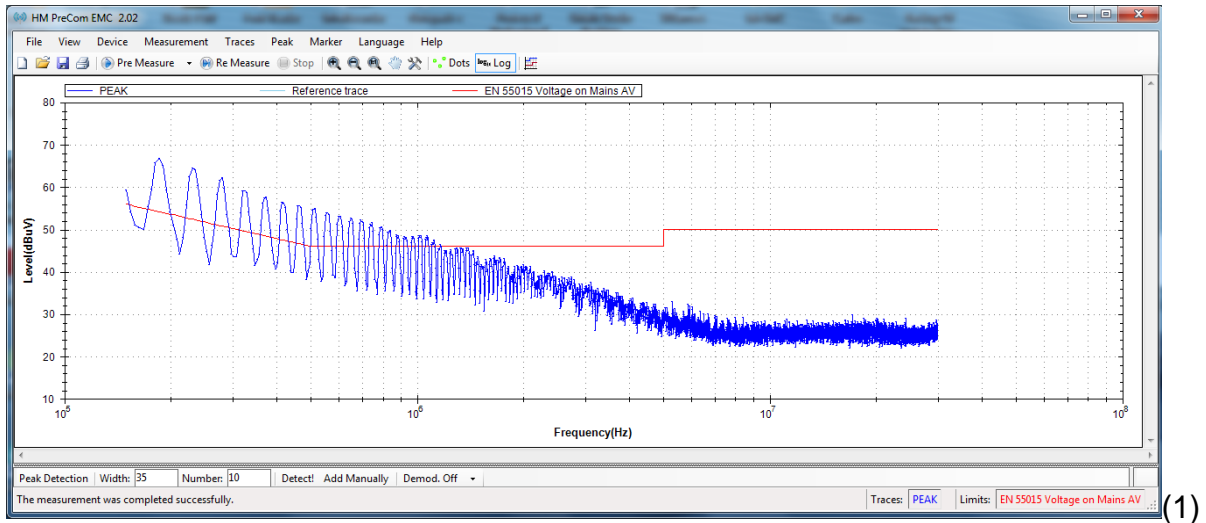


FIGURA 42: TESTES DE CONFORMIDADE DAS LÂMPADAS DE 6W (1), 9W (2) E 12W (3), (FABRICANTE 1).

Após análise da figura 42, observa-se que a faixa de transição da lâmpada de 9W e 12W estão próximas entre 2.5 e 2.8 MHz. Já o pico inicial do teste realizado em 150kHz, na lâmpada de 9W é de 79dBuV, pois enquanto na lâmpada de 12W é por volta de 75dBuV. Há diversas hipóteses sobre o desempenho das lâmpadas, como por exemplo, projeto do indutor, acoplamentos capacitivos e indutivos gerados pela comutação dos semicondutores, a razão cíclica em que trabalha o circuito de controle, e diversos outros fenômenos físicos referentes à EMC.

Comparando todas as lâmpadas, a de potência de 6W apresenta melhor comportamento em relação as outras duas amostras, pois a faixa de transição 1.3MHz e o pico inicial em 68dBuV. O quadro 7 apresenta as características analisadas de acordo com a figura 42.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 1	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
LÂMPADA DE 6W	1.3	68
LÂMPADA DE 9W	2.8	79
LÂMPADA DE 12W	2.5	75

QUADRO 7: COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Os níveis da escala foram elaborados de acordo com as características de comportamento e analisou-se o pico inicial e faixa de transição. O objetivo do trabalho não é de mostrar se as lâmpadas estão dentro da norma, pois o teste não foi realizado num setup padrão de testes. O nível de escala é: 1 (Bom), 2 (Regular) e 3 (Ruim).

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	LÂMPADA
NÍVEL 1	LÂMPADA 6W
NÍVEL 2	LÂMPADA 12W
NÍVEL 3	LÂMPADA 9W

QUADRO 8: NÍVEIS DE COMPARAÇÃO FABRICANTE 1.

A lâmpada que apresentou melhor desempenho em EMI do Fabricante 1 foi a com potência de 6W, ficando com o nível 1, a lâmpada de 12W mostrou o segundo melhor comportamento e o pior desempenho foi apresentada pela lâmpada de 9W, conforme o quadro 8.

4.3 RESULTADOS DO FABRICANTE 2:

4.3.1 Lâmpada de 6W

A figura 43 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 6W do Fabricante 2.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

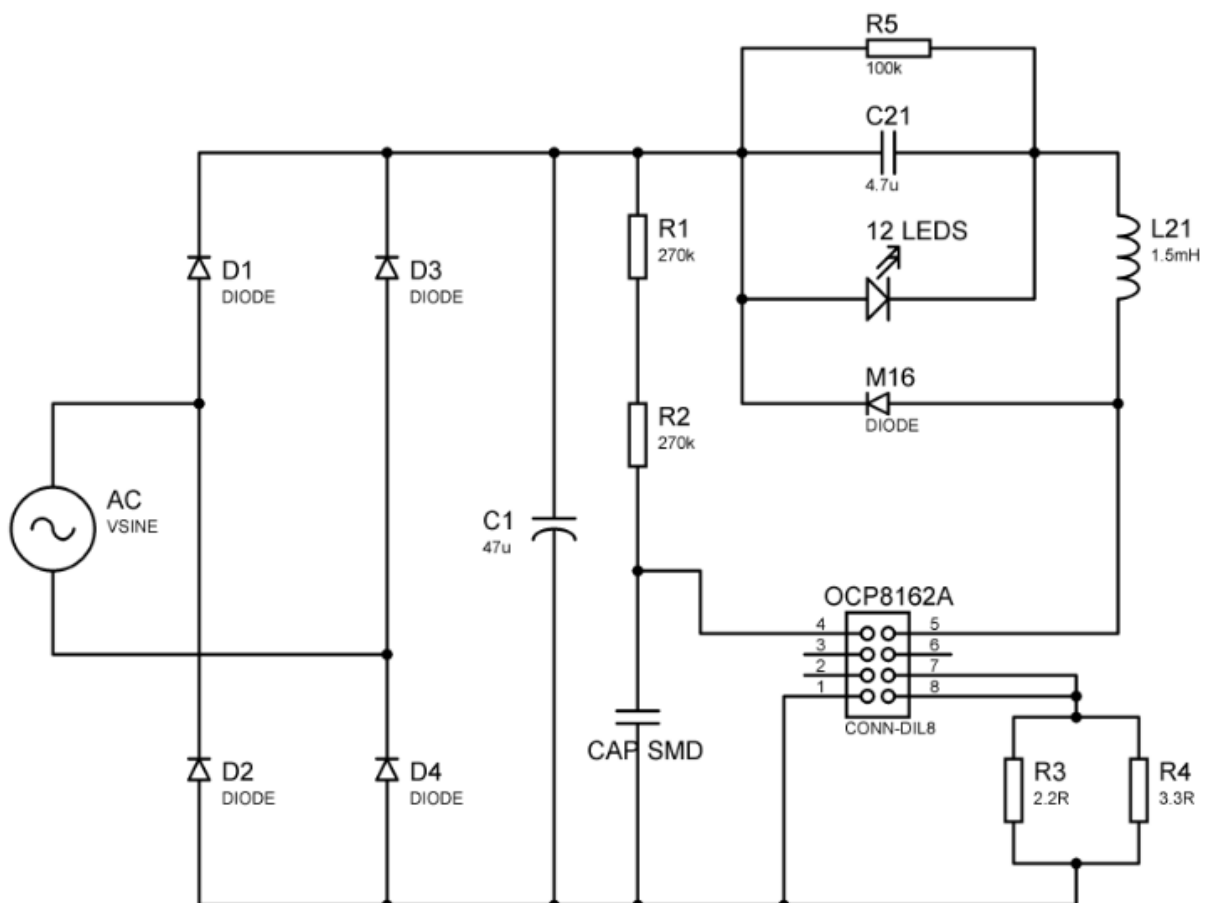


FIGURA 43: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA DE 6W (FABRICANTE 2).

Percebe-se na figura 43 que o diagrama elétrico do circuito de controle é o mesmo das lâmpadas já estudadas do fabricante 1, uma hipótese é de seu

funcionamento ser o semelhante. O CI que controla o chaveamento é diferente dos circuitos anteriores. O Indutor é de 1.5mH e a lâmpada possui 12 LEDs.

As figuras 44 e 45 mostram a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle da lâmpada de 6W do fabricante 2.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

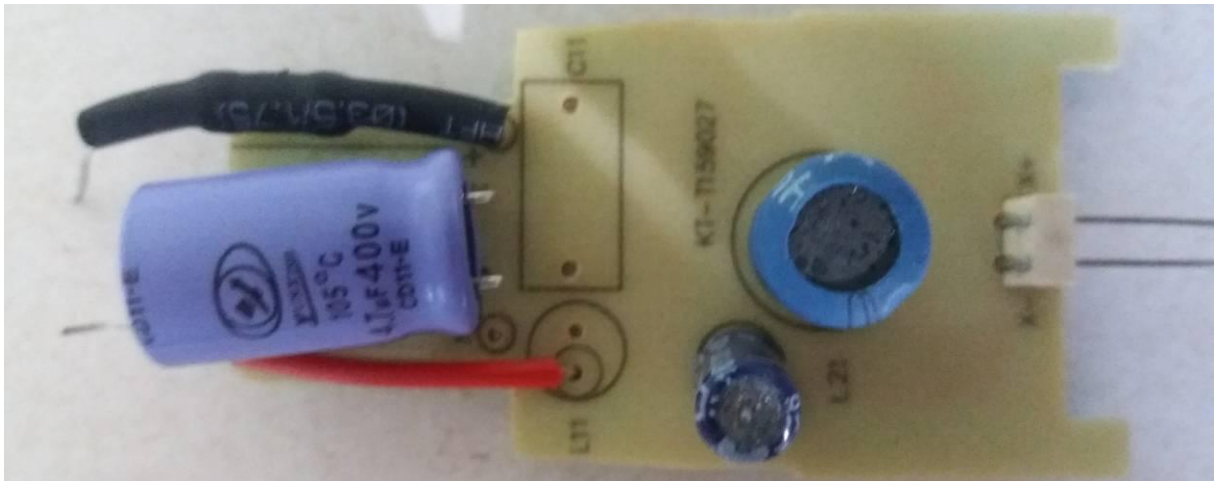


FIGURA 44: VISTA SUPERIOR DA PCI.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

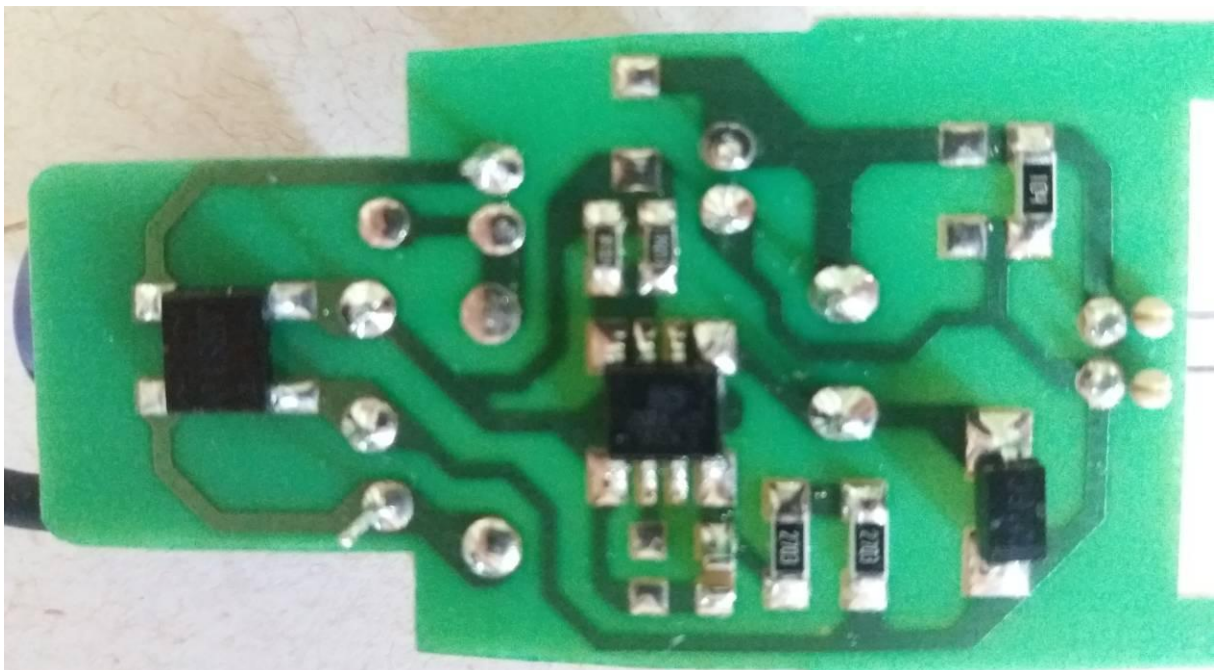


FIGURA 45: VISTA INFERIOR DA PCI.

A figura 46 apresenta o resultado do ensaio da lâmpada de 6W do fabricante 2.

FONTE: HS PRECOM 2.02 (2017)

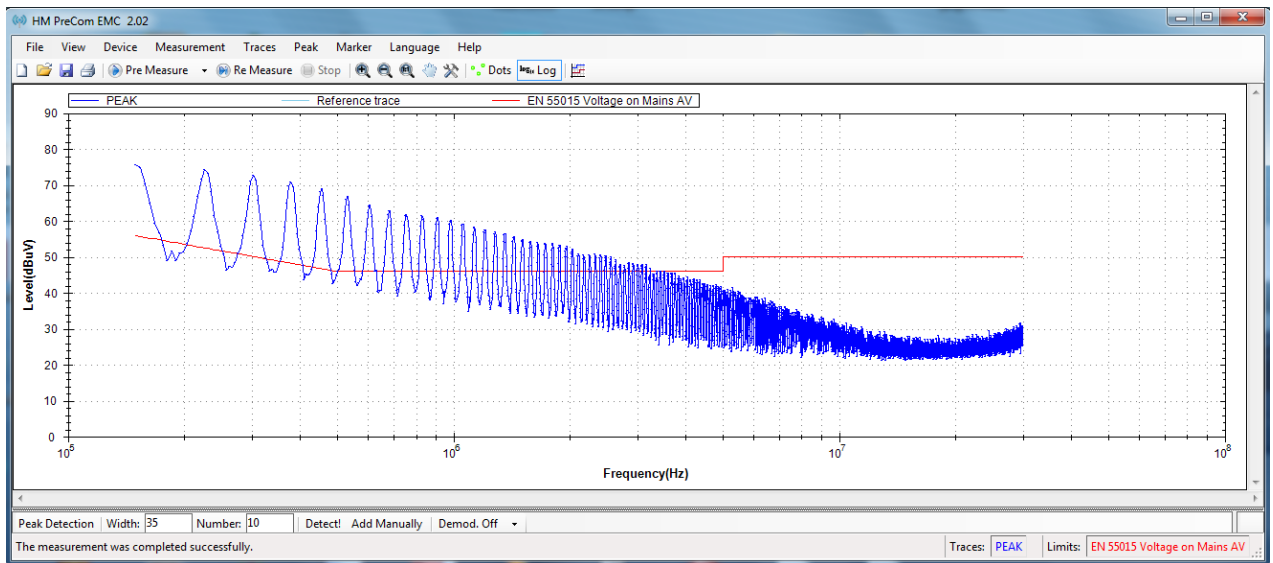


FIGURA 46: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W FABRICANTE 2.

Após analisar a figura 46 percebe-se o pico inicial de 76 dBuV e uma faixa de transição de 3.8 MHz no qual é as características a serem utilizadas na comparação das lâmpadas do fabricante 2.

4.3.2 Lâmpada de 9W

A figura 47 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 9W do fabricante 2.

Percebe-se no diagrama elétrico que a disposição dos componentes é semelhante a das lâmpadas já estudadas, portanto é pressuposto que o funcionamento do circuito integrado é semelhante ao da lâmpada de 6W do fabricante 1.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

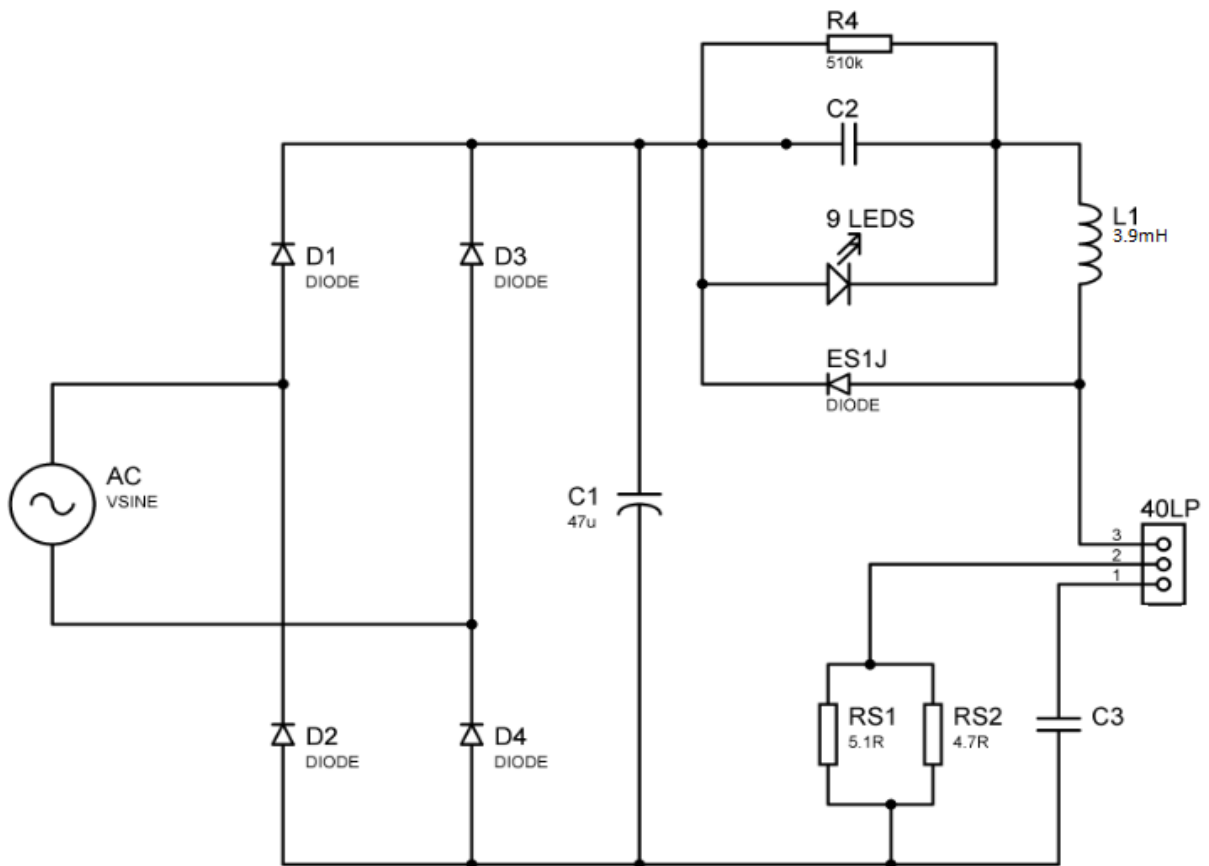


FIGURA 47: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 2).

Após exposição do circuito de controle na figura 47, observa-se que a lâmpada possui 9 LEDs e um indutor de 3.9mH.

As figuras 48 e 49 apresentamm a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle utilizado pela lâmpada.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

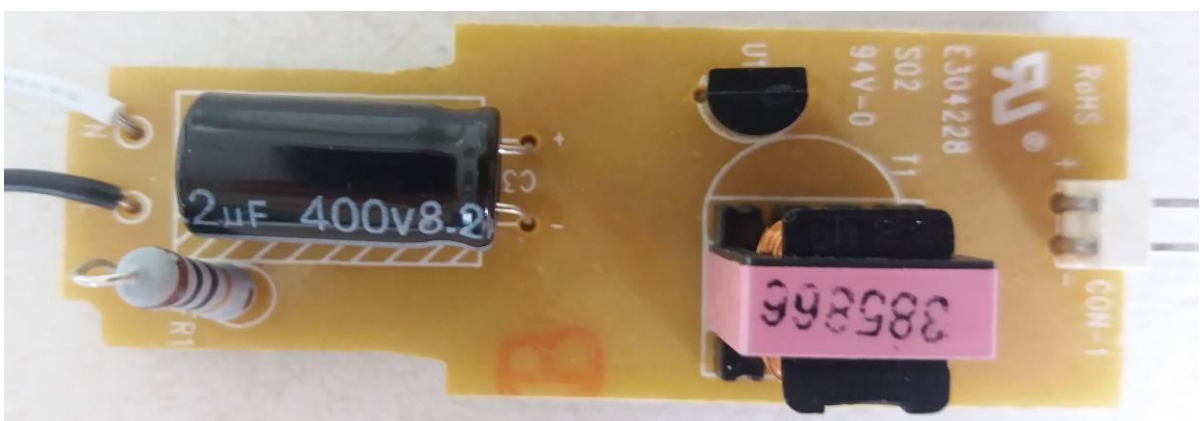


FIGURA 48: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

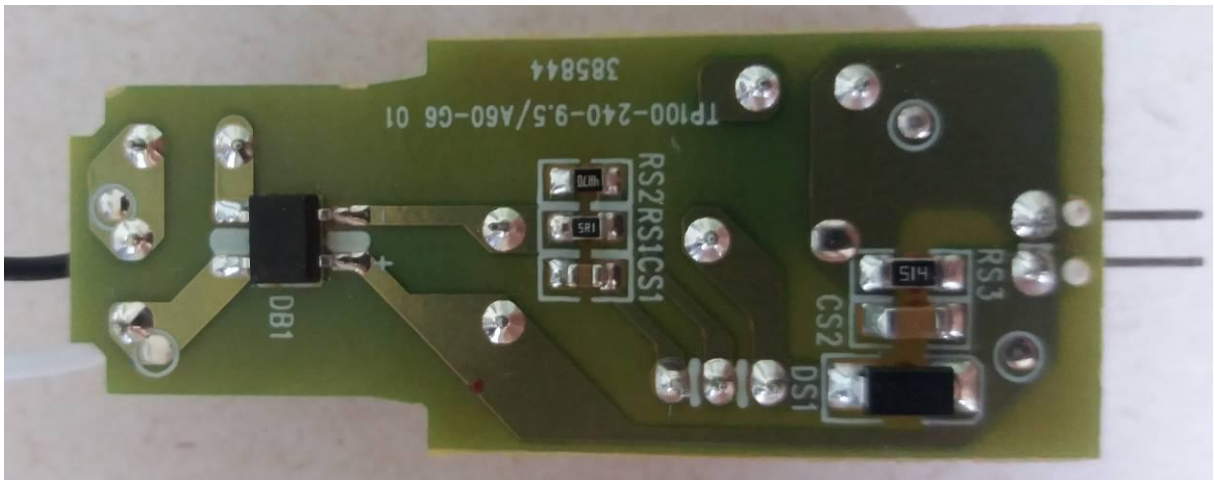


FIGURA 49: VISTA INFERIOR DA PLACA.

Percebe-se um misto de componentes SMD e PTH como nos outros circuitos estudados. A figura 50 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada.

FONTE: HS PRECOM 2.02 (2017)

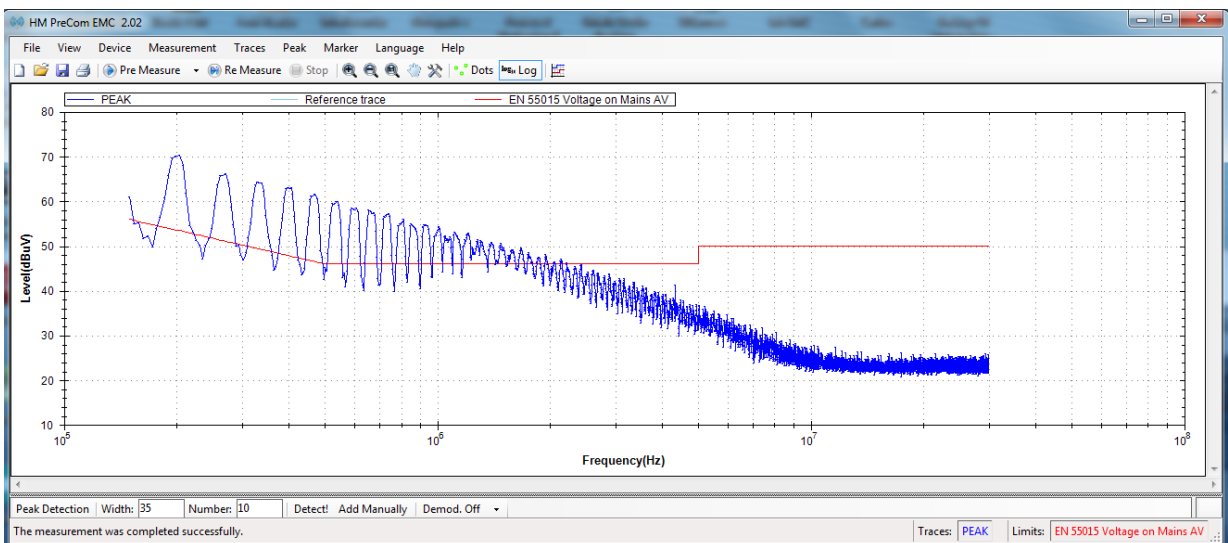


FIGURA 50: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 2).

A figura 50 mostra o resultado do ensaio e analisando as duas características para desenvolvimento da comparação, percebe-se um pico inicial de 70 dBuV e uma faixa de transição de aproximadamente 2.5 MHz.

4.3.3 Lâmpada de 12W

A figura 51 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 12W do Fabricante 2.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

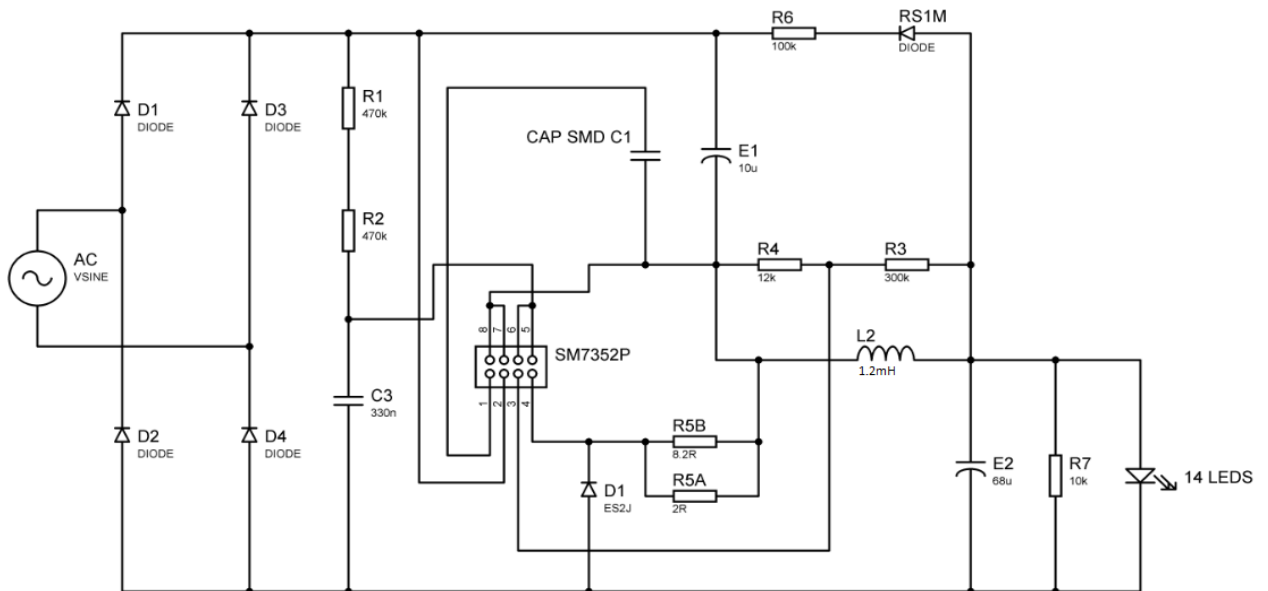


FIGURA 51: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 2).

Observa-se na figura 51 um circuito de controle mais complexo que os estudados anteriormente, possui um número maior de componentes, mas uma suposição é de seu funcionamento ser equivalente aos já vistos. O circuito é composto por um indutor de 1.2mH e 14 LEDs.

As figuras 52 e 53 apresentam a vista superior e inferior da PCB do respectivo circuito.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

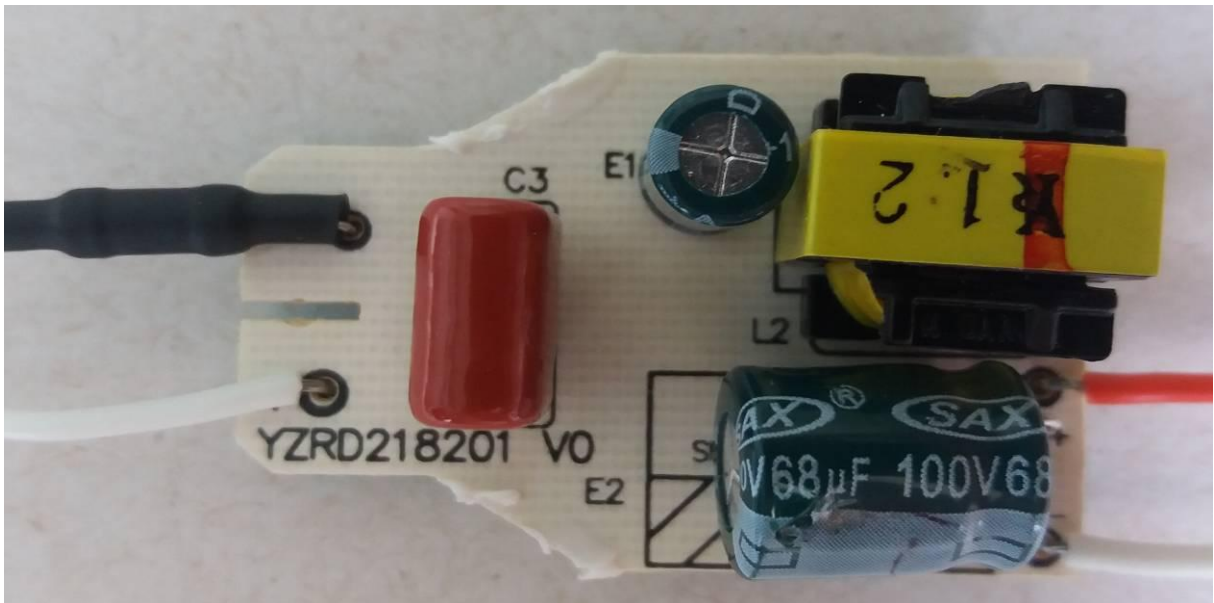


FIGURA 52: VISTA SUPERIOR DO CIRCUITO.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

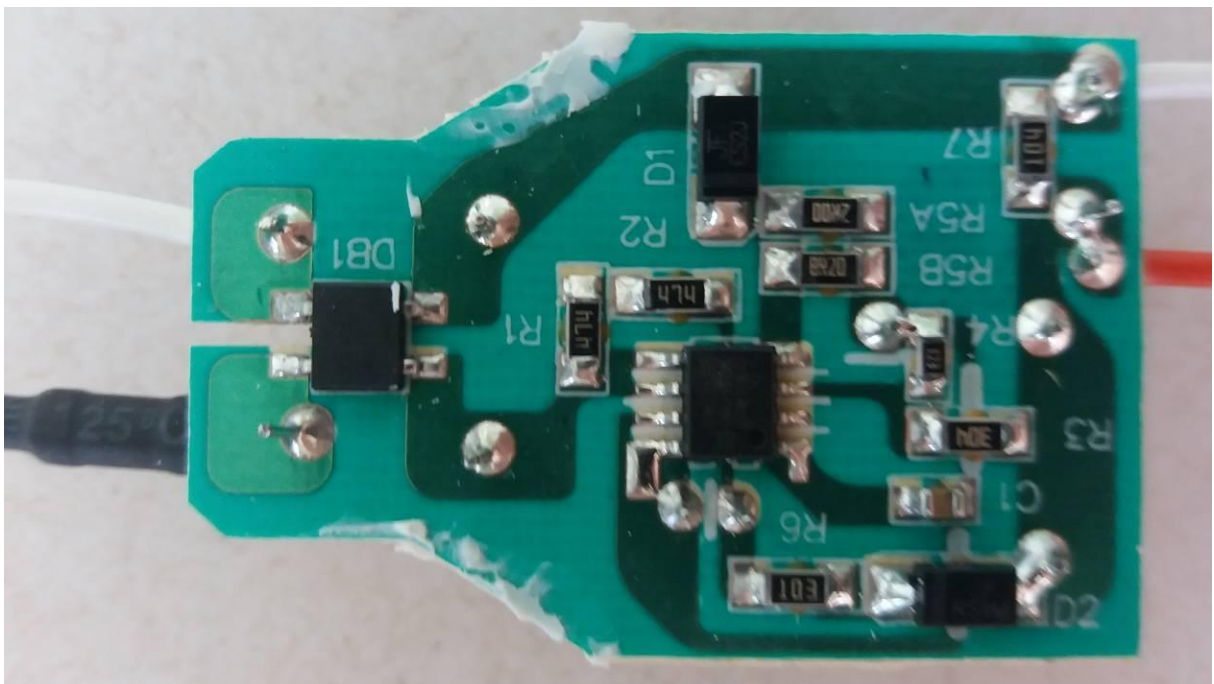


FIGURA 53: VISTA INFERIOR DO CIRCUITO.

A figura 54 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada de 12W do fabricante 2.

FONTA: HS PRECOM 2.02

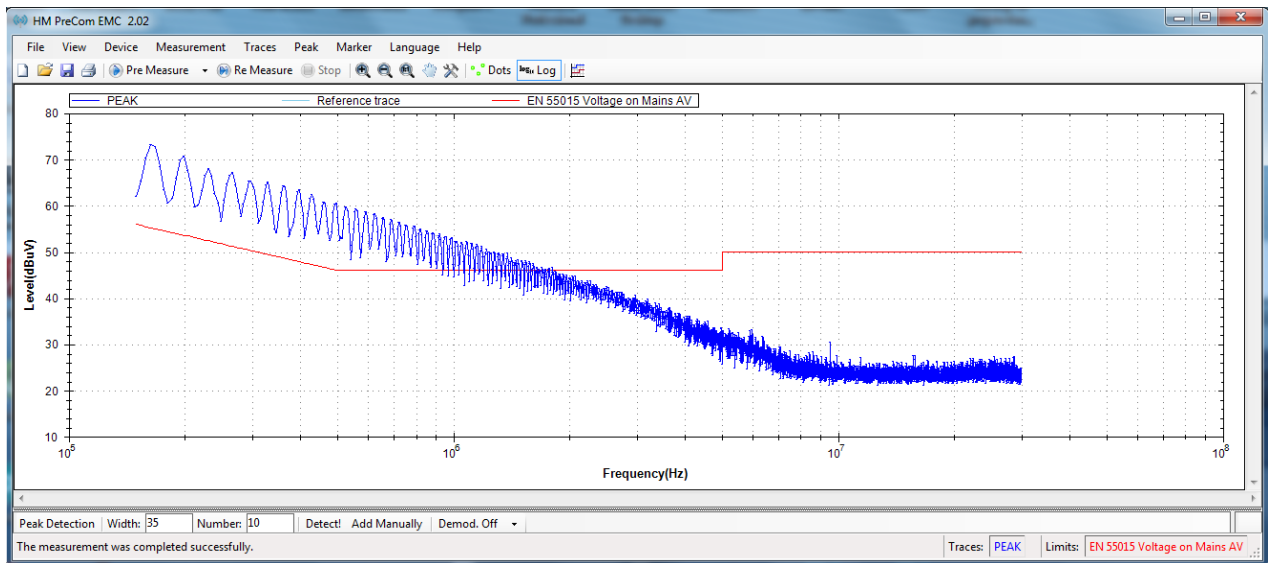


FIGURA 54: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 2).

Observa-se na figura 54 as características para o desenvolvimento da comparação, analisando o resultado do ensaio a lâmpada apresenta um pico inicial de 74 dBuV e uma faixa de transição de 1.8MHz.

4.3.4 COMPARAÇÃO FABRICANTE 2

A primeira comparação elaborada é exposta no quadro 9 é a quantidade de LEDs de cada lâmpada do fabricante.

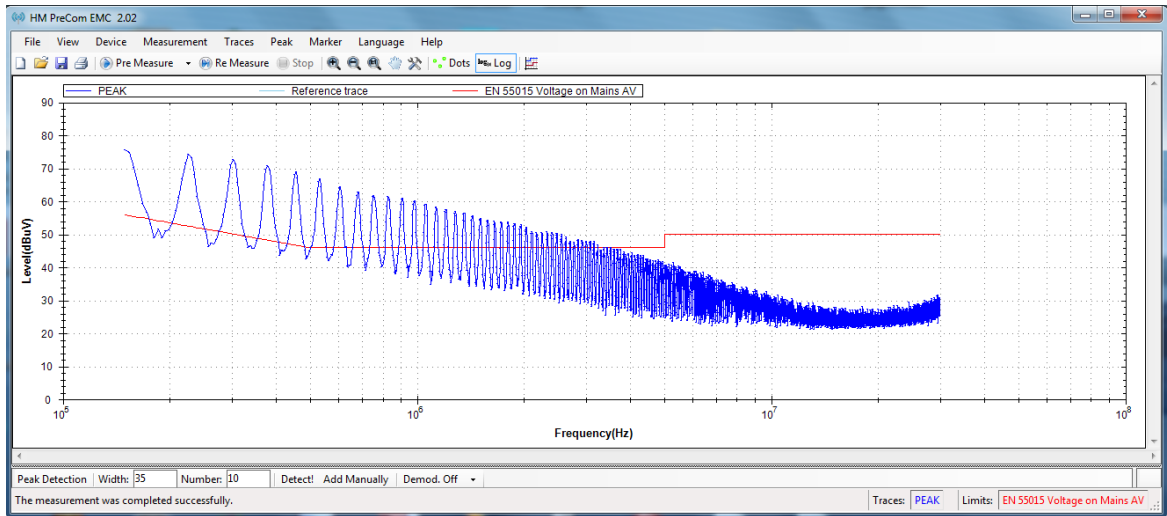
FONTA: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 2	NÚMERO DE LEDS
LÂMPADA DE 6W	12
LÂMPADA DE 9W	9
LÂMPADA DE 12W	14

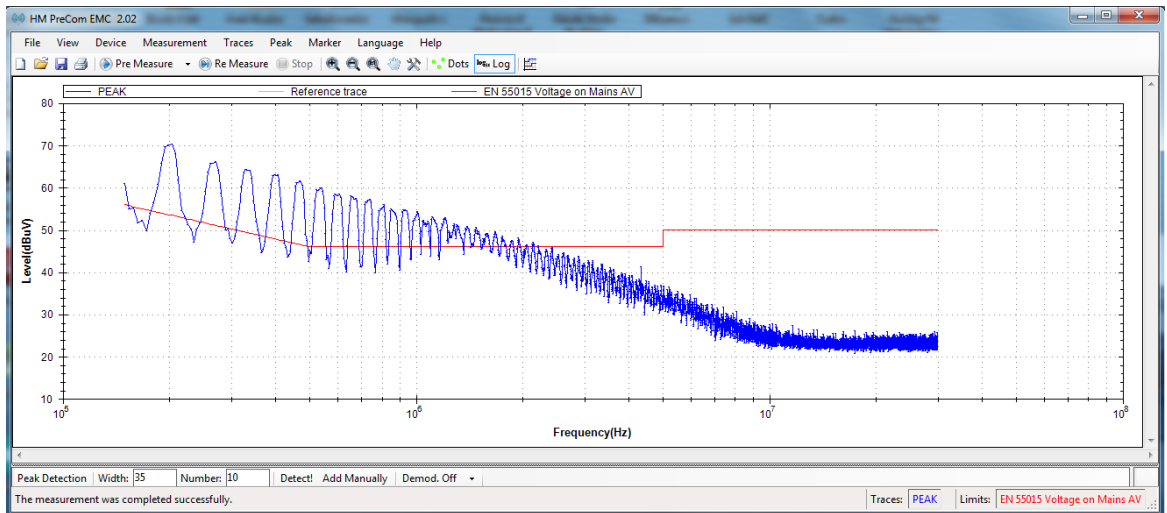
QUADRO 9: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA.

Percebe-se no quadro 9, uma menor quantidade de LEDs utilizados nas lâmpadas do fabricante 2 em relação ao fabricante 1. Na figura 55 tem os testes de conformidade das lâmpadas do fabricante 2.

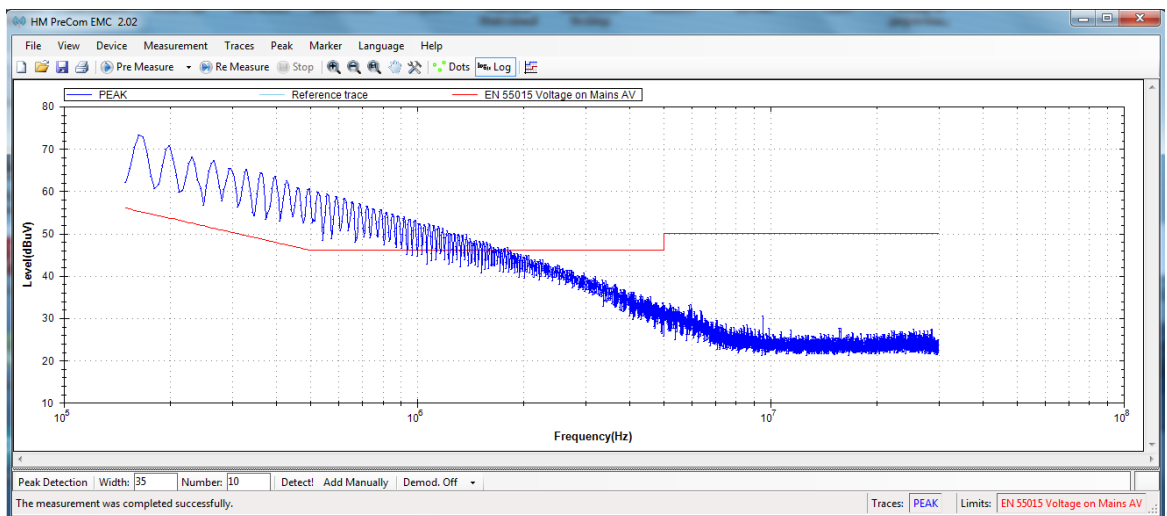
FORNE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)



(1)



(2)



(3)

FIGURA 55: TESTES DE CONFORMIDADE DAS LÂMPADAS DE 6W (1), 9W (2) E 12W (3), (FABRICANTE 2).

Após análise da figura 55, observa-se que a faixa de transição da lâmpada de 6W está em 4MHz e já a faixa de transição das lâmpadas de 9W e 12W estão entre 1.8MHz e 2.5MHz. Já o pico inicial, do teste realizado em 150kHz, da lâmpada de 6W é a pior. Com isso faz que seu ensaio seja o pior do fabricante 2. A características das lâmpadas de 9W e 12W são melhores em comparação a outra amostra. Para elaboração de uma escala de 1 a 3. O quadro 10 apresenta as características analisadas de acordo com a figura 55.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 2	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
LÂMPADA DE 6W	3.8	76
LÂMPADA DE 9W	2.5	70
LÂMPADA DE 12W	1.8	74

QUADRO 10: COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Os níveis da escala foram elaborados de acordo com as características de comportamento e analisou-se o pico inicial e faixa de transição. O objetivo do trabalho não é de mostrar se as lâmpadas estão dentro da norma, pois o teste não foi realizado num setup padrão. O nível de escala é: 1 (Bom), 2 (Regular) e 3 (Ruim).

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	LÂMPADA
NÍVEL 1	LÂMPADA 9W
NÍVEL 2	LÂMPADA 12W
NÍVEL 3	LÂMPADA 6W

QUADRO 11: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO FABRICANTE 2.

A lâmpada que apresentou melhor comportamento em EMC do fabricante 2, foi a lâmpada de 9W, ficando com o nível 1, já a lâmpada de 12W mostrou a segunda melhor característica, e a pior lâmpada é a de 6W, conforme exposto no quadro 11.

4.4 RESULTADOS DO FABRICANTE 3:

4.4.1 Lâmpada de 6W

A figura 56 apresenta o esquemático do circuito de controle integrado a base da lâmpada de 6W do fabricante 3.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

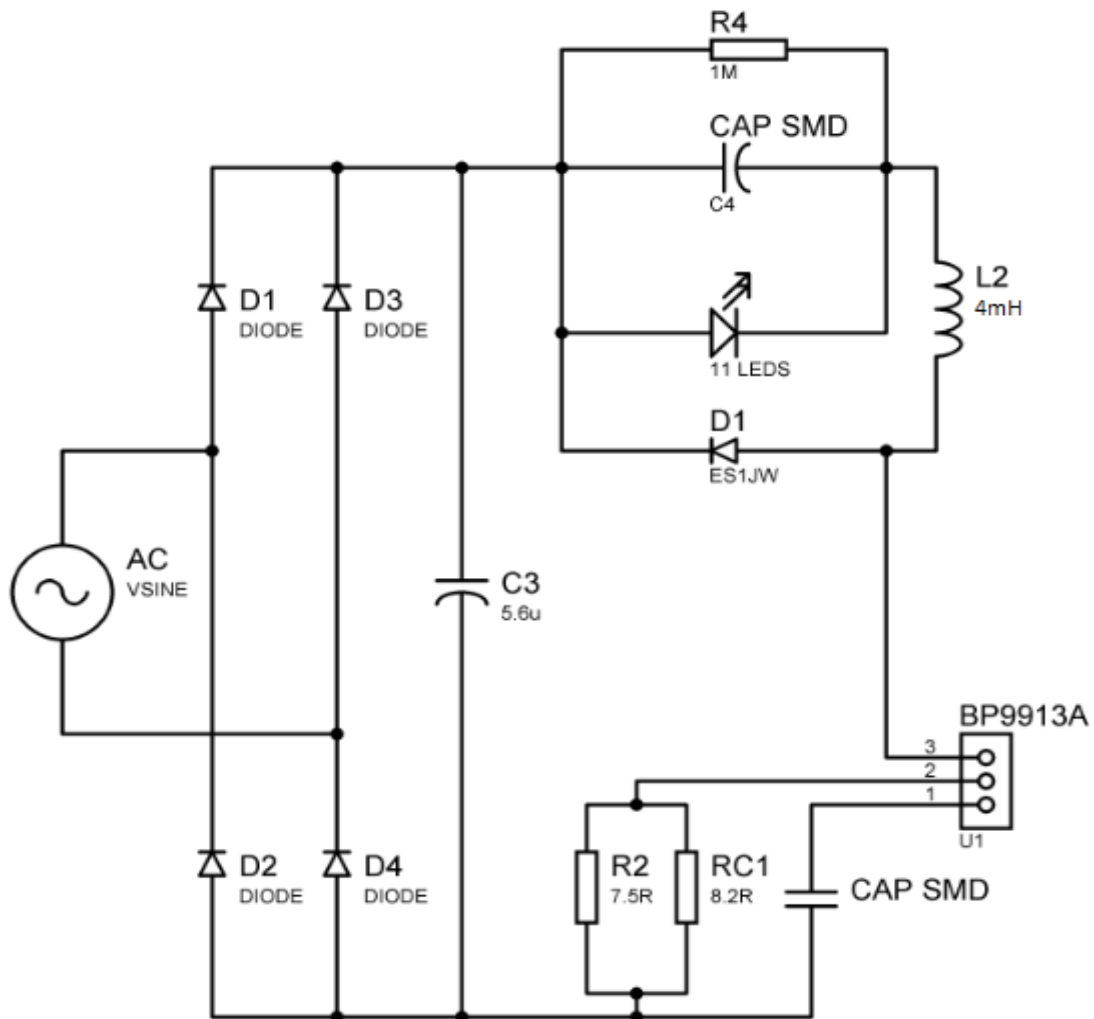


FIGURA 56: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 3).

O circuito de controle utilizado pela lâmpada de 6W é semelhante aos já estudados, percebe-se pela disposição dos componentes que seu funcionamento tende a ser o mesmo das lâmpadas já estudadas. A lâmpada possui 11 LEDs e um indutor de 4mH.

As figuras 57 e 58 apresentam a vista superior e inferior da PCI do circuito de controle.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

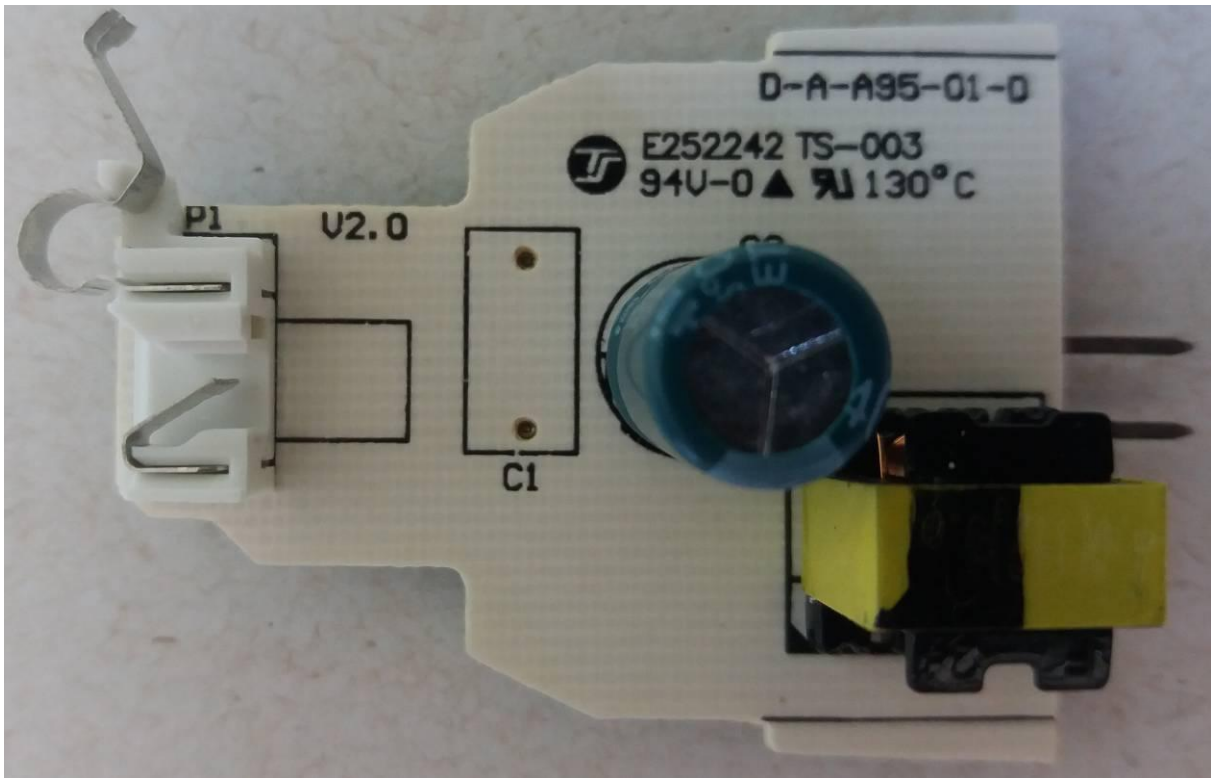


FIGURA 57: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

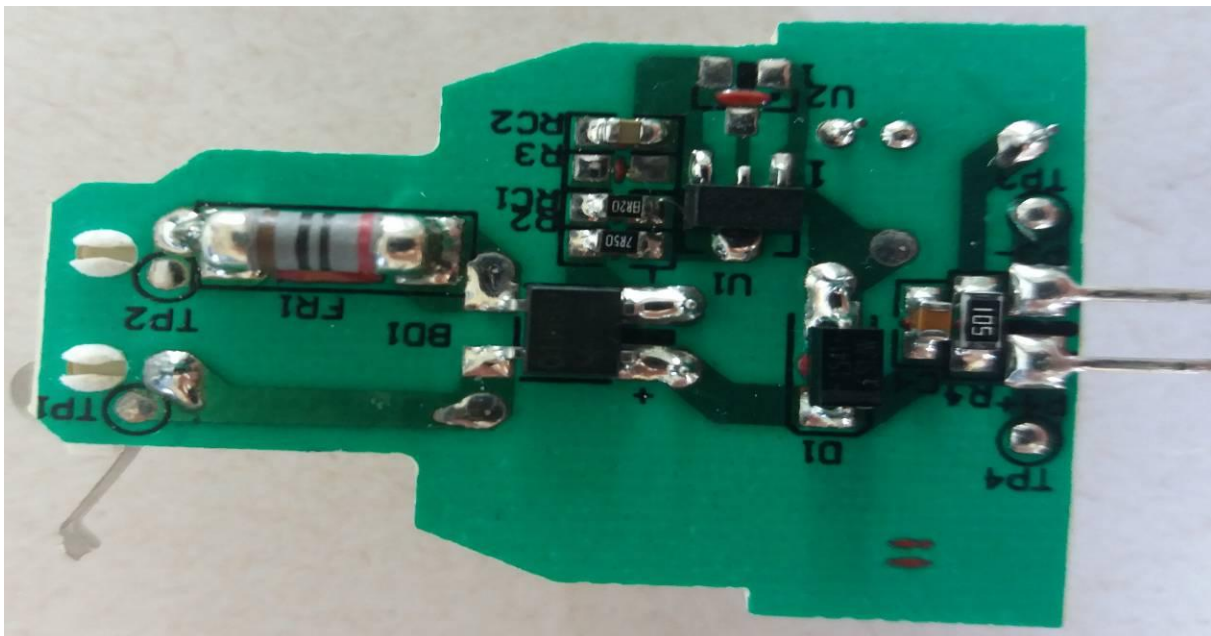


FIGURA 58: VISTA INFERIOR DA PLACA.

Nas figuras 57 e 58 percebe-se um misto de componentes SMD e PTH na PCI. A figura 59 apresenta o resultado do ensaio da lâmpada de 6W do fabricante 3.

FONTE: HS PRECOM 2.02

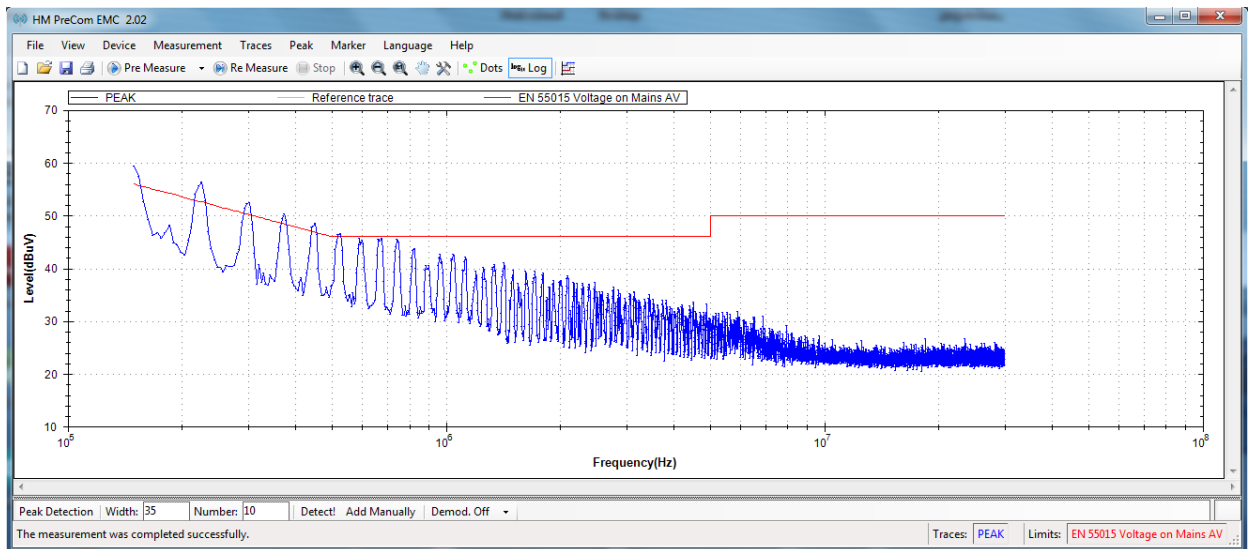


FIGURA 59: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 3).

Para elaboração das comparações dois pontos no ensaio exposto na figura 59 são observados, o pico inicial e a faixa de transição, onde o pico inicial é aproximadamente de 60dBuV e a faixa de transição é de 0.6MHz.

4.4.2 Lâmpada de 9W

A figura 60 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 9W do fabricante 3. Percebe-se que o circuito de controle da lâmpada de 9W do fabricante 3 é semelhante ao da lâmpada de 6W, com isso suspeita-se que o seu funcionamento seja o mesmo de todas as lâmpadas já estudadas.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

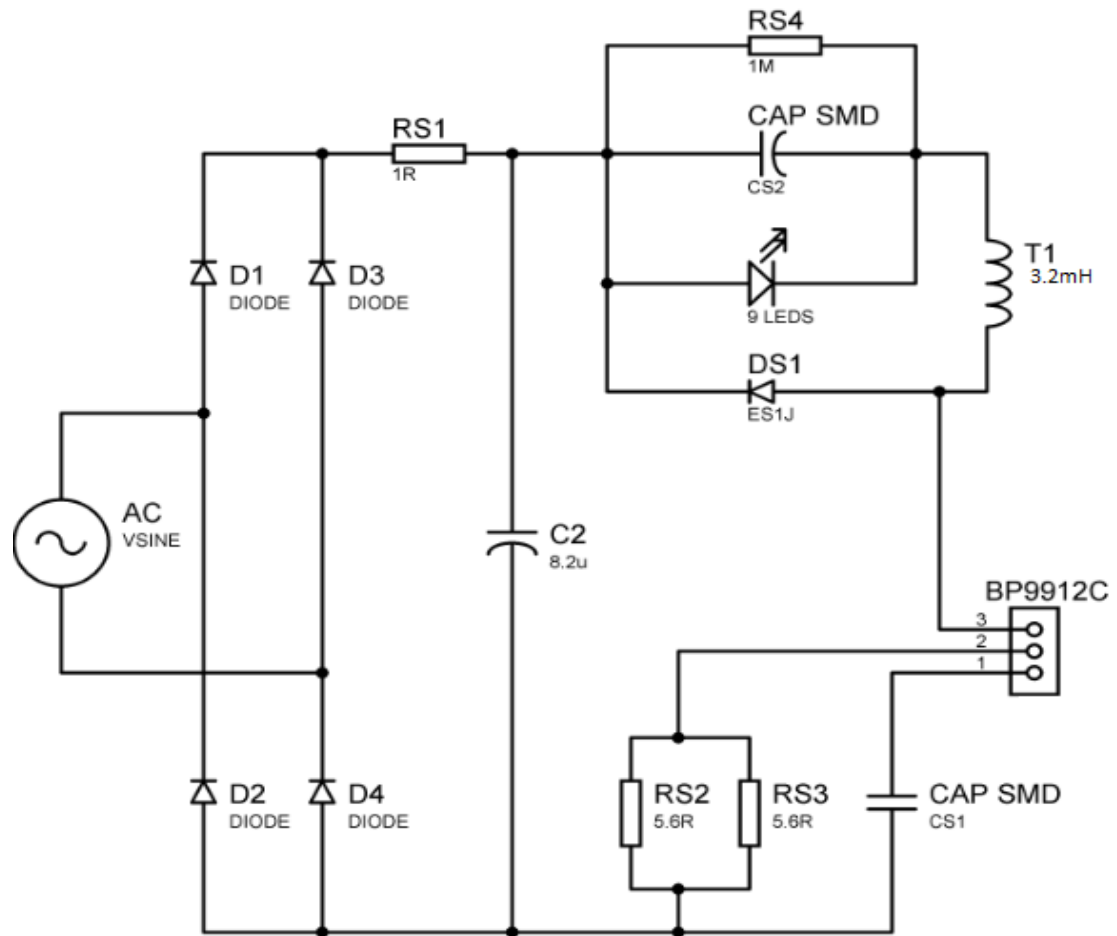


FIGURA 60: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 3)

A lâmpada possui 9 LEDs e um indutor (T1) de 3.2mH. Nas figuras 61 e 62 tem a vista inferior e superior da PCB da lâmpada de 9W do fabricante 3.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

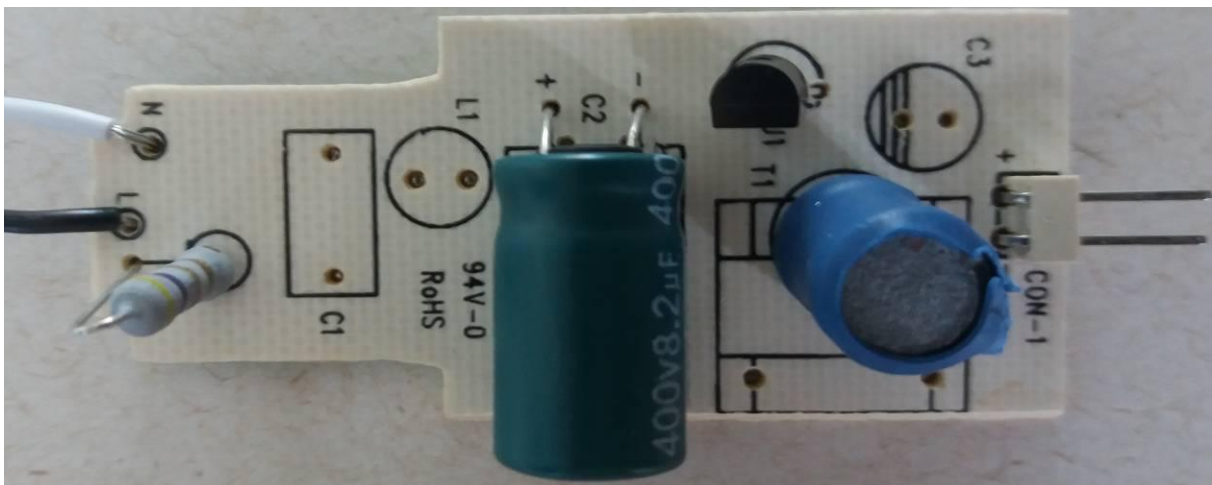


FIGURA 61: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

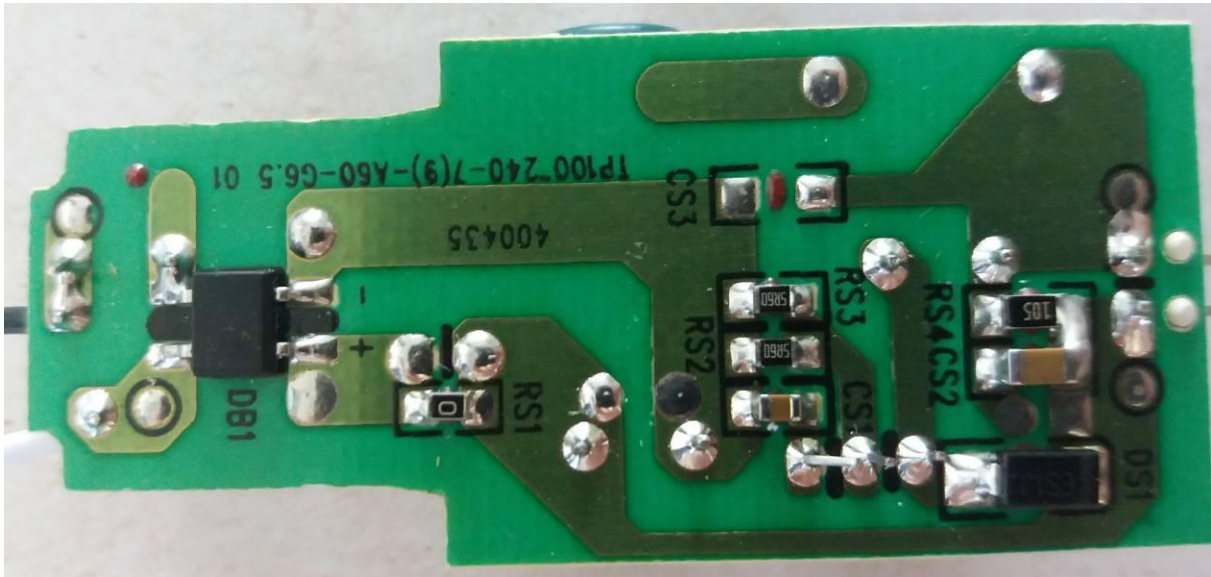


FIGURA 62: VISTA INFERIOR DA PLACA.

A figura 63 apresenta o resultado do ensaio do teste de emissão conduzida da lâmpada de 9W do fabricante 3.

FONTE: HS PRECOM 2.02

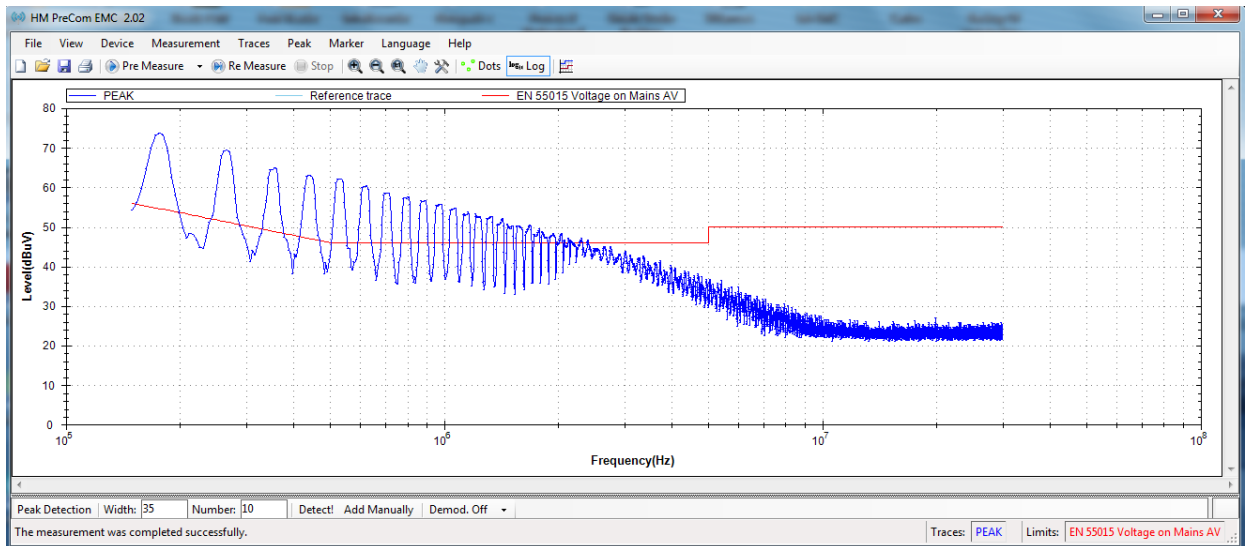


FIGURA 63: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 3).

Na figura 63 observa-se as características a serem analisadas para elaboração da comparação, onde o pico é aproximadamente de 74 dBuV e a faixa de transição é de 2.5MHz.

4.4.3 Lâmpada de 12W

A figura 64 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 12W do Fabricante 3.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

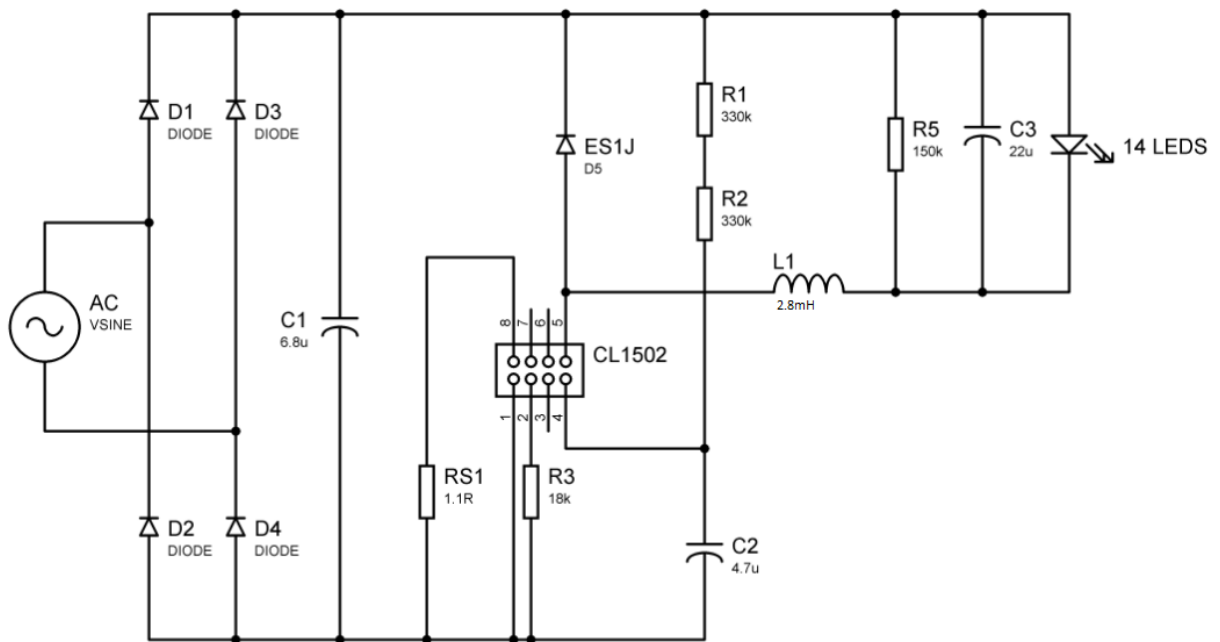


FIGURA 64: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 3)

Percebe-se na figura 64 que o circuito de controle da lâmpada de 12W é semelhante aos já estudados, uma hipótese que seu funcionamento é o mesmo das outras lâmpadas. O CI que controla o chaveamento é diferente, a lâmpada possui 14 LEDs e um indutor de 2.8mH.

As figuras 65 e 66 apresentam a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle da lâmpada de 12W do fabricante 3.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

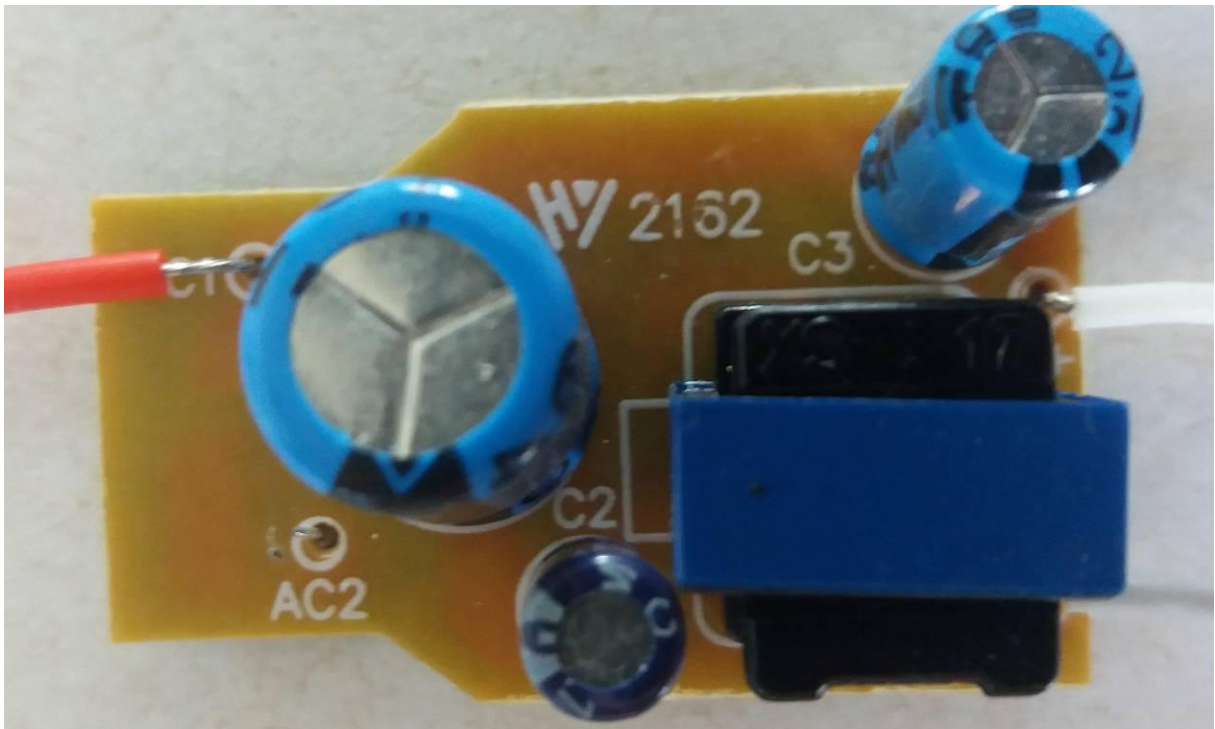


FIGURA 65: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

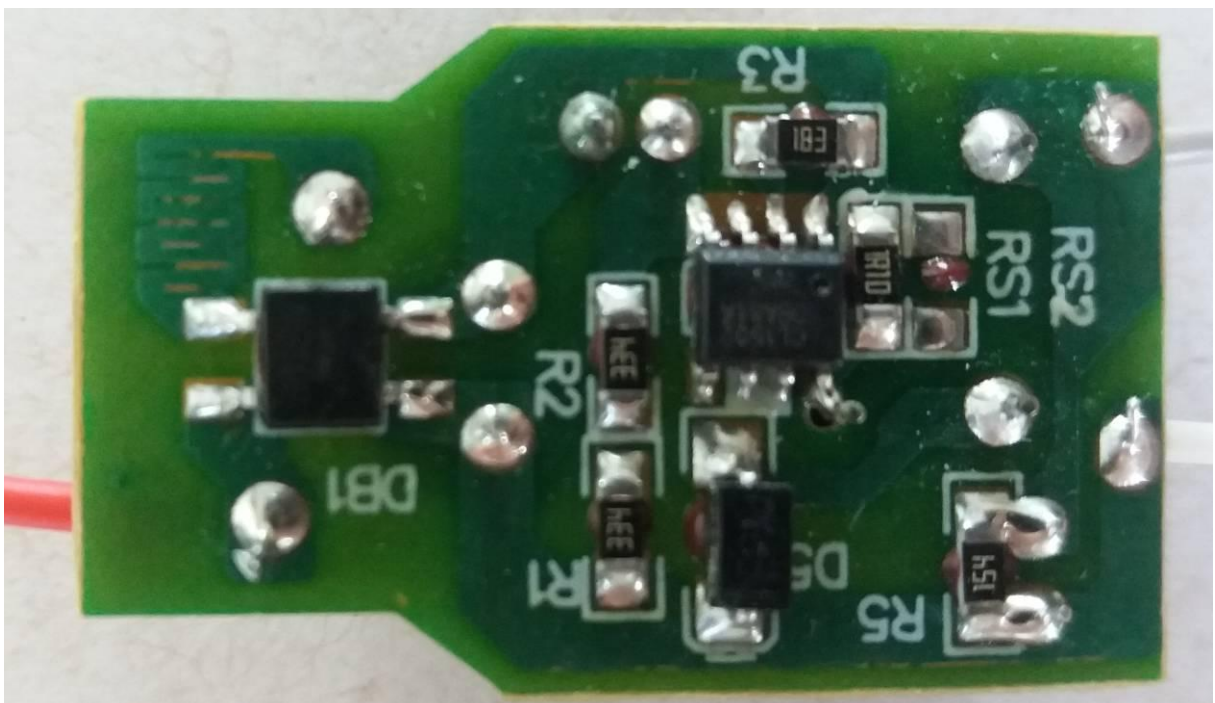


FIGURA 66: VISTA INFERIOR DA PLACA.

A figura 67 apresenta o resultado do ensaio realizado de emissão conduzida da lâmpada.

FONTE: HS PRECOM 2.02

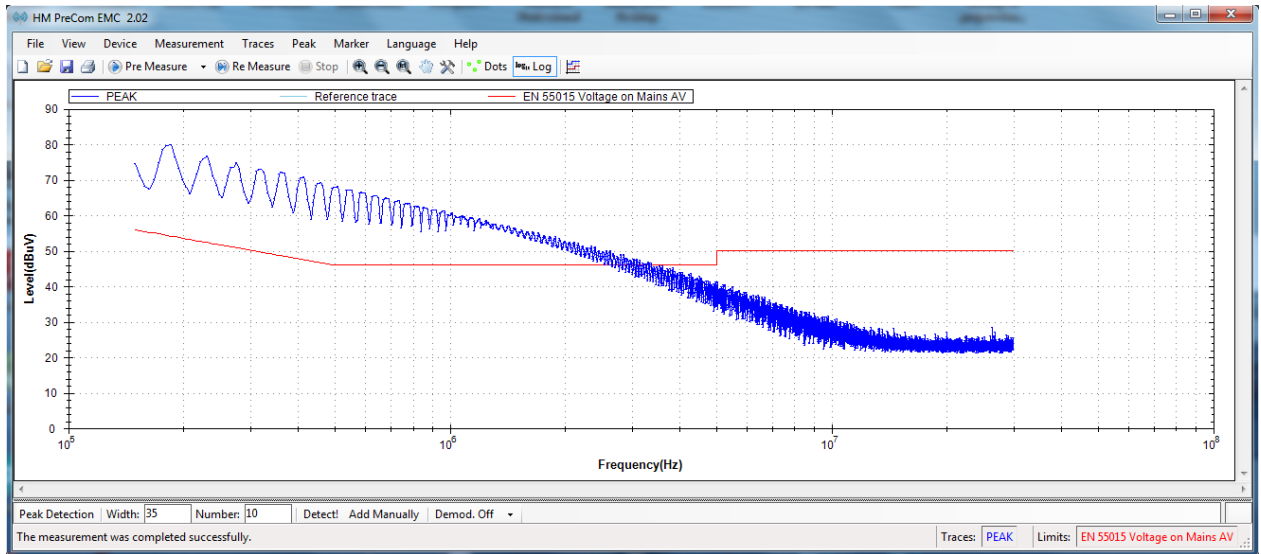


FIGURA 67: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 3).

Após apresentação do resultado do ensaio. Observa-se na figura 67 as características de pico inicial e faixa de transição, onde o pico é de 80dBuV e a faixa de transição em 3.5MHz.

4.4.4 COMPARAÇÃO FABRICANTE 3

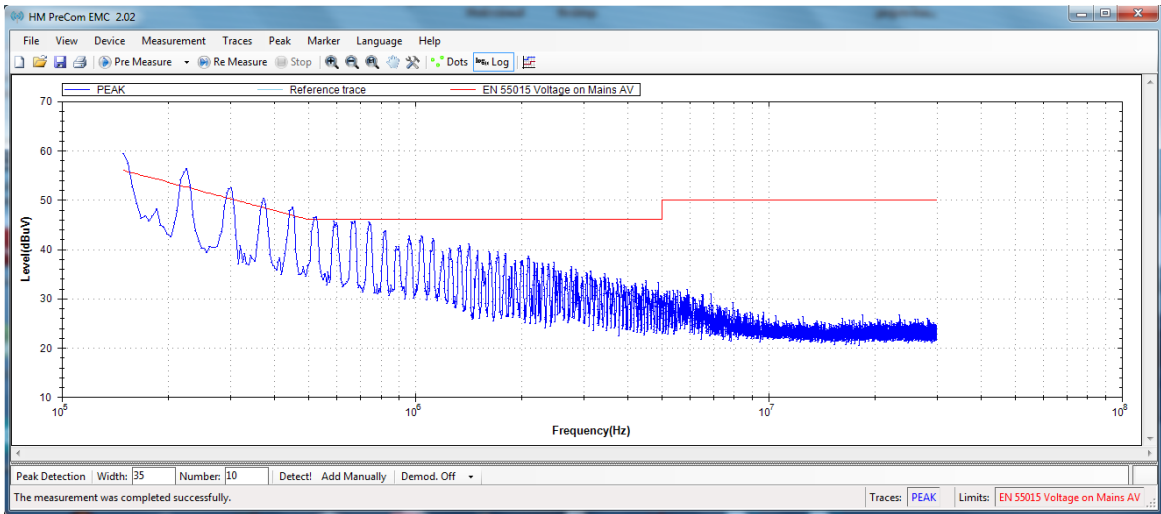
A primeira comparação elaborada é exposta no quadro 12 é a quantidade de LEDs de cada lâmpada do fabricante.

FABRICANTE 3	NÚMERO DE LEDS
LÂMPADA DE 6W	11
LÂMPADA DE 9W	9
LÂMPADA DE 12W	14

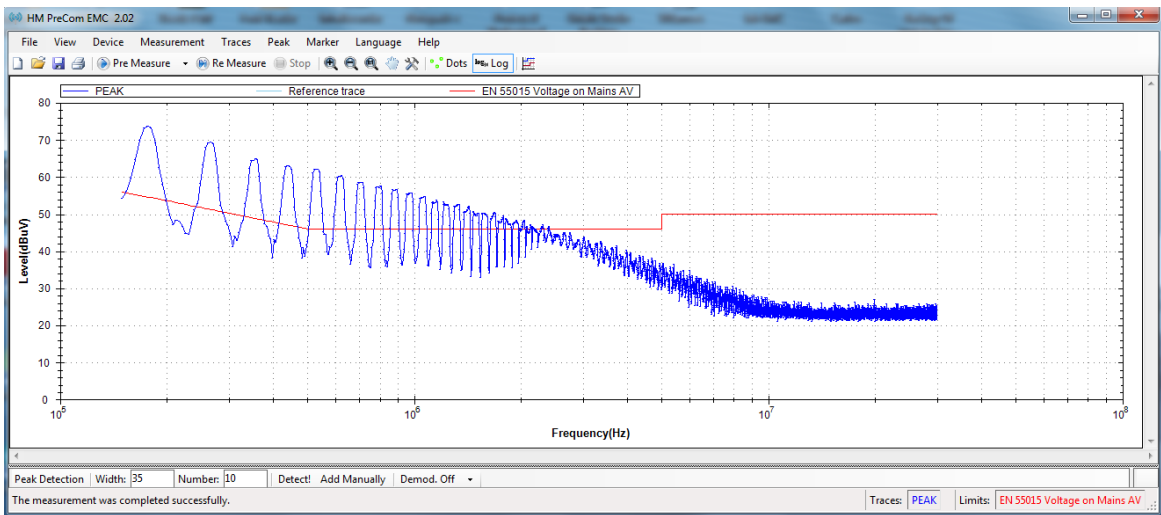
QUADRO 12: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA.

Percebe no quadro 12, percebe o baixo número de LEDs utilizados pelas lâmpadas do fabricante 3. Na figura 68 tem os testes de conformidade das lâmpadas do fabricante 3.

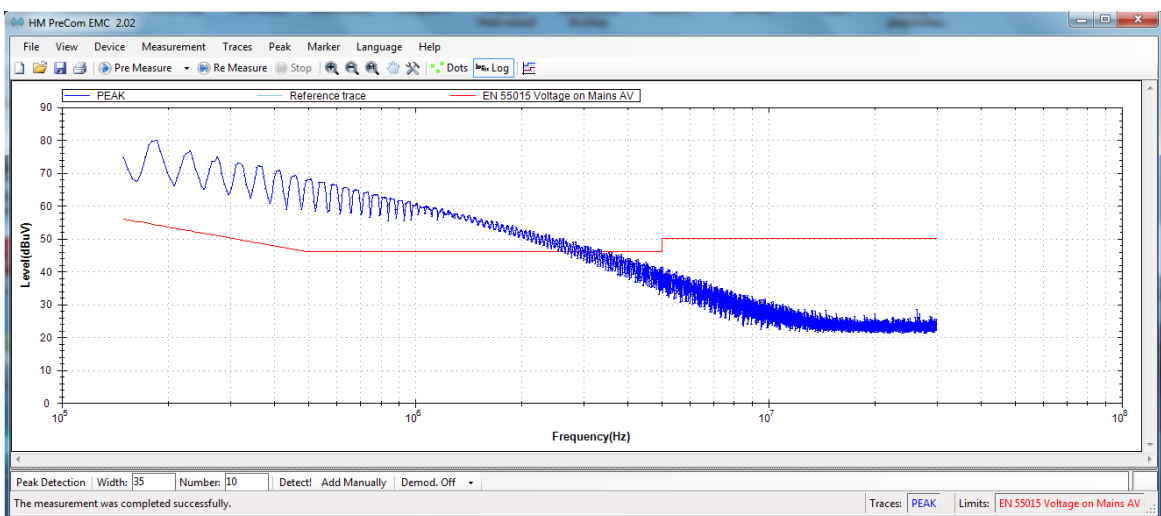
FORNTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)



(1)



(2)



(3)

FIGURA 68: TESTES DE CONFORMIDADE DAS LÂMPADAS DE 6W (1), 9W (2) E 12W (3), (FABRICANTE 3).

Após exposta a figura 68, observa-se que o teste da lâmpada de 6W, segue a linha que demarca o limite da norma da CISPR 15, sua transição já ocorre em 600kHz e pico inicial em aproximadamente 60 dBuV. Já nas lâmpadas de 9W e 11W, o comportamento é semelhante. Para elaboração de uma escala de 1 a 3 no quadro 13 apresenta as características analisadas de acordo com a figura 68.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 3	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
LÂMPADA DE 6W	0.6	60
LÂMPADA DE 9W	2.5	74
LÂMPADA DE 12W	3.5	80

QUADRO 13: COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Os níveis da escala foram elaborados de acordo com as características de comportamento e analisou-se o pico inicial e faixa de transição. O objetivo do trabalho não é de mostrar se as lâmpadas estão dentro da norma, pois o teste não foi realizado num setup padrão de testes. O nível de escala é: 1 (Bom), 2 (Regular) e 3 (Ruim).

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	LÂMPADA
NÍVEL 1	LÂMPADA 6W
NÍVEL 2	LÂMPADA 9W
NÍVEL 3	LÂMPADA 12W

QUADRO 14: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO FABRICANTE 3.

A lâmpada que apresentou melhor comportamento de EMI do fabricante 3, foi lâmpada de 6W, ficando com o nível 1, a lâmpada de 9W mostrou a segunda melhor e o pior é a lâmpada de 12W, conforme exposto no quadro 14.

4.5 RESULTADOS DO FABRICANTE 4:

4.5.1 Lâmpada de 6W

Na figura 69, tem o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 6W do Fabricante 4.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

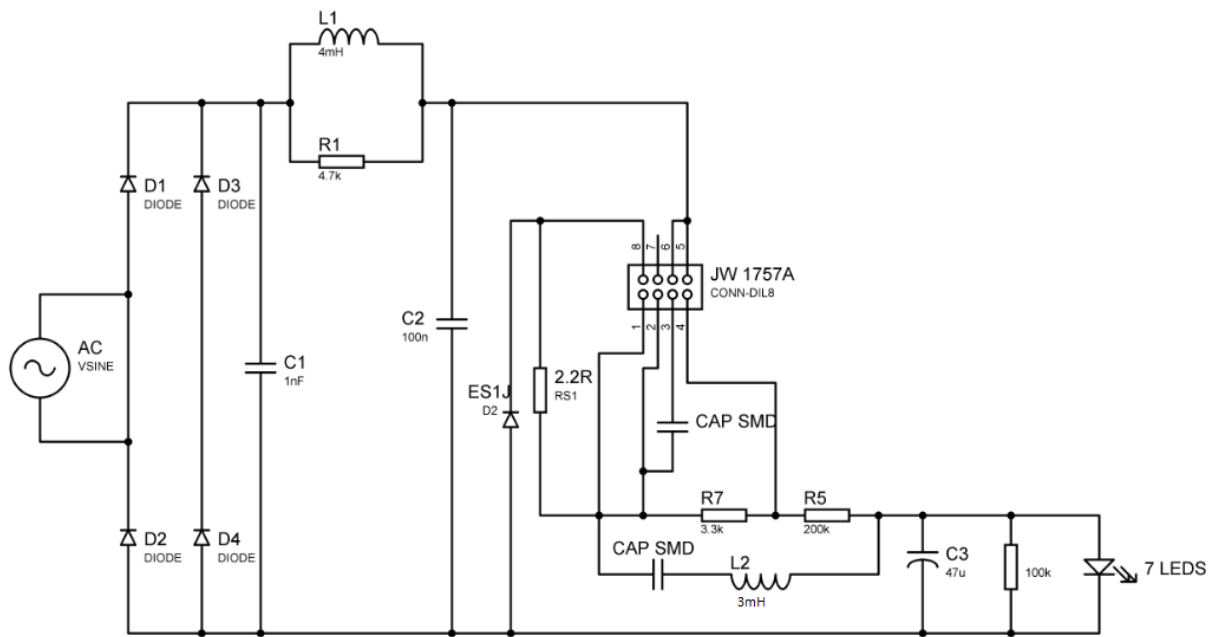


FIGURA 69: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 4).

Percebe-se na figura 69 que o circuito de controle da lâmpada de 6W do fabricante 4 é o mais complexo em comparação aos demais circuitos de controle estudados. Observa após o bloco retificador (D1, D2, D3, D4 e C1), um filtro logo na entrada, uma hipótese é de imunidade a EMI. O circuito possui mais componentes, a lâmpada possui 7 LEDs e um indutor de 3mH.

As figuras 70 e 71 apresentam a vista superior e inferior do circuito de controle da lâmpada de 6W do fabricante 4.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

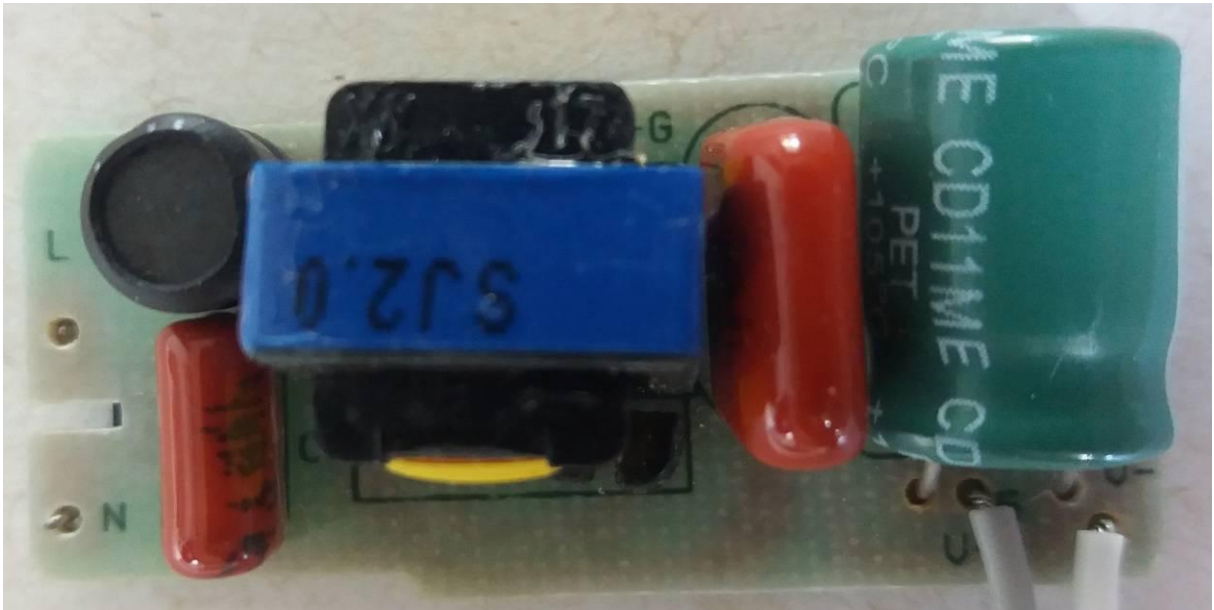


FIGURA 70: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

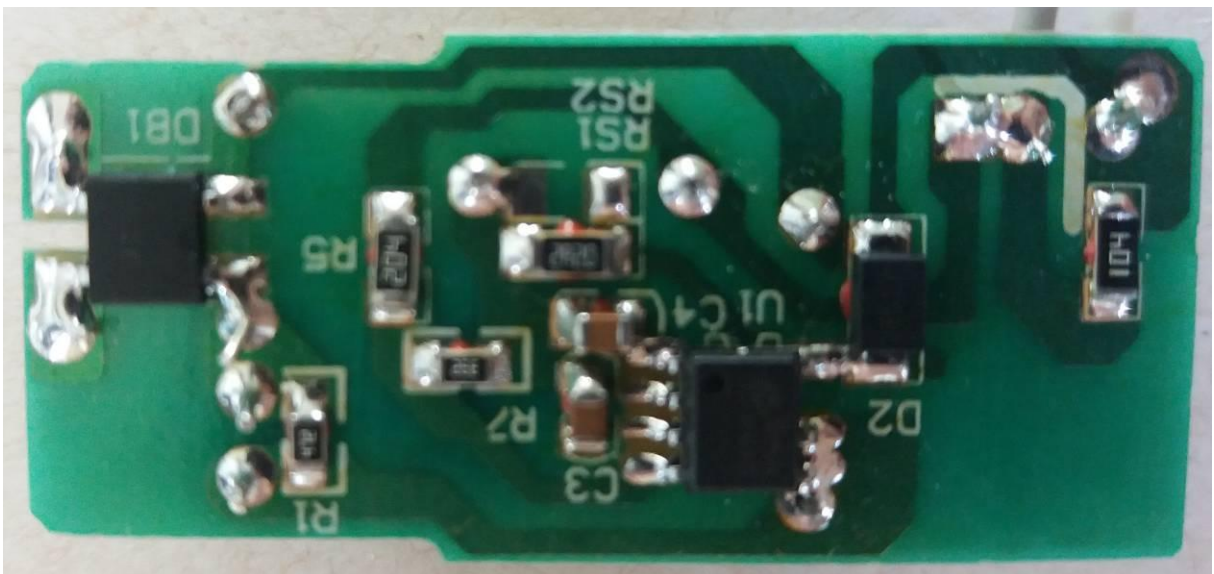


FIGURA 71: VISTA INFERIOR DA PLACA.

Percebe-se nas figuras 70 e 71 a grande quantidade de componentes utilizados. A figura 72 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada.

FONTE: HS PRECOM 2.02

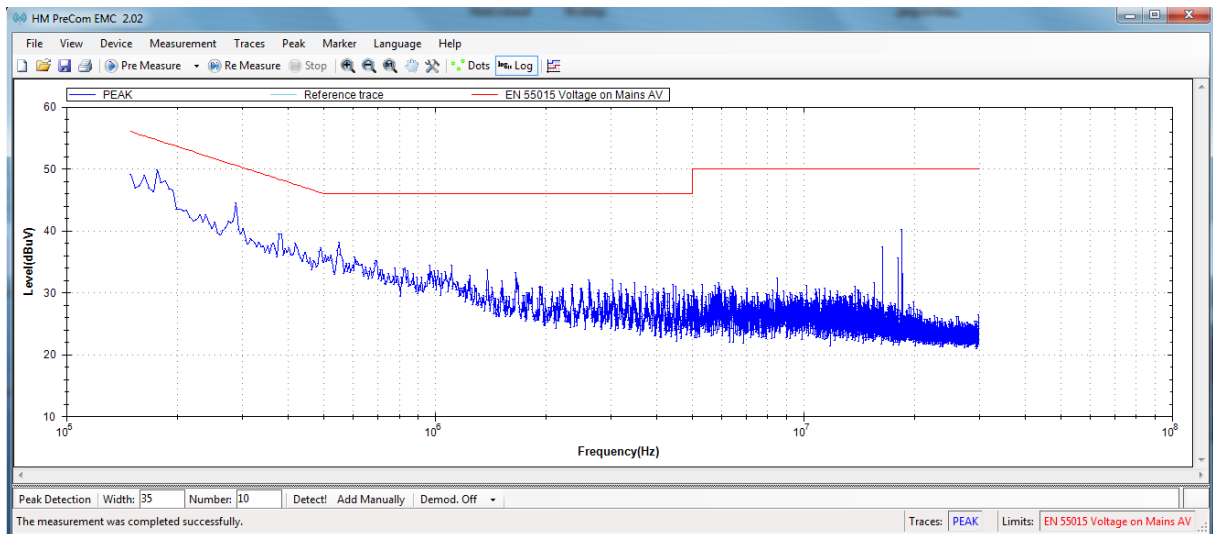


FIGURA 72: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 6W (FABRICANTE 4).

Observa-se na figura 72 que o resultado do ensaio dessa lâmpada é o melhor já apresentado, pois a lâmpada de 6W do fabricante 4 é a única que possui já o selo do Inmetro. Para elaborar a comparação analisa-se o pico inicial e a faixa de transição estão abaixo do limite, onde o único parâmetro que tem é o pico inicial é de 50dBuV.

4.5.2 Lâmpada de 9W

A figura 73 apresenta o esquemático do circuito de controle da lâmpada de 9W do Fabricante 4. Percebe-se que o circuito de controle da lâmpada de 9W do fabricante 4 é similar aos já vistos em outras lâmpadas. Com isso suspeita que o funcionamento do circuito seja o mesmo dos já estudados.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

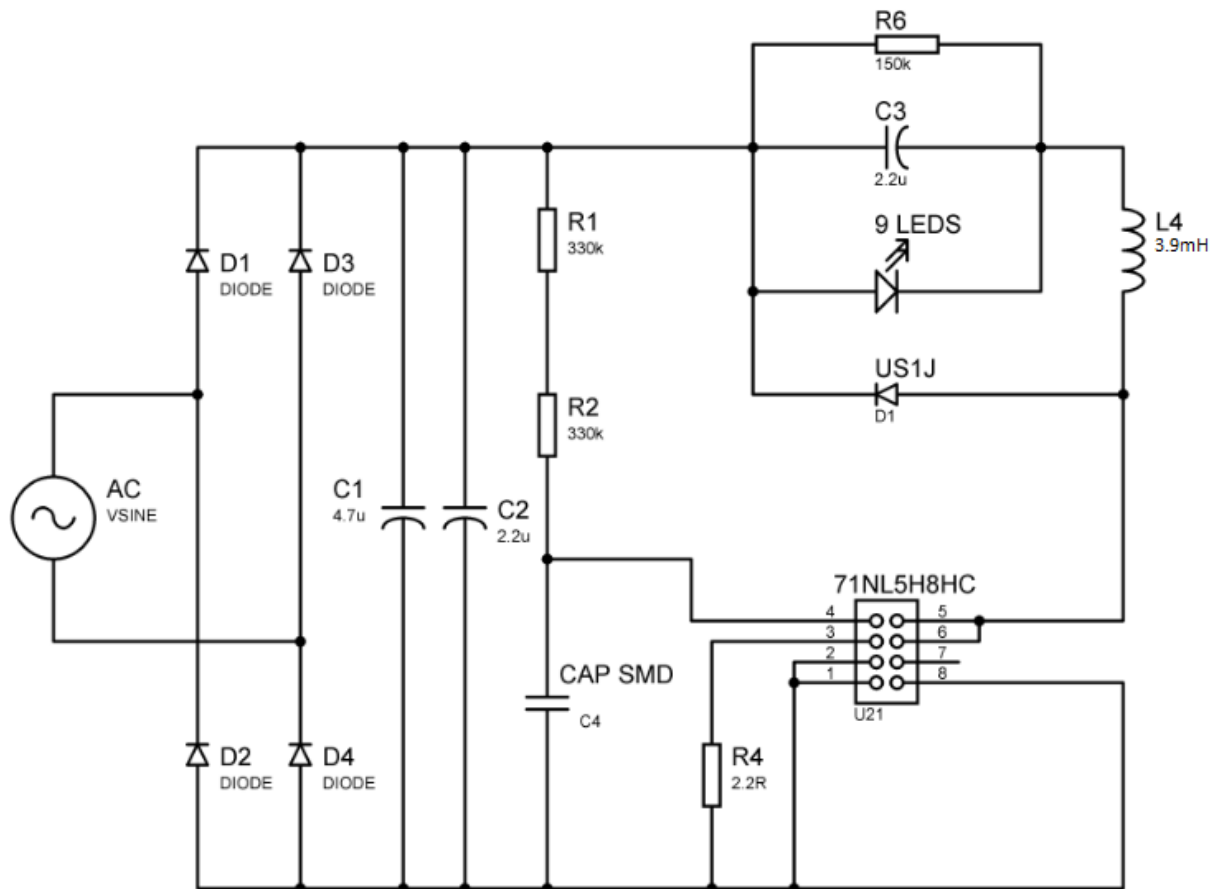


FIGURA 73: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 4)

Observa-se na figura 73 que a disposição dos componentes é a mesma das outras lâmpadas estudadas, o CI que controla o chaveamento é diferente, a lâmpada possui 9 LEDs e o circuito dispõe de um indutor de 3.9mH.

As figuras 74 e 75 apresentam a vista superior e inferior do circuito de controle da lâmpada de 9W. Observa-se um misto de componentes SMD e PTH.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

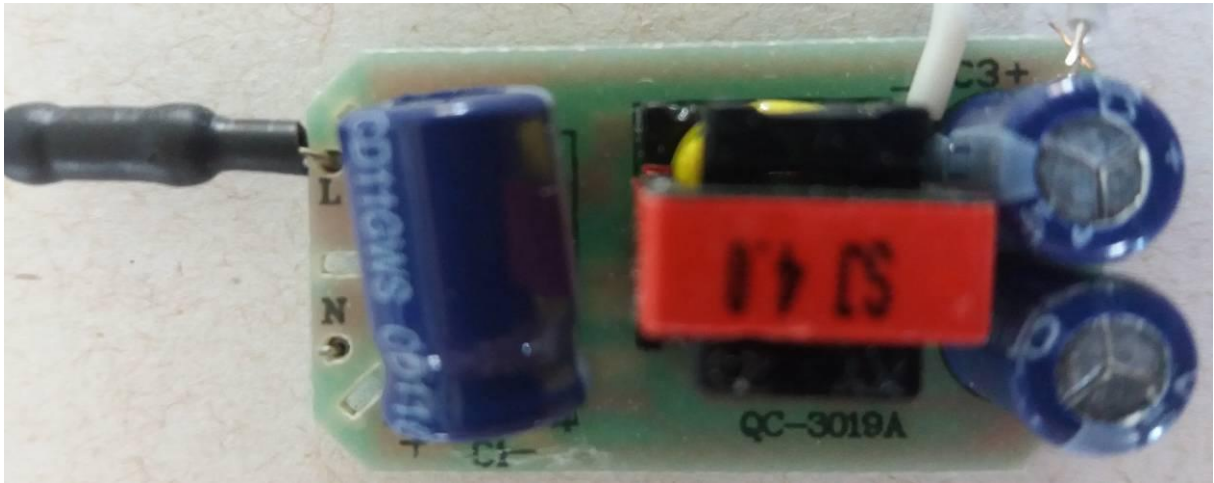


FIGURA 74: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

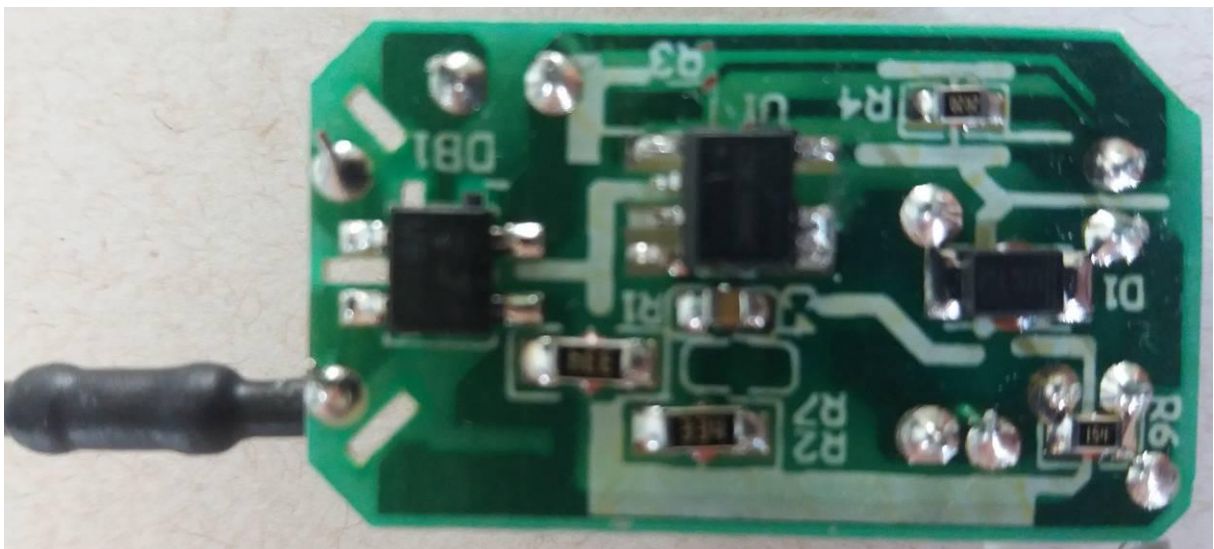


FIGURA 75: VISTA INFERIOR DA PLACA.

A figura 76 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida da lâmpada de 9W do fabricante 4.

FONTE: HS PRECOM 2.02

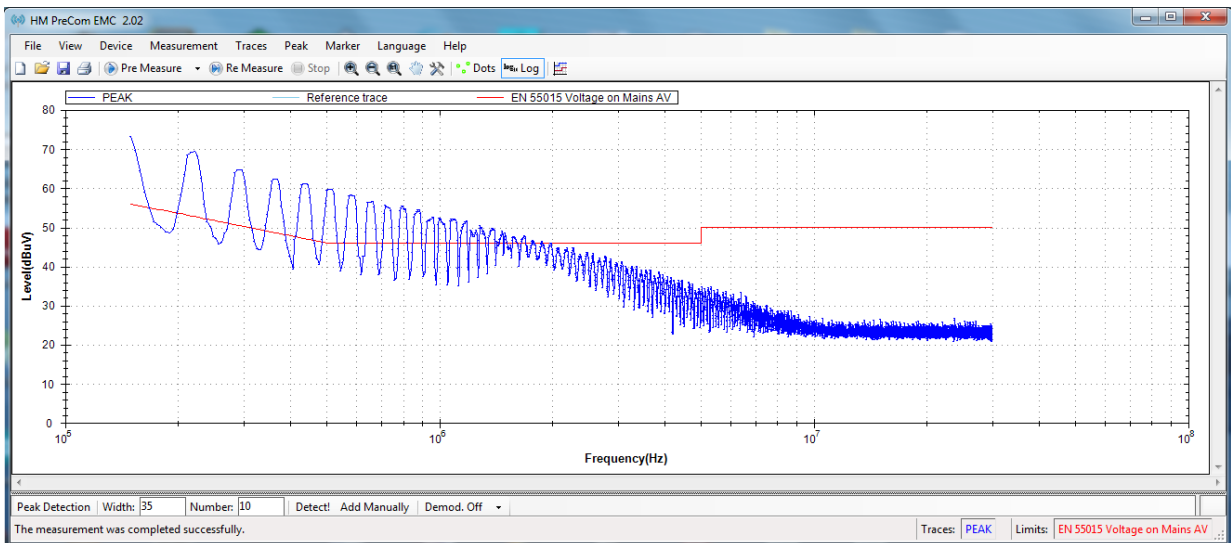


FIGURA 76: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 9W (FABRICANTE 4).

Observa-se na figura 76 as características para elaboração da comparação entre as lâmpadas do fabricante, onde o pico inicial é de aproximadamente 74 dBuV e a faixa de transição é de 2MHz.

4.5.3 Lâmpada de 12W

Na figura 77, tem o diagrama elétrico do circuito de controle da lâmpada de 12W do Fabricante 4. Observa-se que o circuito de controle é similar ao da lâmpada de 9W, com isso suspeita que o funcionamento seja o mesmo.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

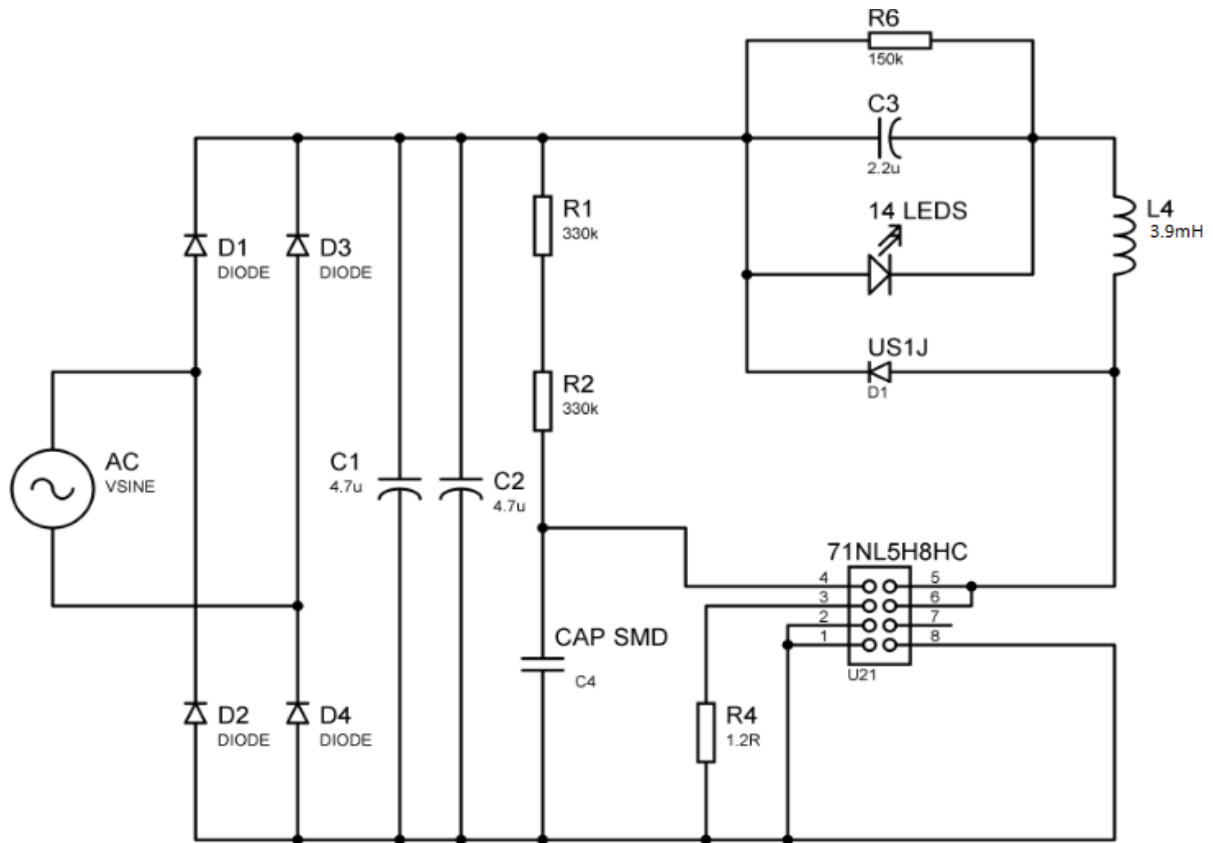


FIGURA 77: CIRCUITO DE CONTROLE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 4)

Na figura 77 percebe-se que a quantidade de componentes é a mesma da lâmpada de 9W, mas o CI que controla o chaveamento é diferente, a lâmpada possui 14 LEDs e o circuito tem um indutor de 3.9mH.

As figuras 78 e 79 apresentam a vista superior e inferior da PCB do circuito de controle.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

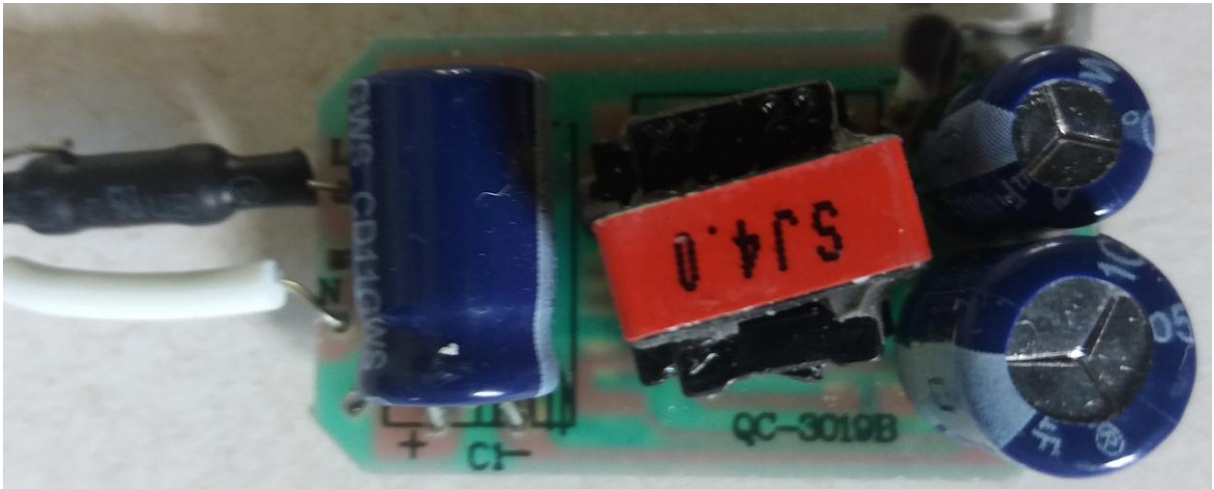


FIGURA 78: VISTA SUPERIOR DA PLACA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

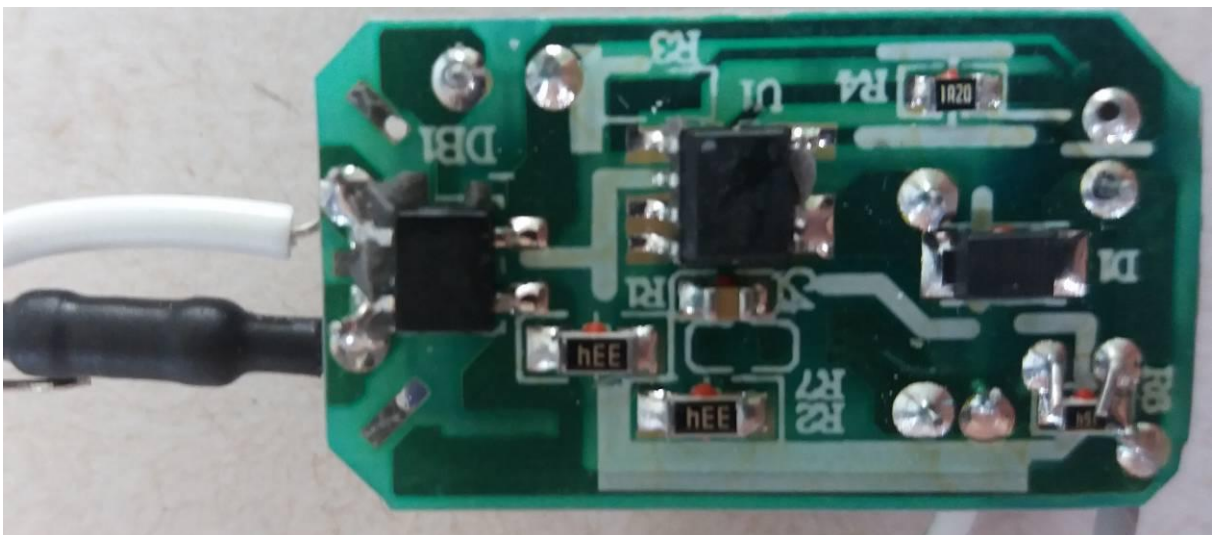


FIGURA 79: VISTA INFERIOR DA PLACA.

Percebe-se um layout semelhante entre as lâmpadas de 12W e 9W e misto de componentes SMD e PTH. A figura 80 apresenta o resultado do ensaio de EMI conduzida.

FONTE: HS PRECOM 2.02

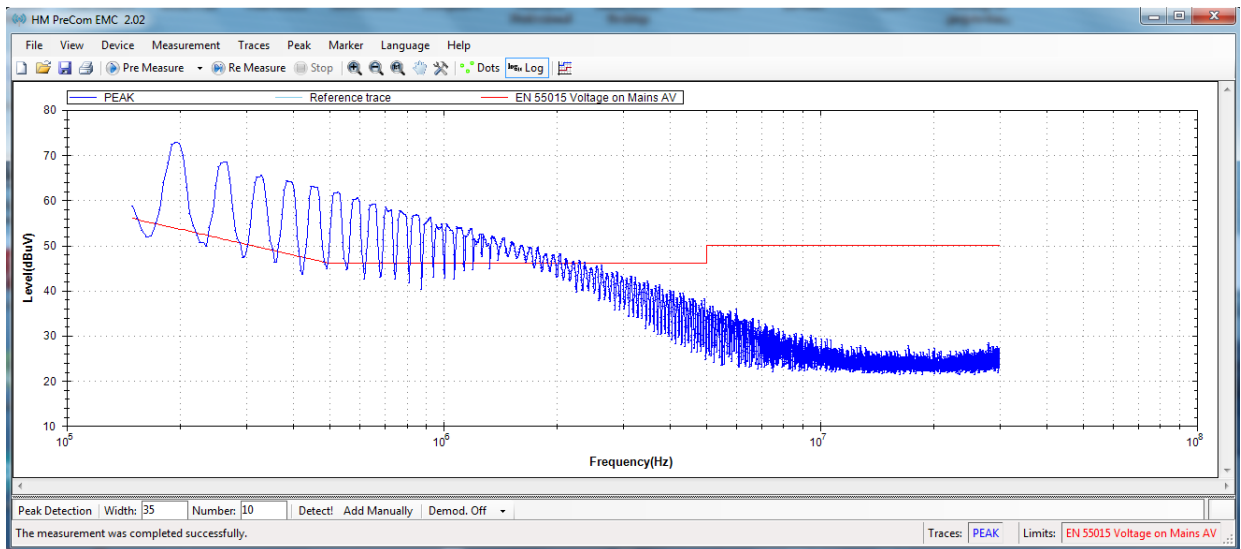


FIGURA 80: TESTE DE CONFORMIDADE LÂMPADA 12W (FABRICANTE 4).

Observa-se na figura 80 as características para elaboração da comparação entre as lâmpadas do fabricante 4. O pico inicial é de 73 dBuV e a faixa de transição é de 2.3MHz.

4.5.4 COMPARAÇÃO FABRICANTE 4

A primeira comparação elaborada é exposta no quadro 15 é a quantidade de LEDs de cada lâmpada do fabricante.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 4	NÚMERO DE LEDS
LÂMPADA DE 6W	7
LÂMPADA DE 9W	9
LÂMPADA DE 12W	14

QUADRO 15: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA LÂMPADA.

Percebe-se no quadro 15, a quantidade de LEDs utilizados pelas lâmpadas do fabricante 4. Na figura 81 tem os testes de conformidade das lâmpadas do fabricante 4.

FORNTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

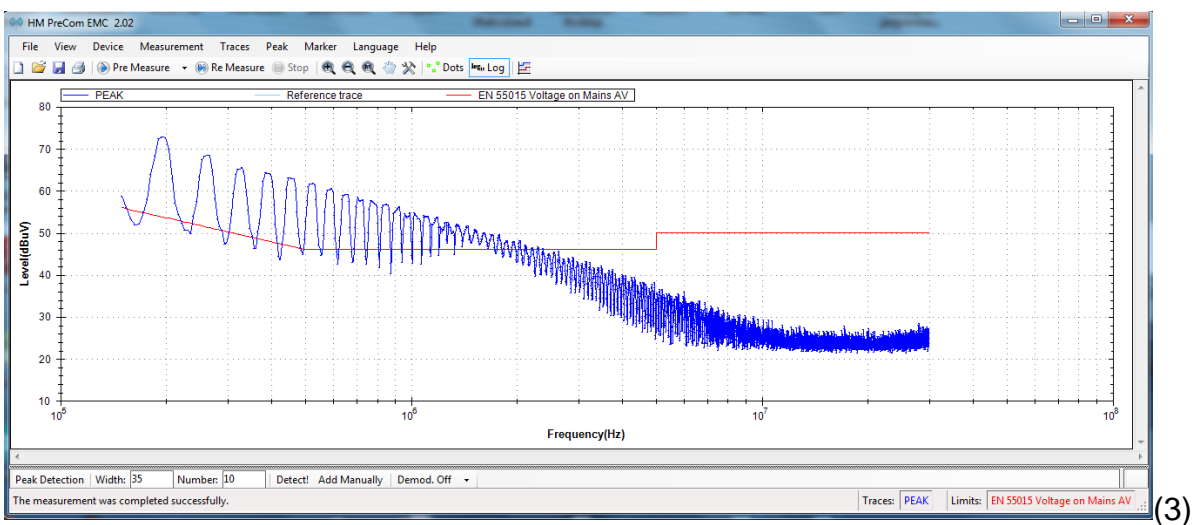
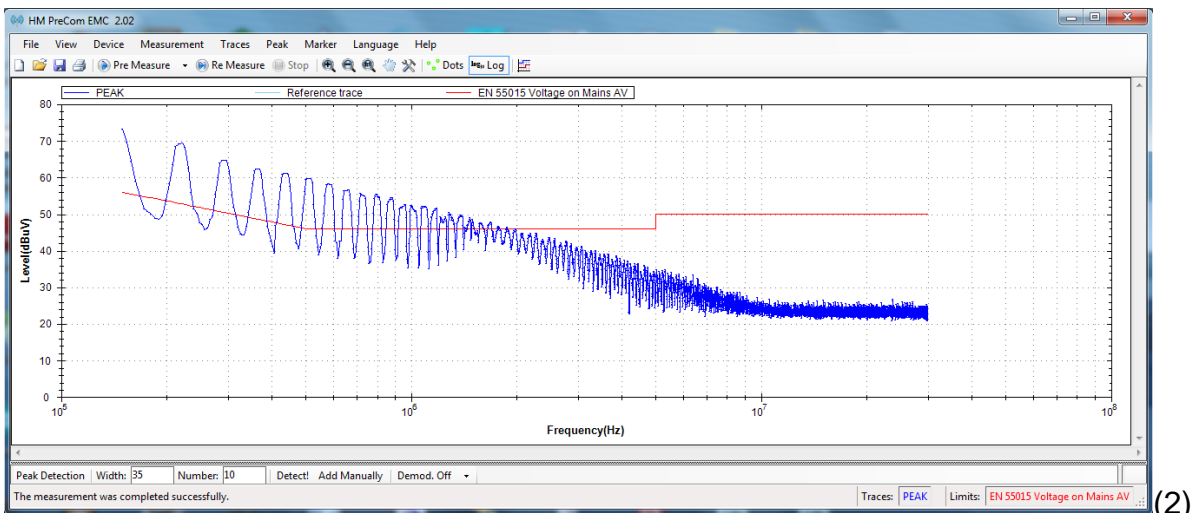
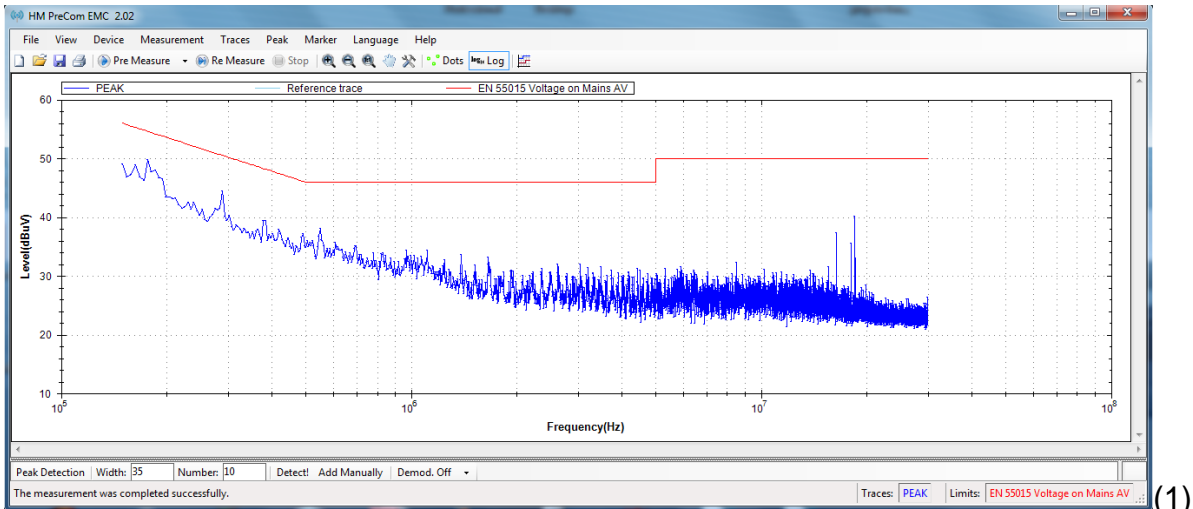


FIGURA 81: TESTES DE CONFORMIDADE DAS LÂMPADAS DE 6W (1), 9W (2) E 12W (3), (FABRICANTE 4).

Analisando a figura 81, observa-se que o teste da lâmpada de 6W, esta abaixo da linha que demarca o limite da norma da CISPR 15, ela é a única já possui o selo do Inmetro, tendo a homologação na sua embalagem conforme a Portaria 14.2015. Seu circuito é o mais complexo em comparação entre todos estudados. A faixa de transição da lâmpada de 9W aproxima-se de 2MHz e enquanto a lâmpada de 12W está em 2.3MHz. Para elaborar uma escala de 1 a 3 no quadro 16 apresenta as características analisadas de acordo com a figura anterior.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTE 4	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
LÂMPADA DE 6W	Abaixo do Limite	50
LÂMPADA DE 9W	2	74
LÂMPADA DE 12W	2.3	73

QUADRO 16: COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Os níveis da escala foram elaborados de acordo com as características de comportamento e analisou-se o pico inicial e faixa de transição. O objetivo do trabalho não é de mostrar se as lâmpadas estão dentro da norma, pois o teste não foi realizado num setup padrão. O nível de escala é: 1 (Bom), 2 (Regular) e 3 (Ruim).

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	LÂMPADA
NÍVEL 1	LÂMPADA 6W
NÍVEL 2	LÂMPADA 9W
NÍVEL 3	LÂMPADA 12W

QUADRO 17: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO FABRICANTE 4.

A lâmpada que apresentou melhor comportamento de EMI do fabricante 4, foi a lâmpada de 6W, ficando com o nível 1, a lâmpada de 9W mostrou a segundo melhor comportamento, e o pior amostra é a da lâmpada de 12W, conforme exposto no quadro 17.

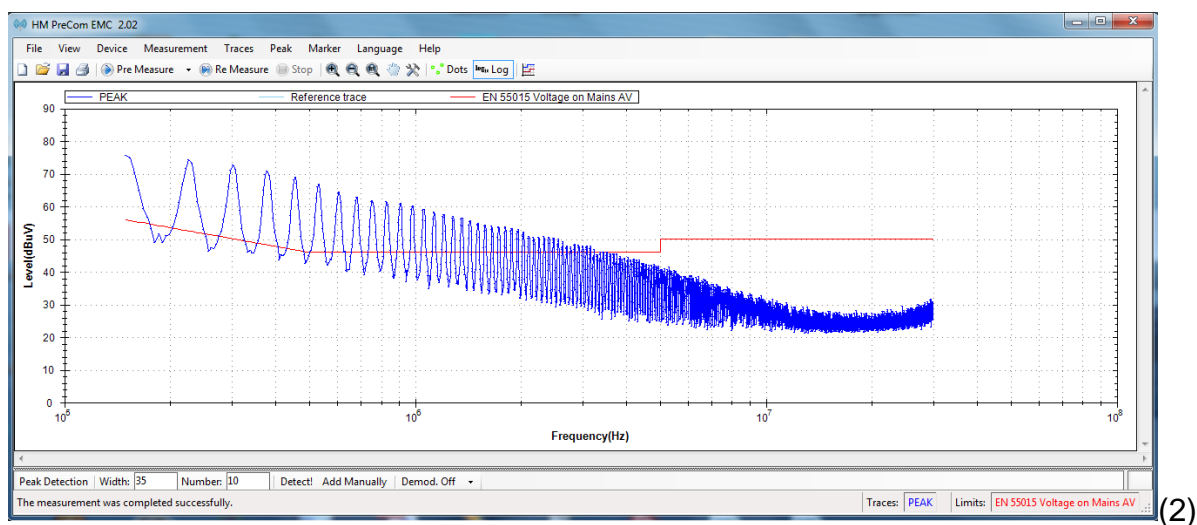
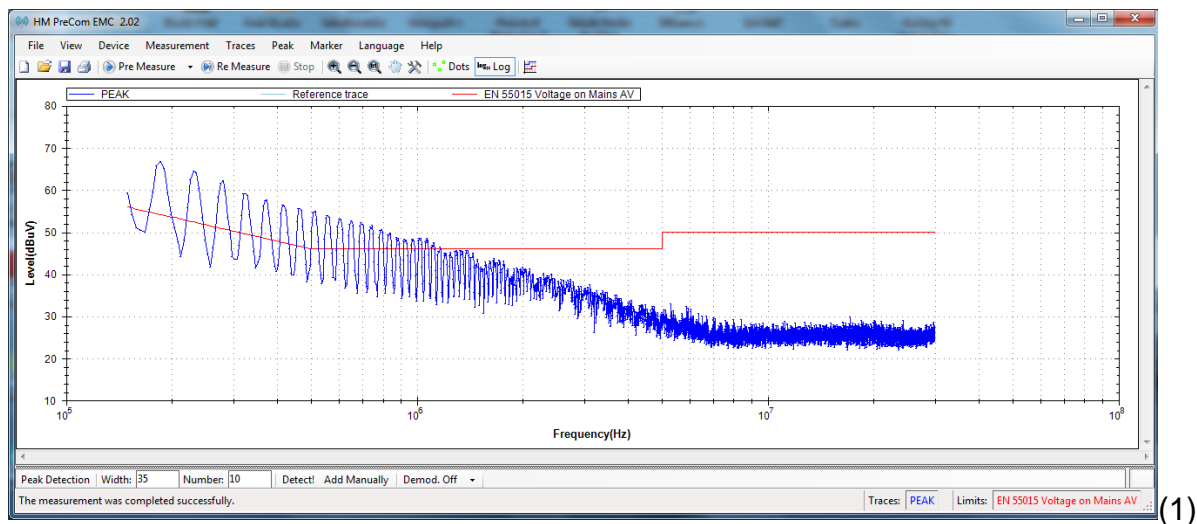
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS FAIXAS DE POTÊNCIA

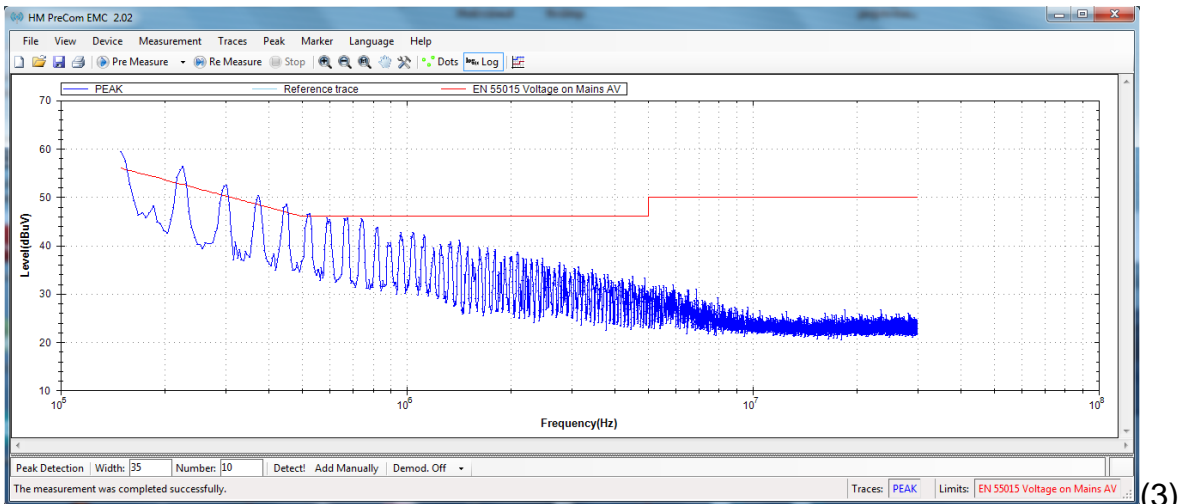
A seguir tem o estudo comparativo entre as faixas de potências, analisou o número de LEDs utilizados por cada lâmpada, as características de pico inicial e faixa de transição.

4.6.1 Primeira Comparação (6W)

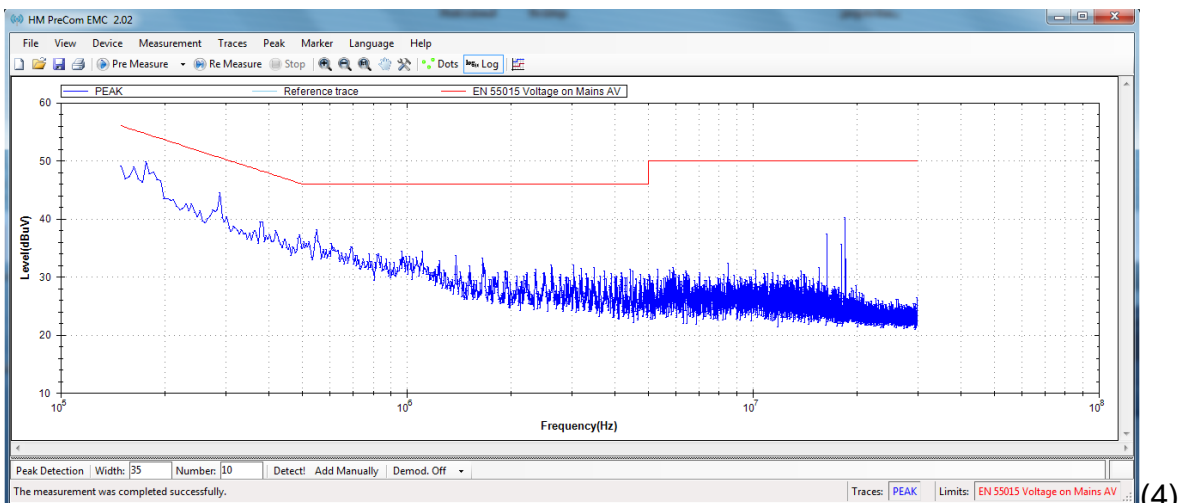
A figura 82 apresenta os testes de conformidade das lâmpadas de 6W de todos os fabricantes.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)





(3)



(4)

FIGURA 82: TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 6W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.

Cada estrutura utiliza diferentes números de LEDs, como já visto em estudos anteriores, o quadro 18 apresenta a quantidade de LEDs de cada lâmpada.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	NÚMERO DE LEDS
FABRICANTE 1	14
FABRICANTE 2	12
FABRICANTE 3	11
FABRICANTE 4	7

QUADRO 18: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.

Percebe-se no quadro 18, que a única lâmpada desta faixa de potência que tem a menor quantidade de LEDs é a que já possui selo do Inmetro. O circuito da lâmpada do fabricante 4 é o mais complexo, pois utiliza mais componentes, possui filtros de entrada, capacitores de acoplamento. Já os demais fabricantes a disposição dos componentes são idênticas, com algumas das alterações nos componentes, a única modificação é o CI, alterando o seu encapsulamento. Já nos testes de conformidade, onde será elaborado uma escala de 4 níveis, onde 1 (Bom), 2 (Regular), 3 (Ruim) e 4 (Muito Ruim), e de acordo com as características analisadas, será desenvolvida uma comparação de comportamento. No quadro 19, tem a comparação de desempenho das lâmpadas de 6W de cada fabricante.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
FABRICANTE 1	1.3	68
FABRICANTE 2	3.8	76
FABRICANTE 3	0.6	60
FABRICANTE 4	ABAIXO DO LIMITE	50

QUADRO 19: COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Observa-se no quadro 19, o Fabricante que apresentou melhor desempenho em EMC na faixa de 6W, ficando com o nível 1, foi o Fabricante 4, uma amostra que apresentou um comportamento regular, ficando próximo dos limites foi a do Fabricante 3, ficando com nível 2, agora com o nível 3, onde não apresentou um desempenho muito satisfatório, o Fabricante 1, e já o pior comportamento exposto foi o do Fabricante 2, conforme quadro 20.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	FABRICANTES
NÍVEL 1	FABRICANTE 4
NÍVEL 2	FABRICANTE 3
NÍVEL 3	FABRICANTE 1

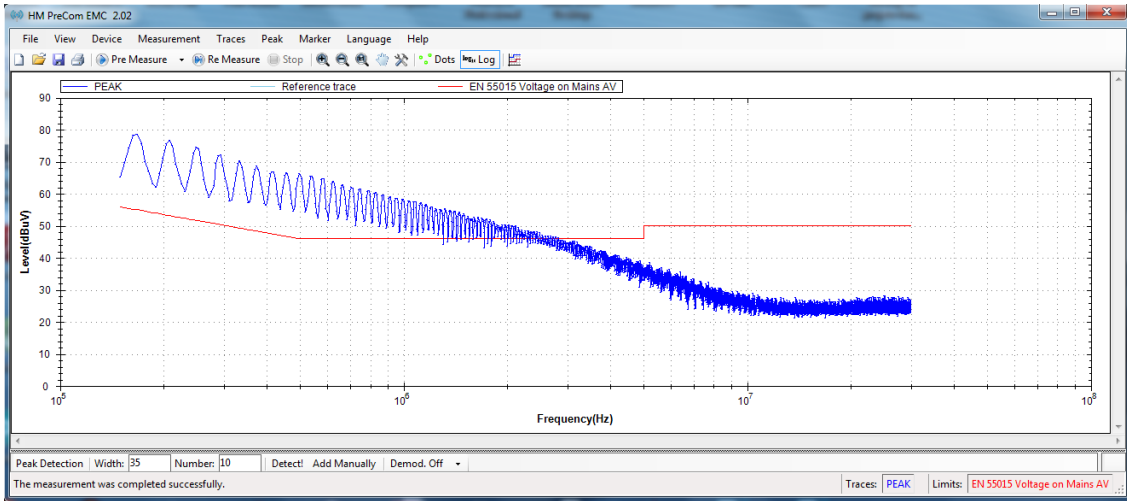
NÍVEL 4	FABRICANTE 2
---------	--------------

QUADRO 20: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS 6W.

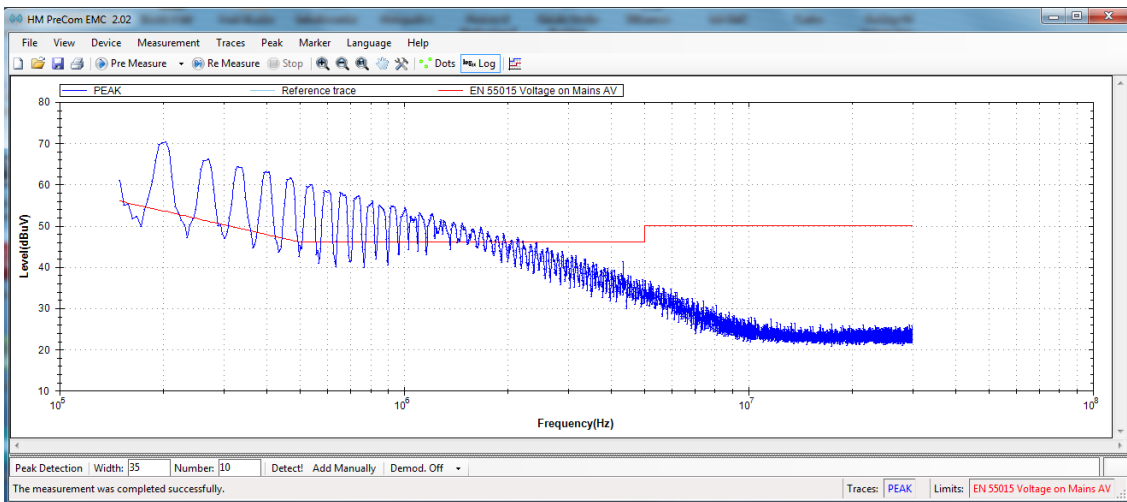
4.6.2 Segunda Comparação (9W)

A figura 83 apresenta os testes de conformidade das lâmpadas de 9W de todos os Fabricantes.

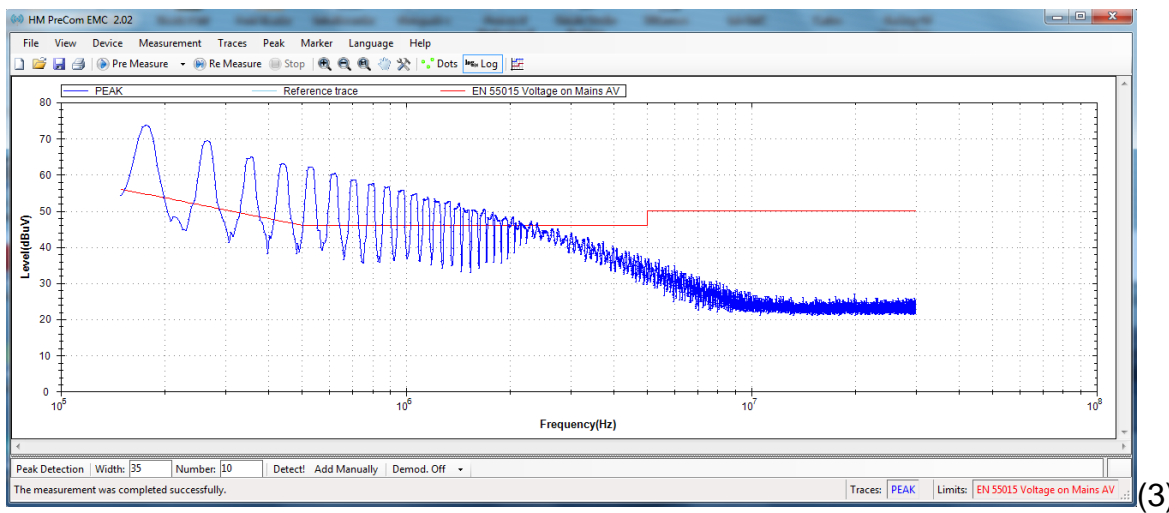
FONTES: AUTORIA PRÓPRIA (2017)



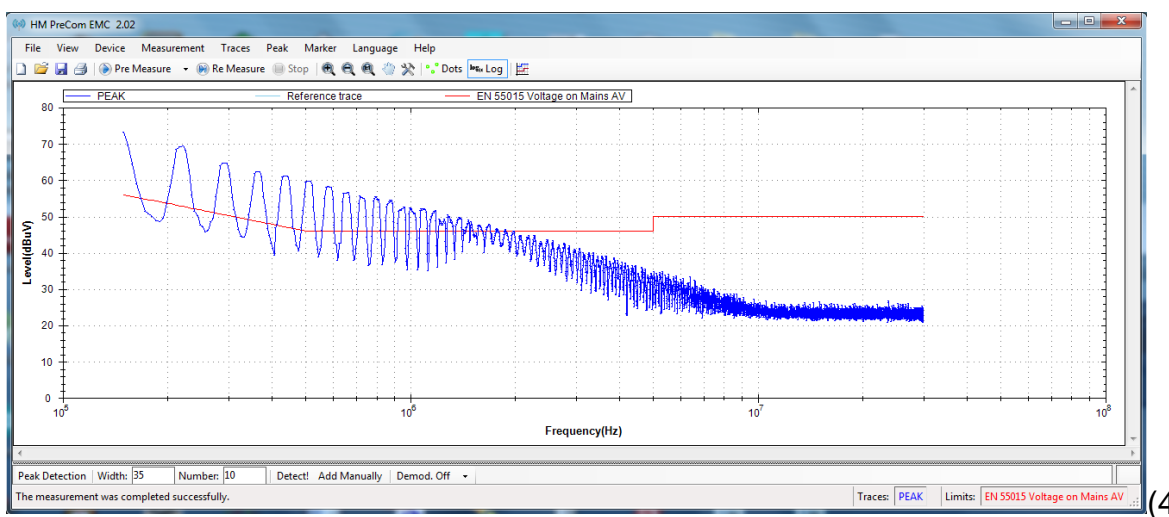
(1)



(2)



(3)



(4)

FIGURA 83: TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 9W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.

As estruturas utilizam diferentes números de LEDs, como já visto em estudos anteriores, o quadro 21 apresenta a quantidade de LEDs de cada lâmpada.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	NÚMERO DE LEDS
FABRICANTE 1	24
FABRICANTE 2	9
FABRICANTE 3	9
FABRICANTE 4	9

QUADRO 21: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.

Percebe-se no quadro 21, que nesta faixa de potencia a maioria dos fabricantes, utilizam apenas 9 LEDs. Todos os circuitos apresentam a mesma disposição dos componentes são idênticos.

Já nos testes de conformidade, onde será elaborado uma escala de 4 níveis, onde 1 (Bom), 2 (Regular), 3 (Ruim) e 4 (Muito Ruim), e de acordo com as características analisadas, será desenvolvida uma comparação de comportamento. No quadro 22, tem a comparação de desempenho das lâmpadas de 9W de cada fabricante.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
FABRICANTE 1	2.8	79
FABRICANTE 2	2.5	70
FABRICANTE 3	2.5	74
FABRICANTE 4	2	74

QUADRO 22: COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Observa-se no quadro 22, o Fabricante que apresentou melhor desempenho em EMI na faixa de 9W, ficando com o nível 1, foi o Fabricante 4, a amostra que apresentou um comportamento regular, foi a do Fabricante 2, ficando com nível 2, agora com o nível 3, onde não apresentou um desempenho muito satisfatório, o Fabricante 3, e já o pior comportamento exposto foi o do Fabricante 1, conforme quadro 23.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

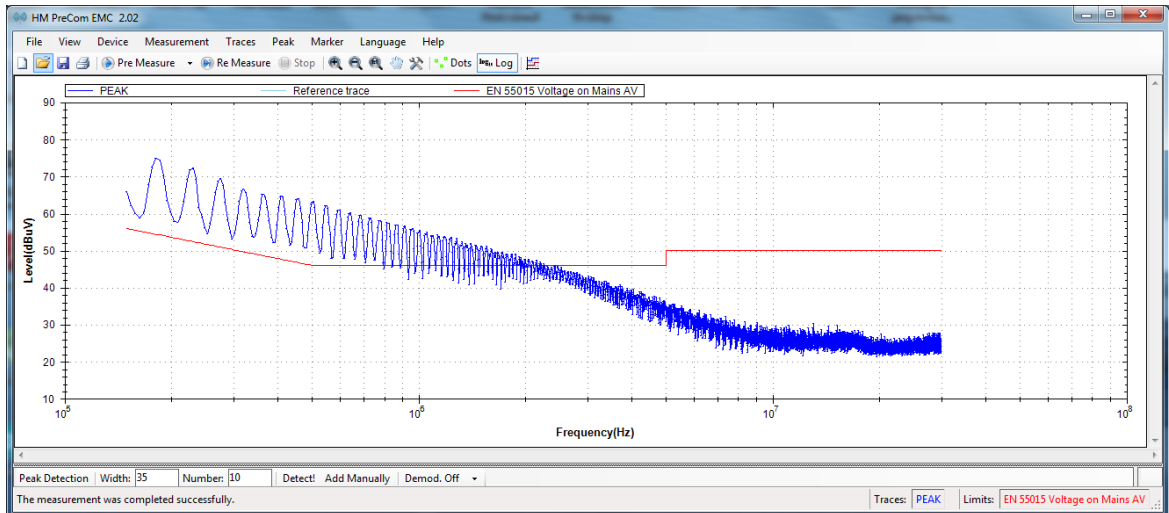
NÍVEL DE COMPORTAMENTO	FABRICANTES
NÍVEL 1	FABRICANTE 4
NÍVEL 2	FABRICANTE 2
NÍVEL 3	FABRICANTE 3
NÍVEL 4	FABRICANTE 1

QUADRO 23: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS 9W.

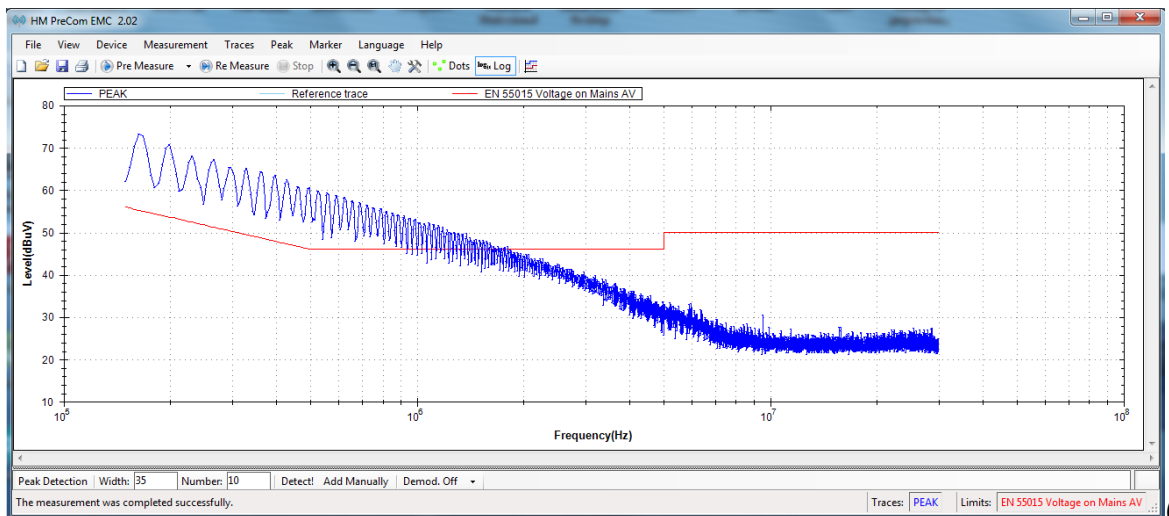
4.6.3 Terceira Comparação (12W)

A figura 84 apresenta os testes de conformidade das lâmpadas de 12W de todos os Fabricantes.

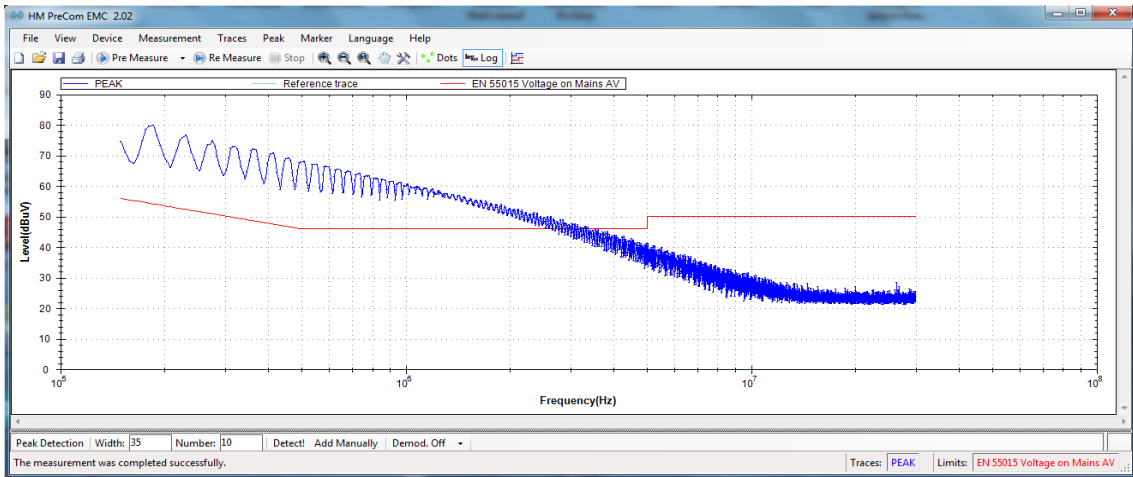
FONTA: AUTORIA PRÓPRIA (2017)



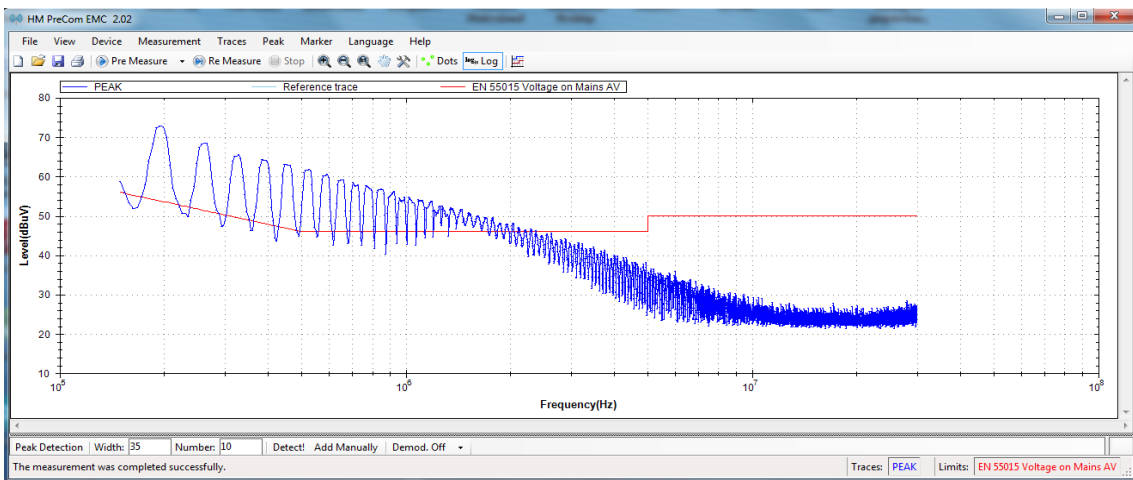
(1)



(2)



(3)



(4)

FIGURA 84: TESTES DE CONFORMIDADE LÂMPADAS 12W: (1) FABRICANTE 1; (2) FABRICANTE 2; (3) FABRICANTE 3; (4) FABRICANTE 4.

Cada estrutura utiliza diferentes números de LEDs, como já visto em estudos anteriores, o quadro 24 apresenta a quantidade de LEDs de cada lâmpada.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	NÚMERO DE LEDS
FABRICANTE 1	30
FABRICANTE 2	14
FABRICANTE 3	14
FABRICANTE 4	14

QUADRO 24: COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE LEDS DE CADA FABRICANTE.

Percebe-se no quadro 24, que nesta faixa de potência a maioria dos fabricantes utiliza apenas 14 LEDs.

Já nos testes de conformidade, onde será elaborado uma escala de 4 níveis, onde 1 (Bom), 2 (Regular), 3 (Ruim) e 4 (Muito Ruim), e de acordo com as características analisadas, será desenvolvida uma comparação de desempenho. No quadro 25, tem a comparação de desempenho das lâmpadas de 12W de cada fabricante

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

FABRICANTES	FAIXA DE TRANSIÇÃO (MHz)	PICO INICIAL (dBuV)
FABRICANTE 1	2.5	75
FABRICANTE 2	1.8	74
FABRICANTE 3	3.5	80
FABRICANTE 4	2.3	73

QUADRO 25: COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TESTE.

Observa-se no quadro 25, o fabricante que apresentou melhor comportamento em EMI na faixa de 12W, ficando com o nível 1, foi o Fabricante 2, foi a que apresentou melhor desempenho, a amostra que apresentou um desempenho regular, foi a do Fabricante 4, ficando com nível 2, agora com o nível 3, o Fabricante 1, independente de possuir um alto número de LEDs, o seu circuito é mais simples que o do Fabricante 3 que obteve o pior comportamento ficando com o nível 4, conforme quadro 26.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2017)

NÍVEL DE COMPORTAMENTO	FABRICANTES
NÍVEL 1	FABRICANTE 2
NÍVEL 2	FABRICANTE 4
NÍVEL 3	FABRICANTE 1
NÍVEL 4	FABRICANTE 3

QUADRO 26: NÍVEIS DE COMPORTAMENTO LÂMPADAS 12W.

5 CONCLUSÃO

O motivo principal para realização desta pesquisa é estudar e analisar qual é o comportamento das lâmpadas led comercializadas, referente à EMI conduzida. Para atingir o objetivo, foram vistos vários pontos específicos, que vão desde os conhecimentos da literatura até a aplicação dos testes de conformidade realizados nas lâmpadas.

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica tratando sobre compatibilidade eletromagnética, abordando sobre conceitos e também foi salientado como montar um ambiente de medida.

Foram apresentadas as topologias do circuito de controle, como era feito o controle das grandezas (tensão e corrente) que transferiam energia para os LEDs.

Um ponto que foi apresentado foram os órgãos regulamentadores, para saber quais eram as normas que as lâmpadas LED estão sujeitas. Como o objetivo do trabalho é de analisar o comportamento de EMI conduzida, foi feita uma pesquisa para descobrir como montar um setup para realizar o ensaio. O estudo se concentrou no IEC CISPR 15 no qual observou-se os limites e métodos da medição.

Após o estudo teórico, foi realizado um levantamento no mercado consumidor com o objetivo de verificar quem eram os fabricantes das lâmpadas. Foram escolhidas as lâmpadas de 4 fabricantes diferentes em 3 faixas de potência distintas, e na compra comprovou-se o custo elevado. A escolha foi feita levando em consideração as faixas de potência.

O levantamento dos circuitos foi à próxima etapa, percebeu-se que os circuitos de controle das lâmpadas eram muito semelhantes, alguns com um número de Leds bastante alto, uns mais simples, outros mais complexos, com filtros, capacitores de acoplamento, e como num produto eletrônico qualquer um misto de componentes SMD e PTH. De todas as lâmpadas compradas somente uma é certificada.

Dois estudos comparativos foram elaborados, logo após a realização dos testes. Destaca-se que o trabalho não mostrou se os produtos estão em

conformidade da norma, pois o teste realizado não foi num setup apropriado e com regulamentação legal.

O primeiro estudo foi por fabricante, analisando todas as lâmpadas de um mesmo fabricante, após os testes de emissão conduzida foi estabelecido um nível de comportamento. Dois pontos no teste foram observados como critério de nível de comportamento: A faixa de transição e o pico inicial. Esta comparação mostra que os Fabricantes usam praticamente o mesmo circuito para as diferentes potências de lâmpadas. A topologia dos CI's são basicamente as mesmas.

O segundo estudo foi entre as faixas de potências, analisando o comportamento das lâmpadas dos quatro fabricantes na faixa específica. Após os testes de emissão conduzida também foi elaborado um nível de comportamento. A faixa de transição e pico inicial foram os parâmetros observados para elaboração da comparação. Nesta comparação mostrou-se que há um fabricante específico que utiliza uma quantidade maior de LEDs do que o restante, mas uma curiosidade é de os outros fabricantes apresentam o mesmo número de LEDs nas lâmpadas. Há um fabricante que apresenta um circuito mais complexo com filtros, capacitores de acoplamento. Os circuitos integrados utilizam a topologia Buck, lembrando que alguns componentes não foram encontrados a sua folha de dados.

Para trabalhos futuros, sugere-se mais testes de conformidade conduzidos em outras faixas de potências com lâmpadas dos mesmos fabricantes, um estudo avançado nos circuitos de controle, fazendo um levantamento de mais características do circuito de controle, realizar testes de emissão radiada numa câmara semi-anecoica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Conheça a ABNT**. 2014. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acesso em: 10 out. 16. (ABNT, 2014)

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria nº 389: REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA LÂMPADAS LED COM DISPOSITIVO DE CONTROLE INTEGRADO À BASE. 25 ago. 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002154.pdf>>. Acesso 19 jul. 2016.

CISPR. **CISPR: International Special Committee on Radio Interference**. 2016. Disponível em: <http://www.iec.ch/emc/iec_emc/iec_emc_players_cispr.htm>. Acesso em: 12 out. 16. (CISPR, 2016)

COMMISSION, Federal Communication. **About the FCC**. 2016. Disponível em: <<https://www.fcc.gov/about/overview>>. Acesso em: 12 out. 16. (FCC, 2016)

ENGINEERS, Institute Of Electrical And Electronics. **About the IEEE**. 2016. Disponível em: <<https://www.ieee.org/about/index.html>>. Acesso em: 08 out. 16. (ENGINEERS, 2016)

EUROPÉENNE, Conformité. **CE - Marking**. 2016. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/CE_marking>. Acesso em: 12 out. 16. (EUROPÉENNE, 2016)

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **History of IEEE**. 2016. Disponível em: <https://www.ieee.org/about/ieee_history.html>. Acesso em: 10 out. 16. (IEEE, 2016)

INTERNACIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **About the IEC**. 2016. Disponível em: <<http://www.iec.ch/about/>>. Acesso em: 09 out. 16. (IEC, 2016)

IWASHITA, Juliana. **Compatibilidade eletromagnética em lâmpadas de Led**. 2015. Disponível em: <<http://www.osestorelétrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/1797-compatibilidade-eletromagnetica-em-lampadas-de-led.html>>. Acesso em: 09 out. 16. (IWASHITA, 2015)

KAISER, Walter. **Conversores eletrônicos para alimentação de Leds**. 2011. Disponível em: <<http://www.osestorelétrico.com.br/web/a-revista/603-conversores-eletronicos-para-alimentacao-de-leds.html>>. Acesso em: 08 out. 2016. (KAISER, 2011)

LIMA, Hugo. **História da Evolução da Lâmpada**. 2015. Disponível em: <http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143>. Acesso em: 3 set. 2016. (LIMA, 2015)

LIZ, Muriel Bittencourt de. **Contribuição para a redução da interferência eletromagnética em fontes chaveadas**. 2003. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. (LIZ, 2003)

LIZ, Muriel Bittencourt de. **Introdução a compatibilidade eletromagnética em conversores estáticos**. 1999. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. (LIZ, 1999)

MAXIMIANO, Ingrid. **Certificação de lâmpadas LED pelo Inmetro torna-se obrigatória**. 2015. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/certificacao-de-lampadas-led-pelo-inmetro-torna-se-obrigatoria_13033_10_0>. Acesso em: 08 out. 16. (MAXIMIANO, 2015)

MONTEIRO, Raul Victor Arantes; CARVALHO, Bismark Castillo; NOGUEIRA, Fernando. **Drivers de Lâmpadas de LED: Topologias, Aplicações e Desempenho**. Engineering And Science. Mato Grosso, p. 1-7. 08 out. 2016. (MONTEIRO; CARVALHO; NOGUEIRA, 2016)

MORAES, Fabio Brignol de. **Avaliação das emissões conduzidas e radiadas geradas por unidade eletrocirúrgica e sistemas de iluminação com lâmpadas fluorescente em equipamentos médicos**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. (MORAES, 2013)

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. **LED Drivers for High – Brightness Lighting, Solutions Guide**, Santa Clara, CA 95051 USA, Vol 1, 2011.

OSRAM. **Histórico do LED**. 2016. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/noticias-e-conhecimento/pagina-de-led/conhecimento-profissional/principios-basicos-do-led/historico-do-led/index.jsp>. Acesso em: 3 set. 2016. (OSRAM, 2016)

PAUL, Clayton R. **Introduction to electromagnetic compatibility**. 2. ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2006. 983 p., il., + 1 CD ROM. (Wiley series in microwave and optical engineering). Inclui bibliografia. ISBN 9780471755005. (PAUL, 2006)

PETRY, Clóvis Antonio. **Introdução a Conversores CC-CC**. Florianópolis: Inep, 2001 (PETRY, 2001)

PIACENTINI, Patrícia; RUBIN, Charles. **Historia da lâmpada**. 2015. Disponível em: <http://pre.univesp.br/historia-da-lampada#.WA_IGvkrLIX>. Acesso em: 3 set. 2016. (PIACENTINI; RUBIN, 2015)

SÁ JUNIOR, Edilson Mineiro. **Estudo de estruturas de reatores eletrônicos para LEDs de iluminação**. 2010. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. (SÁ JUNIOR, 2010)

SCHLICHTING, Luís Carlos Martinhago. **Contribuição ao estudo da compatibilidade eletromagnética aplicada aos conversores estáticos**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. (SCHLICHTING, 2003)

SCHLICHTING, Luís Carlos Martinhago. **Estudo e implementação de uma fonte chaveada off -the-line de alta tensão com múltiplas saídas utilizando a técnica dos "QRC-ZCS"**. 1990. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990. (SCHLICHTING, 1990)