



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

EDUARDO LOURENÇO DE SOUSA

**Desempenho e Segurança de Lâmpadas LED
Inteligentes: Comparações às Normas de
Lâmpadas LED Convencionais.**

NITERÓI

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

EDUARDO LOURENÇO DE SOUSA

**Desempenho e Segurança de Lâmpadas LED Inteligentes:
Comparações às Normas de Lâmpadas LED Convencionais.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração:
<Área de concentração>

Orientador:

Prof. Marcio Zamboti Fortes, Dr.

NITERÓI

2024

(Espaço reservado para a ficha catalográfica)

EDUARDO LOURENÇO DE SOUSA

DESEMPENHO E SEGURANÇA DE LÂMPADAS LED INTELIGENTES:
COMPARAÇÕES ÀS NORMAS DE LÂMPADAS LED CONVENCIONAIS.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração: <Área de concentração>.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcio Zamboti Fortes, Dr. – Orientador, UFF

Prof. André da Costa Pinho, D.Sc. - UFF

Prof. Marcelo Nesci Soares, D.Sc. – CEFET/RJ

Niterói

Agosto de 2024

<Pequena dedicatória>

Agradecimentos

Agradecemos a todos que ajudaram na construção desse modelo.

Resumo

O mercado brasileiro encontra-se em constante evolução e adaptação às novas tecnologias, o que se reflete na crescente receptividade à comercialização de lâmpadas inteligentes. Esses dispositivos representam uma revolução no campo da iluminação, oferecendo aos consumidores uma gama de recursos que vão além da simples iluminação. Com a capacidade de ajustar parâmetros elétricos e fotométricos, como potência, temperatura de cor e iluminação colorida, as lâmpadas inteligentes proporcionam um controle personalizado e versátil sobre o ambiente luminoso, tornando-se uma escolha popular para residências e espaços comerciais.

No entanto, mesmo com sua crescente popularidade, as lâmpadas inteligentes enfrentam desafios relacionados à certificação e conformidade com normas de qualidade e segurança. Enquanto as lâmpadas LED convencionais passam por rigorosos procedimentos de certificação, incluindo ensaios de qualidade de energia, as lâmpadas inteligentes que produzem cores RGB muitas vezes estão isentas desses requisitos. Isso pode gerar preocupações quanto à sua durabilidade, segurança e eficiência energética.

Este trabalho propõe uma abordagem para preencher essa lacuna na certificação, submetendo amostras de lâmpadas inteligentes a ensaios não destrutivos de certificação. Esses ensaios, normalmente reservados para lâmpadas LED convencionais, incluem a avaliação de desempenho, eficiência energética e segurança elétrica. Ao analisar esses aspectos em diferentes cenários, o objetivo é determinar se as lâmpadas inteligentes estão em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas.

Para maior confiabilidade dos resultados, foi utilizado um laboratório acreditado pelo INMETRO para a obtenção dos dados. Os ensaios foram realizados em um ambiente controlado, seguindo recomendações normativas de temperatura, umidade e configurações de ensaios. Os cenários propostos para a realização dos ensaios são estados da lâmpada que seriam usados de forma convencional, ou seja, não incluem os modos coloridos. Esses cenários refletem diferentes estados de operação da lâmpada, desde variações extremas de potência e temperatura de cor até o modo de espera. Isso permite uma avaliação abrangente do desempenho e da conformidade das lâmpadas inteligentes em diferentes condições de uso.

Após as medições dos cenários, foram utilizadas as normas previstas para lâmpadas LED convencionais, possibilitando uma análise com limites de qualidade de energia reconhecidos internacionalmente. Esses resultados destacam a importância de uma abordagem mais abrangente na certificação e avaliação de lâmpadas inteligentes, especialmente

considerando seu crescente uso e demanda no mercado brasileiro. Além disso, ressaltam a necessidade de desenvolver critérios específicos para a medição de qualidade e desempenho em lâmpadas LED inteligentes, a fim de garantir a segurança e a qualidade desses produtos para os consumidores

Palavras-chaves: Lâmpada LED Inteligente, Qualidade de Energia Elétrica, Desempenho, Eficiência energética.

Abstract

The Brazilian market is undergoing a continuous evolution and adaptation to new technologies, as evidenced by the growing receptivity to the commercialization of smart lamps. These devices represent a revolution in the field of lighting, offering consumers a range of features that go beyond simple illumination. With the ability to adjust electrical and photometric parameters such as power, color temperature, and colored lighting, smart lamps provide personalized and versatile control over the lighting environment, making them a popular choice for homes and commercial spaces.

However, even with their growing popularity, smart lamps face challenges related to certification and compliance with quality and safety standards. While conventional LED lamps undergo rigorous certification procedures, including energy quality tests, smart lamps that produce RGB colors are often exempt from these requirements. This can raise concerns about their durability, safety, and energy efficiency.

This study proposes an approach to fill this gap in certification, subjecting samples of smart lamps to non-destructive certification tests. These tests, typically reserved for conventional LED lamps, include performance evaluation, energy efficiency analysis, and electrical safety assessments. By analyzing these aspects under various scenarios, the objective is to determine whether smart lamps comply with the established standard limits.

To ensure the utmost reliability of the results, data collection was conducted in an INMETRO-accredited laboratory. The testing environment was meticulously controlled, adhering to normative recommendations for temperature, humidity, and test configurations. The scenarios chosen for testing reflect typical lamp usage patterns, excluding colored lighting modes. These scenarios encompass a range of operating states, from extreme variations in power output and color temperature to standby mode. This comprehensive approach allows for a thorough assessment of smart lamp performance and compliance under diverse usage conditions.

Following the scenario-based measurements, the established standards for conventional LED lamps were used for analysis, enabling a comparison with internationally recognized energy quality limits. The results underscore the crucial need for a more comprehensive approach to the certification and evaluation of smart lamps, particularly considering their burgeoning popularity and demand within the Brazilian market. Additionally, the findings highlight the importance of developing specific criteria for measuring quality and performance

in smart LED lamps. This focus on establishing rigorous testing procedures will ultimately guarantee the safety and quality of these products for consumers.

Keywords: : Smart LED Bulb, Power Quality, Performance, Energy Efficiency.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - EXEMPLOS DE SELO DE IDENTIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE.	2
FIGURA 2 - ARQUITETURA GENÉRICA IOT.	8
FIGURA 3 - CONCEITO DE CASA INTELIGENTE.	10
FIGURA 4 - PCB LÂMPADA LED INTELIGENTE.	11
FIGURA 5 - GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS.	13
FIGURA 6 - ESFERA INTEGRADORA.	14
FIGURA 7 - DIFERENTES TEMPERATURAS DE COR DO SOL.	15
FIGURA 8 - <i>PLANCKIAN LOCUS</i> DE UM CORPO NEGRO CIE 1931.	15
FIGURA 9 - VARIAÇÃO DA TONALIDADE DAS CORES COM O AUMENTO DO IRC.	17
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DIVERSAS FONTES DE LUZ.	17
FIGURA 11 - CORES PRÉ-ESTABELECIDAS.	18
FIGURA 12 - TRIÂNGULO DA POTÊNCIA.	21
FIGURA 13 - COMPONENTES HARMÔNICA MULTIPLA DA FUNDAMENTAL.	22
FIGURA 14 - EXEMPLOS DE BASE DE CONTATO ELÉTRICO.	24
FIGURA 15 - EXEMPLO DE GABARITOS USADOS EM ENSAIOS DE INTERCAMBIALIDADE DE BASE.	24
FIGURA 16 - EXEMPLO DEDO-PADRÃO USADO EM ENSAIOS DE PROTEÇÃO CONTRA CONTATO.	25
FIGURA 17 - PROPAGAÇÃO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA.	26
FIGURA 18 - AMOSTRAS USADAS NOS ENSAIOS.	40
FIGURA 19 - FONTE LINEAR DE POTÊNCIA PACIFIC 110-ADX.	42
FIGURA 20 - ESPECTRO RADIÔMETRO EVERFINE HAAS-2000.	43
FIGURA 21 - ESFERA INTEGRADORA DE ULBRICHT.	43
FIGURA 22- WATTÍMETRO DIGITAL YOKOGAWA WT-210.	44
FIGURA 23 - GONIOFOTÔMETRO EVERFINE GO-2000.	45
FIGURA 24 - ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE FILETE DE ROSTA.	46
FIGURA 25 - ENSAIO DE DIÂMETRO MÍNIMO.	47
FIGURA 26 - ENSAIO DE REALIZAÇÃO DE CONTATO.	48
FIGURA 27 - REALIZAÇÃO DA MEDIÇÃO DE MASSA DA AMOSTRA.	48
FIGURA 28 - ENSAIO DE PROTEÇÃO CONTRA CONTATO COMPARTES VIVAS.	49
FIGURA 29 - SIMULAÇÃO DE REPROVAÇÃO DO ENSAIO DE PROTEÇÃO CONTRA CONTATO COMPARTES VIVAS UTILIZANDO O DEDO PADRÃO.	49
FIGURA 30 - ENSAIO COM GABARITO PARA PROTEÇÃO DE CONTATO COMPARTES VIVAS.	50
FIGURA 31 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO CA USADO NOS ENSAIOS.	51
FIGURA 32 - LISN USADO NOS ENSAIOS.	52
FIGURA 33 - PRÉ-SELETOR USADO NOS ENSAIOS.	52
FIGURA 34 - PRÉ-AMPLIFICADOR USADO NOS ENSAIOS.	53
FIGURA 35 - ANALISADOR DE ESPECTRO USADO NOS ENSAIOS.	53
FIGURA 36 - CDNE USADO NOS ENSAIOS.	54
FIGURA 37 - FILTRO PASSA-ALTA USADO NOS ENSAIOS.	54
FIGURA 38 - ANTENA <i>LOOP</i> USADA NOS ENSAIOS.	55
FIGURA 39 - AGRUPAMENTO DE ESPECTROS SEMELHANTES DE AMOSTRA F1.	67
FIGURA 40 - COMPARANDO 1 ESPECTRO DE CADA GRUPO SEMELHANTE DA AMOSTRA F1. ...	68
FIGURA 41 - ESPECTROS COM MAIOR MARGEM NEGATIVA EM CADA AMOSTRA.	69

FIGURA 42 - ESPECTROS COM MAIOR MARGEM NEGATIVA EM CADA AMOSTRA EM MODO DE ESPERA. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.	70
FIGURA 43 - CENÁRIO 1 EM AMBAS AS TENSÕES NO CNDE.....	72
FIGURA 44 - ESPECTROS DA MEDIÇÃO DA LOOP.....	72
FIGURA 45 - RUÍDO AMBIENTE LOOP.	73
FIGURA 46 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F2.....	81
FIGURA 47 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F3.....	81
FIGURA 48 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F4.....	82
FIGURA 49 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F5.....	82
FIGURA 50 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F6.....	83
FIGURA 51 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F7.....	83
FIGURA 52 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F8.....	84
FIGURA 53 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F9.....	84
FIGURA 54 -- ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F10.	85
FIGURA 55 - ESPECTROS SEMELHANTES DA AMOSTRA F11.....	85
FIGURA 56 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F1.....	86
FIGURA 57 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F2.....	86
FIGURA 58 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F3.....	87
FIGURA 59 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F4.....	87
FIGURA 60 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F5.....	87
FIGURA 61 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F6.....	88
FIGURA 62 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F7.....	88
FIGURA 63 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F8.....	88
FIGURA 64 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F9.....	89
FIGURA 65 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F10.....	89
FIGURA 66 - TODAS AS MEDIÇÕES DE CDNE DA AMOSTRA F11.....	89

Lista de Tabelas

TABELA 1 - ENSAIOS DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVOS.	3
TABELA 2 - TEMPERATURA DE COR CORRELATA E TOLERÂNCIAS.	30
TABELA 3 - RELAÇÃO DE EFICIÊNCIA MÍNIMA.	31
TABELA 4 - MARCAÇÕES E LOCAIS ONDE MARCAÇÕES É NECESSÁRIA.	32
TABELA 5 - LIMITES DAS TENSÕES DE PERTURBAÇÃO NAS INTERFACES DE FONTE	34
TABELA 6 - LIMITES DE DISTÚRBIOS RADIADOS NA FAIXA DE FREQUÊNCIA 9 KHZ ATÉ 30 MHZ.	34
TABELA 7 - LIMITES DE DISTÚRBIOS RADIADOS NA FAIXA DE FREQUÊNCIA 9 KHZ ATÉ 30 MHZ.	35
TABELA 8 - LIMITES HARMÔNICOS CRITÉRIO 1	36
TABELA 9 - DADOS NOMINAIS DAS AMOSTRAS ADQUIRIDAS	40
TABELA 10 - CENÁRIOS PARA OS ENSAIOS LUMINOTÉCNICOS	41
TABELA 11 - DADOS NOMINAIS DECLARADOS - PARTE 1.	57
TABELA 12 - DADOS NOMINAIS DECLARADOS - PARTE 2.	57
TABELA 13 - RESULTADOS DE MARCAÇÕES - PARTE 1.....	58
TABELA 14 - RESULTADOS DE MARCAÇÕES - PARTE 2.....	58
TABELA 15 - RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE MASSA DAS AMOSTRAS.	59
TABELA 16 - RESULTADOS FOTOMÉTRICOS	60
TABELA 17 - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES ELÉTRICAS	62
TABELA 18 - MAIOR POTÊNCIA MEDIDA POR AMOSTRA.	63
TABELA 19 - RESULTADOS MEDIÇÕES DE HARMÔNICOS	64
TABELA 20 - PARECER DE CONFORMIDADE DOS CRITÉRIOS DA IEC 61000-3-2	65
TABELA 21 - RESULTADOS PARÂMETROS ELÉTRICOS EM MODO DE ESPERA.....	65
TABELA 22 - VALORES MAIS PRÓXIMOS AOS LIMITES DE CADA AMOSTRAS.	69
TABELA 23 - PONTOS DE MEDIÇÃO DE ACORDO O CRITÉRIO NORMATIVO. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	70
TABELA 24 - PARECER DOS ENSAIOS USANDO O LISN.....	71
TABELA 25 - RESUMO DOS PARECERES.....	74
TABELA 26 - RESULTADOS HARMÔNICOS - 13° ATÉ 25° ORDEM	90
TABELA 27 - RESULTADOS HARMÔNICOS - 17° ATÉ 39° ORDEM	91

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CDNE	<i>Coupling and Decoupling Network for Emission</i>
CIE	<i>Commission Internationale de l'Éclairage</i>
CISPR	<i>Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques</i>
EBTS	Extra Baixa Tensão Segurança
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
EUT	<i>Equipment Under Test</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FM	Frequência Modulada
FP	Fator de Potência
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IoT	<i>Internet of Things</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LFC	Lâmpadas Fluorescentes Compactas
LISN	<i>Line Impedance Stabilization Network</i>
NBR	Norma Brasileira
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode</i>
PCB	<i>Print Circuit Board</i>
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RF	Radiofrequência
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
SELV	<i>Safety Extra Low Voltage</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
TCC	Temperatura de Cor Correlata
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
UE	União Europeia
UFF	Universidade Federal Fluminense

Sumário

Capítulo 1 - Introdução.....	18
1.1 Motivação	18
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura do Trabalho	4
Capítulo 2 - Conceituação Teórica.....	7
2.1 Tecnologia Inteligente	7
2.1.1 Internet das Coisa.....	8
2.1.2 Casa Inteligente	9
2.1.3 Lâmpada LED Inteligente	10
2.2 Conceitos Luminotécnicos	12
2.2.1 Fluxo Luminoso	12
2.2.2 Temperatura de Cor Correlata	14
2.2.3 Índice de Reprodução de Cor	16
2.2.4 Eficiência Luminosa	18
2.2.5 Distribuição Luminosa	19
2.3 Características Elétricas	20
2.3.1 Fator de Potência	20
2.3.1 Distorção Harmônica	21
2.4 Segurança Elétrica.....	22
2.4.1 Marcações.....	23
2.4.2 Intercambialidade da Base	23
2.4.3 Proteção Contra Contato	24
2.5 Compatibilidade Eletromagnética	25
Capítulo 3 - Normatização	29
3.1 Portaria 69/2022.....	29
3.2 ABNT NBR IEC/CISPR 15	34
3.3 IEC 61000-3-2	35
3.4 Modo de espera	36
Capítulo 4 - Metodologia.....	39
4.1 Seleção das amostras	39
4.2 Descrição dos cenários propostos.....	41
4.3 Dados Fotoelétricos	42

4.4	Segurança Elétrica.....	45
4.5	Compatibilidade Eletromagnética	50
Capítulo 5 - Resultados e Análises		57
5.1	Segurança Elétrica.....	58
5.2	Dados Fotométricos	60
5.3	Dados elétricos	62
5.4	Compatibilidade Eletromagnética	67
Capítulo 6 - Conclusão		74
6.1	Trabalhos Futuros	75
Bibliografia 77		
Apêndice A – Gráficos dos ensaios de EMC		81
A.1	Medições das tensões de perturbação em terminais de alimentação.	81
A.2	Medições dos distúrbios radiado pelo método do CDNE.....	86
Apêndice B – Resultados harmônicos.....		90
B.1	Resultado das demais ordens harmônicas.....	90
Anexo A – Portaria n° 69/2022		92
A.1	– Tabela de fluxo de equivalência.....	92
A.2	– Modelos de Lâmpadas.....	93

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Motivação

A certificação de produtos é um processo de avaliação realizado por um órgão independente que atesta que um produto atende a determinados requisitos de segurança, desempenho, saúde e meio ambiente. Para o consumidor, a certificação é um indicador de que o produto é seguro e confiável, e que o fabricante ou distribuidor se preocupa com a segurança do cliente.

O Selo de Identificação da Conformidade, conhecido também como Selo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), é uma marca que identifica produtos que foram avaliados e aprovados por um organismo de certificação acreditado pelo Inmetro. O selo garante que esses produtos atendem aos requisitos de segurança e qualidade estabelecidos pelas normas brasileiras.

O selo é composto do logotipo do Inmetro e o número do registro do produto. O selo também pode incluir informações adicionais, como o nome do organismo de certificação ou o número da norma a que o produto atende. Na Figura 1 está apresentado dois exemplos de como pode ser encontrado o Selo Inmetro.

A presença do selo Inmetro é uma garantia de segurança para os consumidores. Ao escolher produtos com o selo, os consumidores podem ter certeza de que estão adquirindo produtos que foram testados e aprovados por um órgão independente [1].



Figura 1 - Exemplos de Selo de Identificação da Conformidade.

Fonte: Adaptado de [2]

Em 2014, os consumidores brasileiros já estavam familiarizados a nova tecnologia de iluminação doméstica, as lâmpadas com componentes LED (do inglês, *light emitting diode*) de iluminação. Então, para trazer todos benefícios que o Selo Identificação da Conformidade levaria para esse novo produto no mercado brasileiro foi publicado Portaria nº 389, de 25 de agosto de 2014 do Inmetro [3], certificando assim a obrigatoriedade de observância dos critérios estabelecidos no Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ). Esse regulamento foi revogado e substituído pelo Portaria nº 69, de 16 de fevereiro de 2022 [4].

Os produtos de iluminação LED, antes da publicação da Portaria obrigando a certificação, não apresentavam um padrão mínimo de qualidade e o consumidor não conseguia ter o conhecimento se as lâmpadas adquiridas seriam seguras para o manuseio ou se elas apresentavam desempenho igual ao informado na embalagem.

A Portaria abrange as lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base [4], sendo elas a maior parcela das lâmpada convencionais comercializados para o uso doméstico. Contudo, encontram-se excluídos do cumprimento das disposições previstas nela: lâmpadas com LED coloridos, com lentes coloridas, que emitem luz colorida; lâmpadas LED RGB (do inglês - *Red, Green e Blue*), que possuem invólucro coloridos e decorativas, e emitem luz colorida; lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado que produzam intencionalmente luz colorida; e lâmpadas OLED (do inglês - *Organic Light Emitting Diode*).

As lâmpadas inteligentes são luminárias que possuem a capacidade de emitir luz colorida de forma intencional, muitas vezes destinadas a propósitos decorativos. Isso tem levado vários fabricantes a explorar essa funcionalidade como uma maneira de evitar a certificação obrigatória e, assim, escapar da exigência de receber o Selo do Inmetro. No entanto, é fundamental lembrar que as lâmpadas inteligentes não se restringem apenas ao

aspecto decorativo, mas também desempenham um papel essencial na iluminação convencional, e garantir a qualidade desses produtos é de extrema importância para os consumidores. Portanto, um estudo dedicado à avaliação da qualidade dessas tecnologias no mercado nacional se torna imprescindível.

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é realizar um estudo abrangente das lâmpadas inteligentes disponíveis no mercado nacional. O estudo envolverá a análise de dados obtidos por meio de experimentos e a comparação desses resultados com as regulamentações vigentes.

No âmbito das análises, o objetivo principal é comparar os resultados dos testes realizados nas lâmpadas inteligentes com os padrões mínimos estabelecidos para desempenho, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética (EMC– do inglês *Electromagnetic Compatibility*) da Portaria nº 69 [4]. É importante ressaltar que esta portaria se aplica a lâmpadas LED convencionais, e nosso estudo considerará as configurações nas quais as lâmpadas LED inteligentes se comportam de maneira semelhante às lâmpadas convencionais comercializadas no mercado brasileiro.

Adicionalmente, será realizado uma análise dos parâmetros elétricos e de EMC das mesmas lâmpadas LED inteligentes no modo de espera, ou seja, quando as lâmpadas são controladas por dispositivos para permanecerem desligadas e aguardam um comando para serem ligadas novamente.

Este estudo se restringirá aos ensaios definidos como não destrutivos pela Portaria, ou seja, aqueles nos quais não será necessário danificar a amostra sujeita aos ensaios. Essa limitação é imposta pela disponibilidade de apenas uma amostra de cada fabricante, o que inviabiliza a realização de ensaios destrutivos que exigiriam múltiplas lâmpadas do mesmo modelo e fabricante. Na Tabela 1 apresenta os ensaios destrutivos e não destrutivos presente na Portaria nº 69, o item corresponde a seção do documento.

Tabela 1 - Ensaios destrutivo e não destrutivos.

Ensaios de desempenhos		
Item	Ensaios, Medições e inspeções	Destrutivo (D) ou Não Destrutivo (ND)
3.1.1	Potência da lâmpada	ND
3.1.2	Fator de Potência	ND

Ensaio de desempenhos		
Item	Ensaio, Medições e inspeções	Destrutivo (D) ou Não Destrutivo (ND)
3.1.2	Limite de Harmônicas	ND
3.1.3	Fluxo Luminoso	ND
3.1.4	Temperatura de Cor Correlata	ND
3.1.5	Índice de Reprodução de Cores	ND
3.1.6	Eficiência Energética	ND
3.1.7	Fluxo luminoso para equivalência	ND
3.1.8	Distribuição Luminosa	ND
3.1.9	Valor da intensidade luminosa de pico	ND
3.1.10	Ângulo do fecho luminoso	ND
3.1.11	Manutenção do Fluxo Luminoso e definição da vida nominal (Opção 01 ou Opção 02)	D
3.1.12	Ciclo térmico e Comutação	D
Ensaio de Segurança Elétrica		
3.3	Marcação	ND
3.2.2	Intercambialidade da base	ND
3.2.3	Proteção contra contato acidental partes vivas	ND
3.2.4	Compatibilidade Eletromagnética	ND
3.2.5	Resistência de Isolação e Rigidez Dielétrica após exposição à umidade	D
3.2.6	Resistência a Torção	D
3.2.7	Resistência ao aquecimento	D

Fonte: Adaptado de [4]

Essa abordagem é relevante, pois permitirá avaliar as lâmpadas LED inteligentes em cenários de uso típicos, fornecendo informações valiosas sobre seu desempenho e conformidade com os padrões de qualidade de energia elétrica em aplicações comuns. Dessa forma, o estudo pode contribuir para garantir que esses produtos atendam aos requisitos de qualidade e segurança, mesmo em configurações de iluminação mais tradicionais, beneficiando os consumidores e a integridade da rede elétrica.

1.3 Estrutura do Trabalho

O desenvolvimento dessa dissertação está estabelecido como descrito a seguir.

O Capítulo 1, apresenta a motivação para a realização do estudo, delinea os objetivos principais e secundários. Aqui, é explicado o contexto da pesquisa e sua relevância no campo das tecnologias de iluminação inteligente.

O Capítulo 2, aborda os conceitos fundamentais e as tecnologias subjacentes ao estudo. Inclui uma explicação detalhada sobre tecnologia inteligente, como Internet das Coisas (IoT – do inglês, *Internet of Things*), casas inteligentes e lâmpadas LED inteligentes. Também são discutidos conceitos luminotécnicos, como fluxo luminoso, temperatura de cor correlata, índice de reprodução de cor, eficiência luminosa e distribuição luminosa. As características elétricas, como fator de potência e distorção harmônica, e a segurança elétrica, incluindo marcações, intercambialidade da base e proteção contra contato, são analisadas. Por fim, aborda-se a compatibilidade eletromagnética.

O Capítulo 3 apresenta as normas e regulamentos que norteiam a certificação e utilização de lâmpadas LED inteligentes. As normas abordadas incluem a Portaria 69/2022, ABNT IEC/CISPR 15, IEC 61000-3-2 e requisitos de modo de espera. A importância dessas normas para garantir a qualidade e segurança dos produtos é discutida em detalhes.

O Capítulo 4 descreve o processo metodológico utilizado na pesquisa, incluindo a seleção das amostras e a definição dos cenários propostos. São explicados os procedimentos de coleta de dados fotoelétricos, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética. A metodologia detalha os critérios e técnicas empregadas para assegurar a precisão e confiabilidade dos resultados.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios são apresentados e analisados neste capítulo. As análises cobrem aspectos de segurança elétrica, dados fotométricos, dados elétricos e compatibilidade eletromagnética. Comparações são feitas entre os resultados das amostras testadas e os requisitos normativos, destacando conformidades e não conformidades encontradas.

O Capítulo 6 são discutidas as conclusões derivadas dos resultados apresentados. A eficácia das lâmpadas LED inteligentes disponíveis no mercado brasileiro é avaliada com base nos dados coletados. Além disso, são sugeridas direções para trabalhos futuros, visando aprofundar e ampliar a pesquisa realizada.

Nos apêndices serão apresentados resultados de todas as medições e nos anexos são apresentados documentos pertinentes para o entendimento.

Capítulo 2 - Conceituação Teórica

O Capítulo 2 tem como propósito de fornecer uma base teórica que facilite a compreensão dos tópicos abordados neste trabalho. Serão abordados conceitos-chave, como tecnologia inteligente, com uma explicação sobre a Internet das Coisas e as aplicações de casas e lâmpadas inteligentes. Além disso, este capítulo incluirá uma exploração de conceitos luminotécnicos, tais como fluxo luminoso, temperatura de cor correlata, índice de reprodução de cor, eficiência energética e distribuição luminosa.

Outros aspectos abordados no capítulo incluirão as características elétricas e segurança elétrica, que compreendem tópicos como potência, fator de potência, harmônicos, marcações, intercambialidade da base e proteção contra contato elétrico. Por fim, será apresentado o conceito de EMC. Este capítulo visa proporcionar um sólido entendimento dos princípios e conceitos essenciais que sustentarão a pesquisa subsequente.

2.1 Tecnologia Inteligente

Nos últimos anos, temos testemunhado uma crescente onda de digitalização nos sistemas de controle, provocando uma transformação profunda nos sistemas de produção industrial. Agora, esses sistemas são impulsionados por uma abordagem inteligente, colaborativa e descentralizada.

Os desafios que se apresentam nos ambientes de produção industrial são cada vez mais complexos. Estes incluem o controle de processos industriais, a eficácia na resposta às demandas de um mercado em constante mutação e uma análise minuciosa da eficiência na utilização dos recursos disponíveis. O objetivo é produzir bens com a menor geração de resíduos possível, incorporando, assim, o princípio da sustentabilidade.

A conectividade, sensores, eletrônica e as ferramentas de tecnologia da informação desempenham um papel essencial ao integrar sistemas automatizados e sistemas de informação por meio de redes de comunicação. Isso resulta na criação de um mercado com uma ampla oferta de produtos e uma maior comoditização [5].

2.1.1 Internet das Coisa

O aumento da popularidade da internet de banda larga sempre esteve em sintonia com o crescimento do número de usuários da internet. Existe uma relação direta entre os usuários da internet e a disponibilidade de banda larga. Portanto, a redução dos custos de conexão tornou-se uma realidade graças à disseminação da conectividade *Wi-Fi*, à integração de sensores nos dispositivos e ao aumento da capacidade de conectar um número cada vez maior de dispositivos por meio de uma rede comum [6].

Estamos presenciando um aumento sem precedentes na conexão de um número crescente de objetos físicos à internet, materializando a visão de IoT. Exemplos simples incluem termostatos e sistemas de monitoramento e controle de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, na Figura 2 está apresentado uma arquitetura genérica abrangendo IoT. No entanto, as aplicações da IoT abrangem diversos domínios e ambientes, proporcionando melhorias significativas em nossa qualidade de vida. Essas aplicações abarcam áreas como transporte, saúde, automação industrial e resposta a situações de emergência, sejam elas de origem natural ou provocadas pelo homem, em que a tomada de decisões humanas é desafiadora [7].

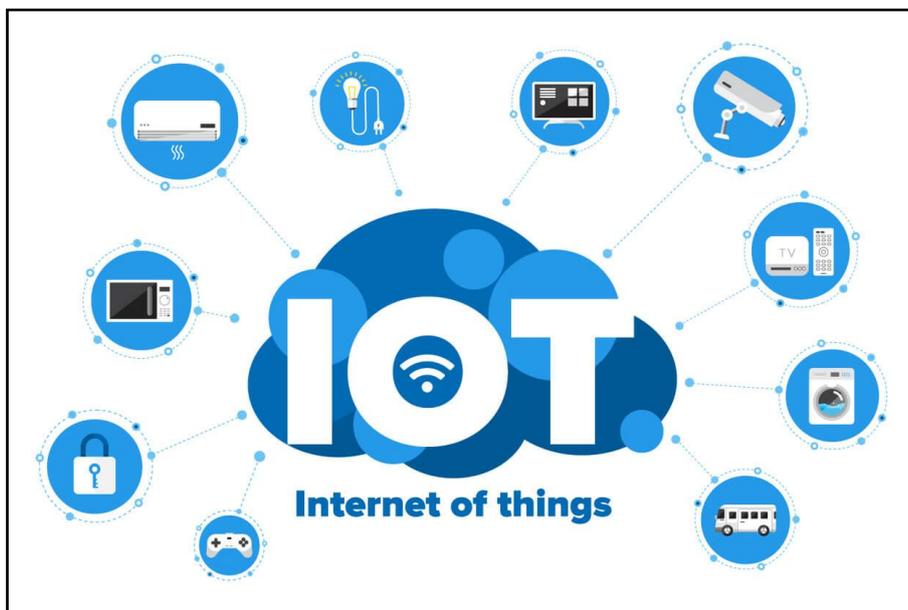


Figura 2 - Arquitetura genérica IoT.

Fonte: [8]

A expressão-chave "Internet das Coisas" foi inicialmente cunhada por Kevin Ashton em 1999, no contexto da Gestão da Cadeia de Suprimentos [9]. A IoT representa um impulso significativo para a criação de serviços com diversas aplicações, permitindo que objetos ao

nosso redor se comuniquem pela internet [10]. As aplicações da IoT têm o potencial de transformar a vida das pessoas, tornando-a mais fácil, simples e confortável.

A IoT oferece uma plataforma flexível e expansível capaz de sustentar uma ampla variedade de aplicações, devido à vastidão de setores e domínios que ela abrange. Ela encontra aplicações em diversos campos, incluindo comércio, indústria, saúde e consumo. Entre as aplicações mais populares da IoT, podemos mencionar residências inteligentes, tecnologia vestível, cidades inteligentes, redes inteligentes, IoT industrial, veículos conectados, saúde conectada, varejo inteligente, cadeia de suprimentos inteligente e agricultura inteligente. Notavelmente, as residências inteligentes destacam-se como um dos setores mais atrativos devido aos benefícios em termos de eficiência energética, economia e conforto que oferecem [11].

A pode ser descrita de maneira concisa como uma estrutura arquitetônica que viabiliza a integração e o intercâmbio de informações entre o mundo físico e sistemas computacionais por meio da infraestrutura de rede preexistente. Nesse contexto, abrange todos os tipos de dispositivos conectados em rede que têm a capacidade de comunicar-se entre si, permitindo o envio e recebimento de dados pela internet [6].

Um dos inúmeros desafios associados à adoção da IoT é o consumo elevado de energia. Isso se deve ao fato de que muitos dispositivos estão conectados à nuvem e, para que esses dispositivos possam estabelecer conexões e transferir dados, requerem um consumo significativo de energia [12].

2.1.2 Casa Inteligente

O conceito de casas inteligentes teve suas raízes na década de 1930, quando eram conhecidas como "casas do futuro" e estavam vinculadas ao desejo de alcançar eficiência máxima no ambiente doméstico. Na década de 1970, o *Intelligent Building Institute*, sediado em Washington, cunhou a ideia de uma "casa inteligente" como um edifício que otimiza o uso produtivo e eficiente do espaço de trabalho [13].

Com o tempo, houve uma mudança gradual do enfoque na eficiência interna da casa para a eficiência energética. Conforme descrito por [14], uma casa inteligente é definida como uma residência equipada com uma rede de comunicação, sensores interconectados, eletrodomésticos inteligentes e dispositivos que podem ser monitorados ou controlados

remotamente. Em princípio, o termo "casa inteligente" pode abranger uma residência independente, um apartamento ou uma parte autônoma de um edifício.

O advento da tecnologia IoT proporciona um amplo leque de opções em termos de conectividade e inteligência para eletrodomésticos. A criação de um sistema baseado na web para uma casa inteligente, integrado a um ecossistema IoT, oferece a capacidade de controlar e monitorar diversos elementos, como iluminação, eletrodomésticos, computadores, etc., através da internet, independentemente da localização do usuário [13]. Na Figura 3 ilustra o conceito de casa inteligente.



Figura 3 - Conceito de Casa Inteligente.
Fonte: Adaptado de [15].

2.1.3 Lâmpada LED Inteligente

O sistema de iluminação inteligente é aquele que se encontra conectado a uma rede e possibilita o controle e monitoramento, seja a partir de um sistema centralizado ou de maneira remota, utilizando uma plataforma em nuvem [11].

As lâmpadas inteligentes LED ganharam destaque devido ao seu papel fundamental como um exemplo representativo da próxima era da IoT [1]. A função mais fundamental de uma lâmpada inteligente é o escurecimento por meio de comunicação sem fio usando *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, etc.

A tecnologia de comunicação sem fio tem se destacado cada vez mais nas aplicações embarcadas, como *smart TVs*, sistemas de som e fones de ouvido, devido à conveniência

que oferece e à estética mais elegante, contribuindo assim para valorizar esses dispositivos [16].

Com a evolução da tecnologia e o avanço da automação residencial, o uso de lâmpadas inteligentes nas residências vem crescendo. De acordo com dados de Statista em 2022, a previsão é de um aumento na adoção dessas lâmpadas de pouco mais de 2% em 2020 para quase 8% até 2025. Essas lâmpadas inteligentes são equipadas com dois LEDs de alta potência, um em tonalidade branca fria e outro em tonalidade branca quente, além de um LED RGB de baixa ou alta potência, na Figura 4 está apresentado uma de placa de circuito impresso (PCB – do inglês *Print Circuit Board*) mostrando os tipos de LEDs presentes na lâmpada inteligente. Isso difere das lâmpadas LED convencionais, que normalmente contam apenas LEDs de alta potência. Essa característica permite às lâmpadas inteligentes ajustar tanto a intensidade luminosa quanto a temperatura de cor, proporcionando vantagens em relação às lâmpadas convencionais, que apresentam apenas dois estados: ligado e desligado [17].



Figura 4 - PCB lâmpada LED inteligente.
Fonte: Autoria própria.

Atualmente, existem aplicativos móveis disponíveis para controlar a iluminação de lâmpadas inteligentes. Esses aplicativos permitem a execução de diversas tarefas de forma automática. Por exemplo, é possível ligar ou desligar o dispositivo, configurar o modo de cor, ajustar a intensidade de brilho, selecionar a temperatura de cor e programar o desligamento automático. Essas tarefas podem ser acionadas com base em condições

específicas, como variações no clima local, ou podem ser agendadas para ocorrer em horários predefinidos [17].

2.2 Conceitos Luminotécnicos

Para a compreensão dos parâmetros mensurados e analisados, serão sucintamente conceituadas algumas grandezas luminotécnicas, tais como: fluxo luminoso, temperatura de cor correlata (TCC), índice de reprodução de cor (IRC), eficiência energética e distribuição luminosa.

2.2.1 Fluxo Luminoso

O Sistema Internacional de Unidades (SI), comumente abreviado como SI é globalmente reconhecido como o padrão universal para unidades de medida. Dentro desse sistema, a medida fotométrica fundamental, conhecida como intensidade luminosa, é expressa em candelas (cd). A escolha do termo "candela" possui raízes históricas, uma vez que anteriormente era referida como "vela" e sua definição estava associada a padrões de chama ou filamento.

A unidade de fluxo luminoso é denominada lúmen (lm); a quantidade de fluxo luminoso incidente em uma unidade quadrada da superfície de uma esfera é estabelecida como 1 lm. Vale ressaltar que a própria unidade é arbitrária, visto que a quantidade total de fluxo que incide sobre essa área é independente do tamanho da esfera. Em uma esfera de raio unitário, é possível demonstrar por meio de geometria simples que a área da superfície da esfera é equivalente a 4π unidades quadradas. Desse modo, uma fonte isotrópica com intensidade luminosa de 1 cd resulta em um fluxo luminoso total de 4π lm.

A concentração de fluxo luminoso que atinge uma superfície, ou seja, o fluxo incidente por unidade de área, é conhecida como iluminância. Para definir uma unidade de iluminância, a esfera agora precisa possuir dimensões reais, pois a densidade de fluxo diminui com o aumento da distância da fonte. Se o raio da esfera for 1 m, a iluminância na parede da esfera é de 1 lm/m^2 , ou 1 lux (lx) [18]. A Figura 5 mostra de forma ilustrada as grandezas descritas.

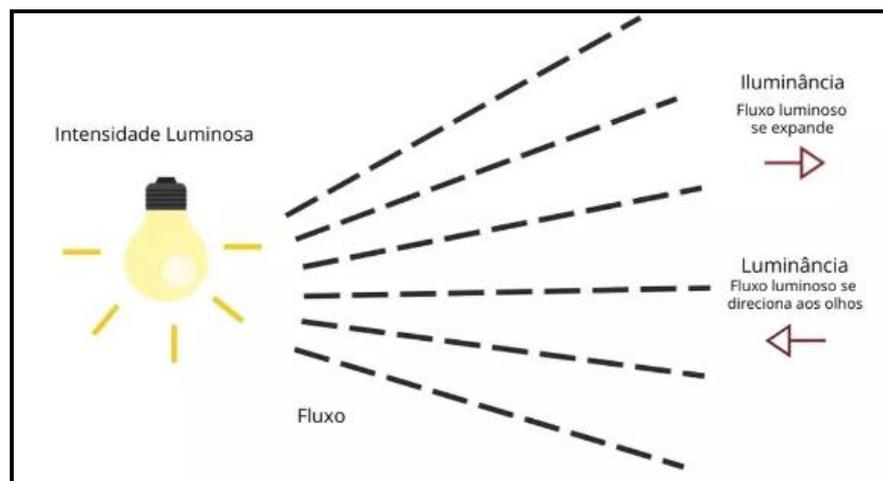


Figura 5 - Grandezas luminotécnicas.

Fonte: [19]

A esfera integradora é empregada para mensurar o fluxo luminoso total proveniente de uma fonte, tal como uma lâmpada ou luminária. O modelo mais comum desse instrumento é a esfera de Ulbricht. A teoria subjacente da esfera integradora parte do pressuposto de uma esfera vazia cuja superfície interna é perfeitamente difusora e de refletância uniforme não seletiva. Em virtude dessa característica, cada ponto na superfície interna reflete para todos os outros pontos, e a iluminância em qualquer ponto é composta por dois elementos distintos: o fluxo luminoso que incide diretamente da fonte e o que é refletido de outras áreas na parede da esfera.

Com tais premissas, infere-se que a iluminância e, conseqüentemente, a luminância em qualquer ponto da parede, devido exclusivamente à luz refletida, são proporcionais ao fluxo total emanado da fonte, independentemente de sua distribuição original. A luminância de uma pequena porção da parede ou da superfície externa de uma janela de transmissão uniformemente difusa na parede, quando estrategicamente protegida da luz direta da fonte, mas recebendo luz de outras regiões da esfera, representa, assim, uma medida relativa do fluxo luminoso total da fonte [18]. Exemplo da esfera integradora está mostra na Figura 6.



Figura 6 - Esfera integradora.

Fonte: [20].

2.2.2 Temperatura de Cor Correlata

O conceito de temperatura de cor está relacionado a um "corpo negro radiador" e à cor que ele emitiria quando aquecido a uma determinada temperatura. Essa temperatura é geralmente medida em Kelvin (K) [20]. As características de um corpo negro em diferentes temperaturas são determinadas pela lei da radiação de Planck.

A percepção das cores dos radiadores de corpo negro em diferentes temperaturas varia de acordo com o estado de adaptação do observador, passando de vermelho para laranja, amarelo, branco e azul à medida que a temperatura aumenta [18]. Quando lidamos com radiação cuja cromaticidade não é precisamente igual à do corpo negro, utilizamos o conceito de temperatura de cor correlacionada. Um exemplo é o sol (Figura 7) que dependendo da do período do dia apresentará uma TCC diferente.

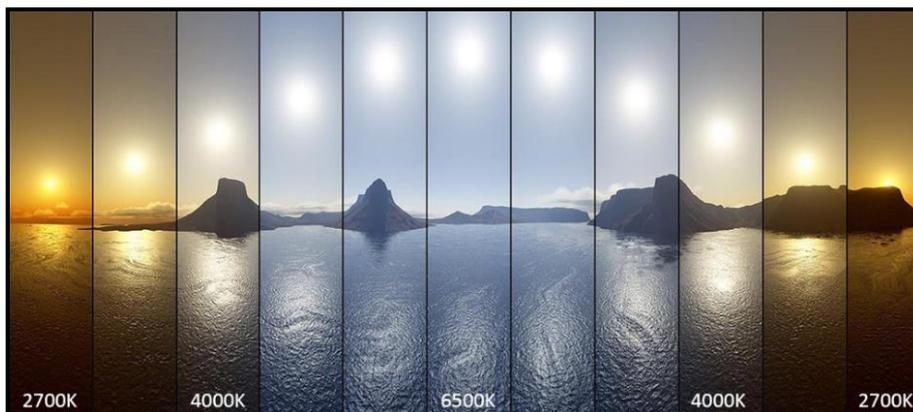


Figura 7 - Diferentes temperaturas de cor do sol.

Fonte: Adaptado de [21].

O "caminho" da cor, conhecido como *Planckian locus*, de um corpo negro radiador no diagrama de cromaticidade CIE (Comissão Internacional de Iluminação, do francês *Commission Internationale de l'Éclairage*) de 1931, é ilustrado na Figura 3.10. A temperatura de cor correlacionada pode ser determinada graficamente por meio das linhas que intersectam o "caminho" da cor, chamadas de linhas de isotemperatura. [22].

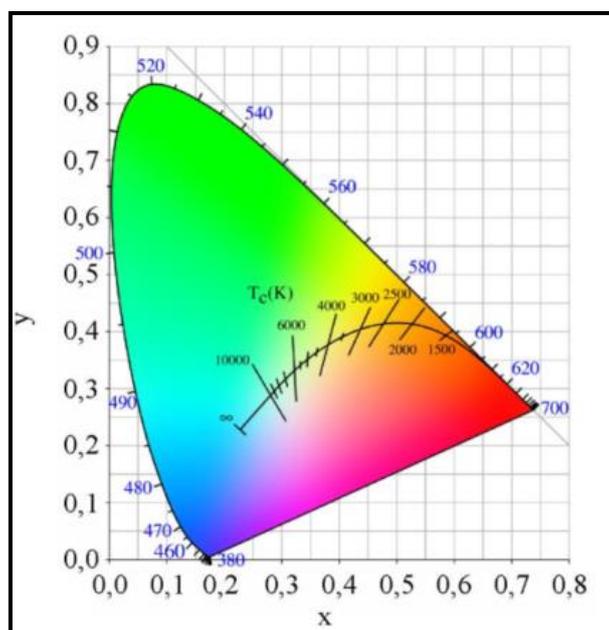


Figura 8 - Planckian locus de um corpo negro CIE 1931.

Fonte: [22].

Em espaços interiores como escritórios, uma fonte criará um ambiente "quente" se sua TCC for cerca de 3000 K ou inferior, e um ambiente "frio" se for 5000 K ou superior. Uma TCC entre esses dois valores é considerada neutra. As preferências individuais variam em relação a ambientes quentes, neutros ou frios [18].

Para medição do TCC, um espectrofotômetro é empregado na determinação das propriedades de refletância espectral e transmitância de materiais. As medições resultantes oferecem uma abordagem para analisar a cor de um material, sendo utilizadas em processos de análise, padronização e especificação.

Espectrorradiômetros e espectrofotômetros são instrumentos estreitamente relacionados, pois compartilham métodos de dispersão, detectores e requisitos de automação semelhantes. A principal distinção reside no fato de que um espectrorradiômetro realiza medições com fontes externas ao sistema, enquanto um espectrofotômetro incorpora fontes internas e uma esfera ou câmara integradora, onde as amostras de teste são posicionadas [18].

2.2.3 Índice de Reprodução de Cor

Frequentemente ocorre confusão entre TCC e reprodução de cores. Em termos simples, a TCC refere-se à aparência da cor de uma fonte de luz, sendo considerada "quente" para valores baixos e "fria" para valores altos, como dito no tópico anterior. Por outro lado, a reprodução de cores diz respeito à capacidade de uma fonte de luz, com sua TCC específica, de tornar as cores dos objetos semelhantes às de uma fonte de luz de referência [18].

O IRC, também chamado de Ra, mantém uma relação direta com a reprodução de cores obtida com a luz natural. Em geral, a luz artificial deve se aproximar ao máximo das características da luz natural, à qual o olho humano está naturalmente adaptado. A percepção mais precisa das cores ocorre quando colocamos um objeto sob a influência da luz natural. O IRC atinge um valor máximo de 100, que ocorre quando as distribuições espectrais da fonte sob teste e da fonte de referência são idênticas.

Um objeto ou superfície exposta a diversas fontes de iluminação é percebido visualmente em tonalidades distintas (ver Figura 9). Essa variação está associada às diferentes capacidades das lâmpadas em reproduzir as cores dos objetos de maneiras diversas. A partir desse fenômeno, podemos inferir que a cor está intrinsecamente relacionada à presença de luz.



Figura 9 - Variação da tonalidade das cores com o aumento do IRC.
Fonte: [23]

Lâmpadas incandescentes apresentam uma distribuição espectral de energia quase idêntica à da fonte padrão (ver Figura 10), resultando em uma excelente reprodução de cor. No entanto, a eficiência dessas lâmpadas é bastante baixa. Em comparação, por muito tempo acreditava-se que uma boa reprodução de cor em lâmpadas fluorescentes só poderia ser alcançada sacrificando a eficiência e irradiando toda a gama de cores do espectro visual. Atualmente, sabemos que isso não é necessariamente verdadeiro e que existem lâmpadas fluorescentes cuja emissão se concentra em três comprimentos de onda distintos, proporcionando uma reprodução de cor eficaz junto com alta eficiência [24].

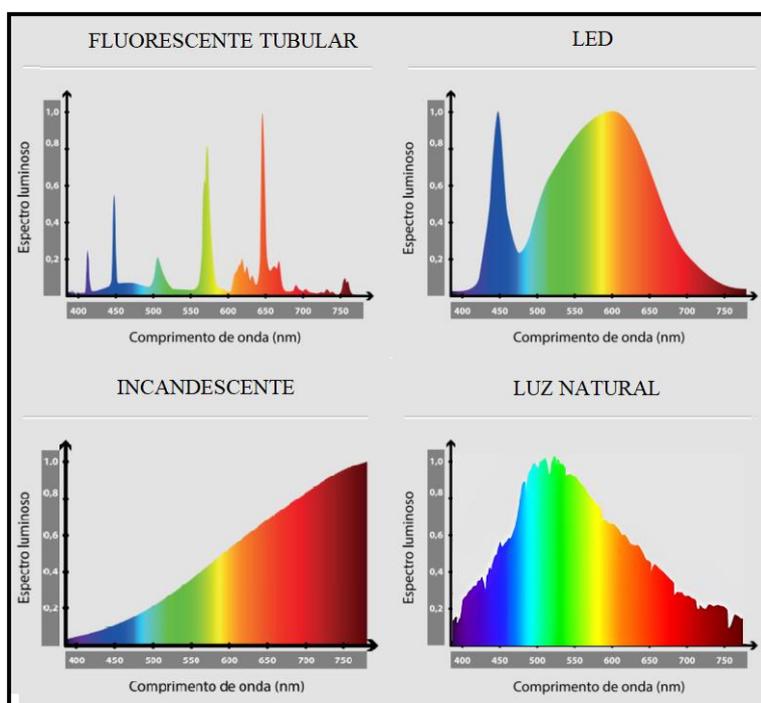


Figura 10 - Distribuição espectral diversas fontes de luz.
Fonte: [25]

A avaliação das propriedades de reprodução de cores das fontes de luz envolve métodos que dependem da percepção visual da cor dos objetos sob uma fonte de luz de referência ou padrão, contrastando com a aparência desses objetos sob a fonte de teste. Para

determinar o IRC, é essencial realizar medições espectrorradiométricas precisas e acuradas das fontes de luz [18].

A percepção de um objeto ou superfície pode variar consoante a fonte de luz que incide sobre ela. O IRC é uma escala que varia de 0 a 100 e está diretamente ligada à luz natural. Quanto mais próximo de 100 for o IRC de uma fonte de luz, maior será a fidelidade na reprodução de cores. Atualmente, o método desenvolvido pelo CIE envolve testar as fontes de luz usando 15 cores predefinidas, cores essas mostradas na Figura 11 e associá-las à luz do dia até uma determinada temperatura de cor. Nesse processo, mede-se o desvio de cada cor, sendo que quanto maior a discrepância entre a fonte testada e a fonte de luz de referência, menor será o IRC [25].



Figura 11 - Cores pré-estabelecidas.

Fonte: [25]

No entanto, apenas o IRC não é suficiente para expressar completamente a qualidade da cor, especialmente em situações em que a cor vermelha profunda é dominante, como na iluminação de carne, peixe, vegetais e frutas em supermercados, obras de arte em galerias, roupas em vitrines, pele humana e procedimentos cirúrgicos.

Nessas aplicações de iluminação, além do IRC, é essencial fornecer o índice R9, que representa a saturação da cor vermelha, para garantir uma reprodução precisa da cor vermelha. Para aprimorar a intensidade do vermelho e estabelecer um sistema de classificação mais abrangente em relação à qualidade da luz, os LEDs com altos valores de IRC e R9 estão em foco e recebem considerável atenção atualmente.

Portanto, é crucial aprimorar significativamente os valores de R9 e IRC sem comprometer a eficiência luminosa dos LEDs para alcançar uma qualidade de luz superior [26].

2.2.4 Eficiência Luminosa

A totalidade da potência consumida por uma lâmpada derivará de seus diversos elementos constituintes, como circuitos acoplados, geração de calor e a luz emitida. A potência consumida por uma lâmpada não se converterá integralmente em luz devido às

inevitáveis perdas. A energia útil de uma tecnologia de iluminação é a capacidade de gerar luz, que pode ser mensurada em lumens.

A eficiência luminosa de uma fonte de luz é determinada pela divisão do fluxo luminoso total, medido em lúmens, pela potência total de entrada, expressa em watts [18]. Essa métrica é chamada de lumens por watt (lm/W). Quanto maior a eficiência energética, isso indica que é possível obter mais iluminação com um consumo de energia reduzido [27]. Em termos diferentes, uma lâmpada que gera um fluxo luminoso considerável não necessariamente é a mais eficiente, uma vez que pode estar dissipando energia na forma de calor, resultando em desperdícios.

2.2.5 Distribuição Luminosa

A distribuição espacial da iluminação de uma fonte é um parâmetro importante para a caracterização de sua emissão luminosa. Ela descreve como a luz é distribuída em todas as direções no espaço. Para determinar a distribuição espacial da iluminação de uma fonte, é realizada uma série de medições de intensidade luminosa em um fotômetro de distribuição. Esse fotômetro pode ser feito por um goniômetro, no qual a fonte de luz é montada e pode ser girada em torno dos eixos horizontal e vertical. A intensidade luminosa é medida por um único detector fixo.

A distribuição de intensidade de um feixe circular é comumente representada por uma curva média em um plano ao longo do eixo do feixe. Esse eixo é aquele em torno do qual a distribuição média é significativamente simétrica. O eixo do feixe e o eixo fotométrico são ajustados para coincidir. A curva média é obtida fazendo medições com a lâmpada girando em torno do eixo do feixe. Também pode ser calculada a média de um número de curvas (pelo menos oito) feitas em planos em intervalos angulares igualmente espaçados em torno do eixo.

A curva média de distribuição de intensidade de um feixe circular é uma função do ângulo entre a direção de medição e o eixo do feixe. Ela fornece informações sobre a intensidade luminosa em todas as direções no espaço. A curva média de distribuição de intensidade é uma ferramenta importante para o design de luminárias e sistemas de iluminação. Ela pode ser usada para determinar a quantidade de luz que é emitida em diferentes direções, o que é importante para garantir uma iluminação uniforme e confortável [18].

2.3 Características Elétricas

Para a compreensão dos parâmetros mensurados e analisados, serão sucintamente conceituadas algumas grandezas elétricas, tais como: fator de potência e distorções harmônicas.

Consumo de potência, medida comumente usada na comparação de lâmpadas, frequentemente interpretada como sinônimo de capacidade de iluminação, o que constitui um equívoco. A relação entre consumo e iluminação é válida apenas para lâmpadas da mesma tecnologia tendo em vista a sua eficiência energética.

Os harmônicos e o fator de potência menor que o valor unitário são causados por cargas não-lineares, que são cargas em que a corrente que é absorvida pelo equipamento não tem a mesma forma de onda senoidal da tensão de alimentação. Como exemplo de cargas não-lineares têm-se todas as cargas alimentadas por dispositivos eletrônicos de potência, os acionamentos estáticos [28].

2.3.1 Fator de Potência

Fator de Potência é uma variável elétrica que mensura a disparidade no comportamento de um componente ou circuito em relação a um resistor. Nesse cenário, o circuito consome potência reativa, uma forma de energia que não se converte em trabalho útil e não se reflete na fatura do usuário, como ilustrado na Figura 12, onde \emptyset representa o ângulo de fase correspondente ao cosseno inverso do fator de potência. Contudo, essa potência reativa sobrecarrega as linhas de transmissão e os geradores, restringindo a quantidade de potência ativa que a rede pode transmitir. Quanto menor o fator de potência, maior é a quantidade de potência reativa consumida pelo equipamento. No contexto brasileiro, não há um limite estabelecido para residências, enquanto para empresas, o fator de potência mínimo permitido é 0,92 [29].

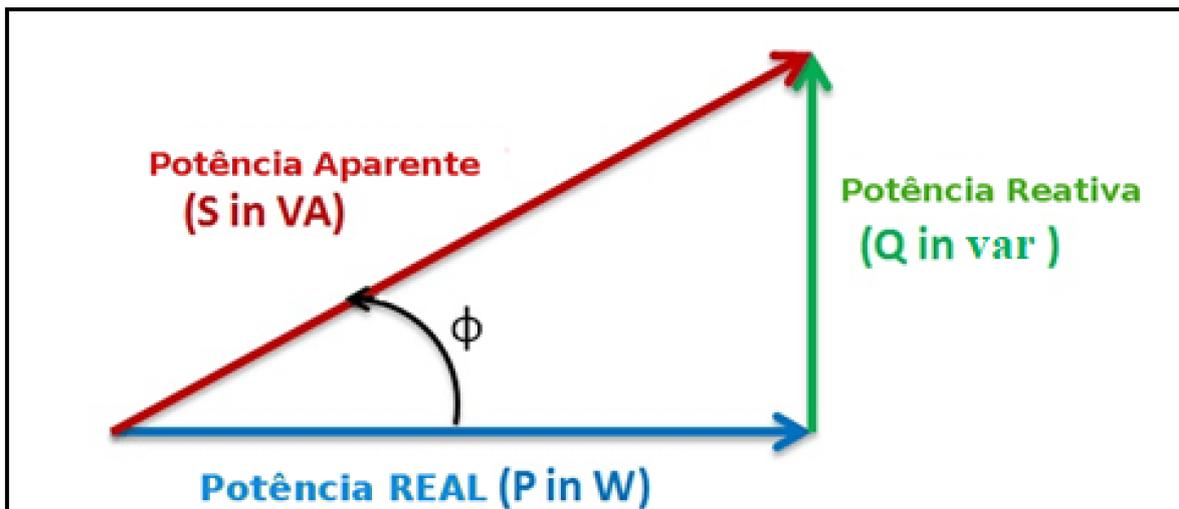


Figura 12 - Triângulo da potência.

Fonte: [30]

2.3.1 Distorção Harmônica

A origem da palavra "harmônico" remonta à acústica, onde inicialmente denotava a vibração de um fio ou coluna de ar com frequência múltipla e diferente da fundamental, resultando em uma distorção na qualidade do som. Analogamente, fenômenos semelhantes são observados na engenharia elétrica, onde deformações no perfil senoidal nas ondas de tensões e correntes elétricas também são registradas. Nesse contexto, os princípios físicos e matemáticos empregados na acústica podem ser aplicados diretamente às questões elétricas [31].

Os conversores de potência funcionam principalmente comutando dispositivos semicondutores de potência, introduzindo assim harmônicos de corrente e tensão no sistema de potência e na saída do conversor. A introdução de harmônicos pode levar à distorção da tensão de saída, geração de harmônicos em sistemas de alimentação e interferência em circuitos de comunicação e sinalização. Normalmente, uma combinação de filtros é necessária na entrada e na saída do sistema conversor para reduzir os níveis harmônicos a níveis aceitáveis[32].

A análise matemática da distorção em tensão e corrente é conduzida através do estudo de ondas periódicas não senoidais. Sob tais condições, é reconhecido que qualquer onda contendo distorções ou frequências com amplitudes distintas da fundamental pode ser desdobrada usando a série de Fourier. Essa decomposição resulta em uma componente de

frequência idêntica à onda distorcida resultante, conhecida como "onda fundamental", e em outras ondas senoidais com frequências múltiplas da fundamental [31]. A Figura 13 ilustra as componentes harmônicas múltiplas da fundamental de 50Hz. A soma destas componentes altera o perfil senoidal da fundamental.

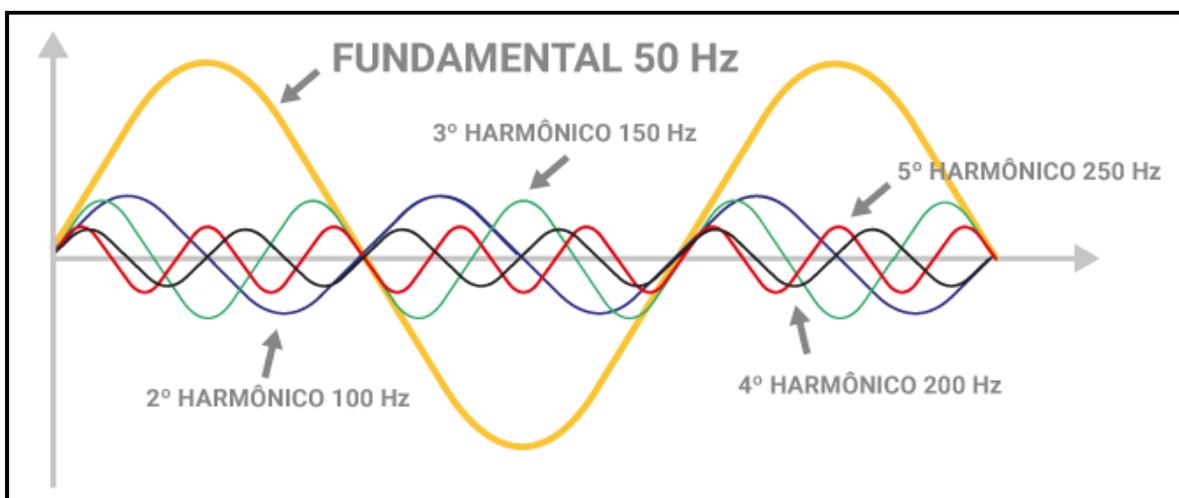


Figura 13 - Componentes Harmônica Múltipla da Fundamental.
Fonte: [33]

A medição desse parâmetro é realizada usando um medidor de qualidade de energia, que examina os componentes em frequência por meio da Transformada Rápida de Fourier (FFT). A partir dessa transformada, é possível calcular o fator de potência com base na Distorção Harmônica Total (THD), conhecida em inglês como *Total Harmonic Distortion*. A THD é definida como a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente e a componente fundamental [29].

As componentes harmônicas de tensão e corrente podem ser expressas em volts ou amperes, respectivamente, mas são frequentemente apresentadas como porcentagens da amplitude da onda fundamental.

2.4 Segurança Elétrica

Neste subcapítulo, os elementos de avaliação relacionados à segurança elétrica das lâmpadas inteligentes serão definidos. Essa etapa consiste em conceituar os testes de conformidade para este equipamento, abrangendo inspeção, segurança elétrica, intercambialidade e compatibilidade eletromagnética, de acordo com as normas atualmente em vigor.

2.4.1 Marcações

A avaliação de conformidade é um processo metódico, regido por diretrizes pré-determinadas, sendo monitorado e avaliado para garantir um grau apropriado de confiança de que um produto esteja em conformidade com os requisitos estipulados em normas ou regulamentos. Essa avaliação tem como objetivo proporcionar ao consumidor um produto de qualidade, contribuindo para uma maior competitividade e um ambiente de concorrência mais equitativo.

Do ponto de vista regulatório, a implementação da avaliação de conformidade, de forma obrigatória, é uma ferramenta de proteção à saúde e segurança do consumidor, bem como ao meio ambiente [34]. O Código de Defesa do Consumidor [35] assegura o direito do consumidor à obtenção de informações adequadas e claras sobre os produtos, abrangendo aspectos como segurança e impactos ambientais. Estabelece diretrizes sobre a rotulagem de produtos, incluindo a obrigação de fornecer informações sobre origem, composição, características e modo de uso, ao mesmo tempo que proíbe a comercialização de produtos com dados falsos ou enganosos. Além disso, o código protege o direito do consumidor contra riscos à sua saúde e segurança, e prevê a responsabilidade do fornecedor por informações inadequadas sobre os produtos.

As marcações em lâmpadas LED devem estar em conformidade com a Portaria nº 69, sendo realizadas por meio de ensaios de inspeção, os quais são considerados ensaios de segurança. Para garantir que o equipamento seja bem projetado, suas marcações e documentos acompanhantes precisam ser claros e consistentes, contribuindo para a redução do potencial de erro durante o uso. Durante a inspeção, o equipamento é avaliado em condições normais de iluminação, correspondentes ao ambiente operacional padrão, assegurando que as marcações no equipamento sejam facilmente legíveis [34].

2.4.2 Intercambialidade da Base

A capacidade de intercambialidade, que envolve a substituição de equipamentos de um fabricante por outro sem a necessidade de realizar modificações nos demais componentes do sistema [36], desempenha um papel fundamental. No contexto da escolha de lâmpadas, é crucial observar que a alteração do fabricante não deve implicar na troca do soquete já

instalado na residência. Nesse sentido, padrões estabelecidos, conforme ilustrado na Figura 14, oferecem diretrizes para facilitar essa interoperabilidade.

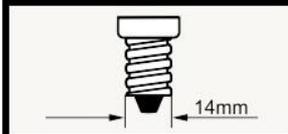
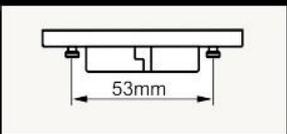
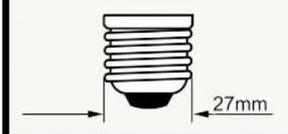
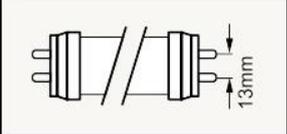
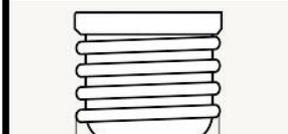
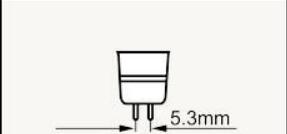
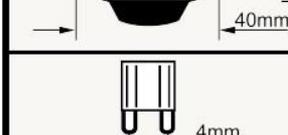
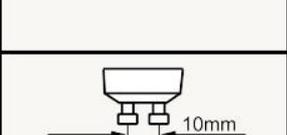
			
			
			
			

Figura 14 - Exemplos de base de contato elétrico.

Fonte: Adaptado de [37].

A Portaria n° 69 requer a realização de ensaios de intercambialidade, seguindo os procedimentos e critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR IEC 62560 [38]. A garantia da intercambialidade é assegurada pelo emprego de bases conforme especificado na ABNT NBR IEC 60061-1 [39], juntamente com calibres conforme a IEC 60061-3, como ilustrado na Figura 15. A conformidade é verificada por meio da utilização dos calibres pertinentes.



Figura 15 - Exemplo de gabaritos usados em ensaios de intercambialidade de base.

Fonte:[40]

2.4.3 Proteção Contra Contato

Para o ensaio de proteção contra contato acidental com parte vivas é usado o dedo-padrão, visto na Figura 16. O ensaio de dedo padrão é um teste crucial realizado em

lâmpadas para garantir a segurança do usuário e a conformidade com as normas regulatórias. O teste simula o contato humano com as partes vivas da lâmpada, avaliando o risco de choque elétrico.

As lâmpadas com bases de rosca Edison devem ser projetadas de forma a cumprir com os requisitos para inacessibilidade de partes vivas para lâmpadas para serviços de iluminação em geral. A conformidade é verificada com o auxílio de um medidor de acordo com a edição atual da IEC 60061-3 [41][40].



Figura 16 - Exemplo dedo-padrão usado em ensaios de proteção contra contato.
Fonte:[40]

De acordo com a norma, o dedo-padrão não deve tocar nenhuma parte viva do aparelho quando operado em utilização normal em todas as posições possíveis, mesmo após abrir tampas e remover partes destacáveis. Quanto ao pino de ensaio, ele é inserido, sem força, através das aberturas entre o soquete e a lâmpada. Da mesma forma, não pode acessar partes vivas [42].

2.5 Compatibilidade Eletromagnética

Há um longo período, temos ciência da existência de ondas eletromagnéticas com uma ampla variedade de conteúdos espectrais, que têm o potencial de interferir e gerar ruído em diversos dispositivos eletrônicos e elétricos. Por exemplo, receptores de rádio e sistemas de comunicação são frequentemente afetados por esse fenômeno. Essas emissões eletromagnéticas têm origem em várias fontes, incluindo eventos naturais como raios, assim como dispositivos industriais e residenciais, como motores de corrente contínua, relés, lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de LED [43]

Adicionalmente, ao longo dos anos, temos observado um considerável aumento na frequência de *clock*, isto é, na frequência de comutação de transistores para controlar o fluxo de corrente, em muitos casos chegando a gigahertz [44]. A compatibilidade eletromagnética de um sistema com seu ambiente é determinada por três critérios [43]:

1. Não interfere com o funcionamento de outros sistemas.
2. Não é suscetível às emissões geradas por outros sistemas.
3. Não causa interferência em seu próprio funcionamento

Conseqüentemente, EMC refere-se à capacidade de um sistema eletrônico operar de forma eficaz em seu ambiente sem ser uma fonte de interferência ou ser afetado negativamente pela interferência eletromagnética (EMI) presente no ambiente [45].

Para garantir que os dispositivos não emitam interferência em níveis prejudiciais, vários países desenvolveram regulamentos internos. Além disso, existem padrões internacionais de EMC, acordados pela União Europeia (UE), que se baseiam nas diretrizes do *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques* (CISPR) e frequentemente são adaptados como padrões nacionais [44].

As interferências eletromagnéticas podem se propagar de duas maneiras diferentes da fonte para o receptor: por radiação através do espaço e por condução através dos terminais de alimentação e/ou portas de comunicação, conforme ilustrado na Figura 17.

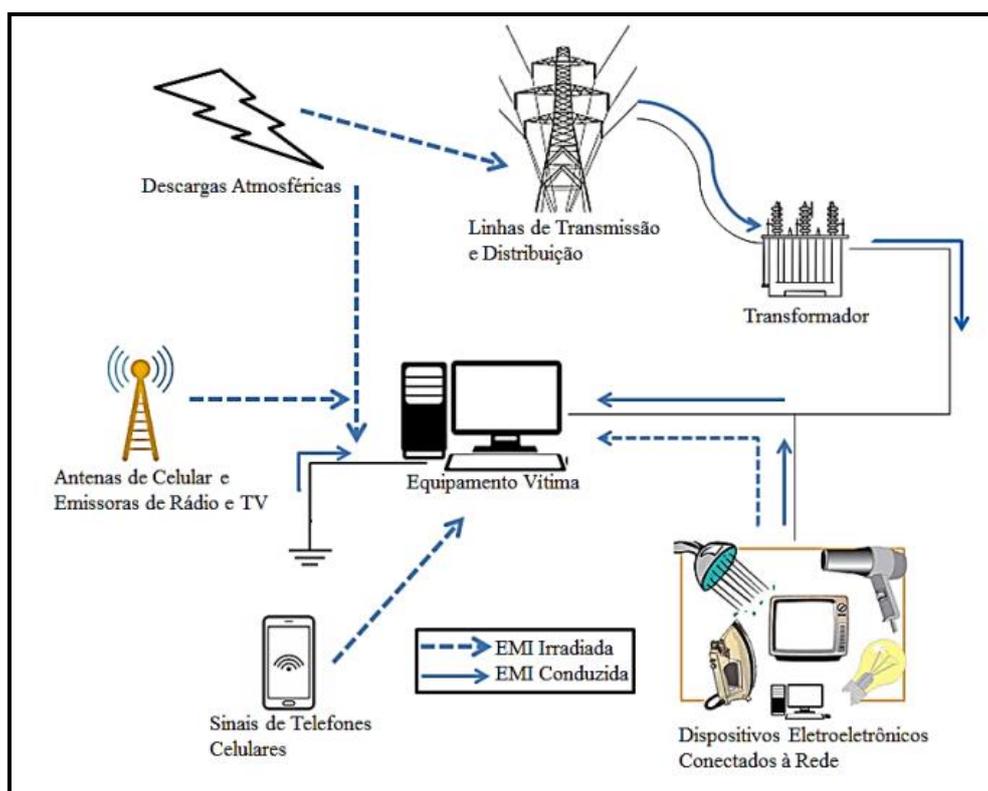


Figura 17 - Propagação de interferência eletromagnética.

Fonte:[46]

Ruído em um circuito elétrico se refere a qualquer sinal que se distinga do sinal desejado presente no sistema. Esta definição exclui os produtos de distorção que surgem devido às não linearidades do circuito. Apesar de tais produtos de distorção serem

indesejáveis, eles não são classificados como ruído a menos que interfiram em outra parte do circuito. Portanto, um sinal desejado em uma seção do circuito pode ser considerado ruído quando interfere em outra parte do mesmo circuito.

As fontes de ruído podem ser categorizadas em três grupos distintos [44]:

1. Fontes intrínsecas de ruído, resultantes de flutuações aleatórias dentro de sistemas físicos, como ruído térmico e de disparo;
2. Fontes de ruído geradas pelo ser humano, como motores, interruptores, computadores, dispositivos eletrônicos digitais e transmissores de rádio;
3. Ruído originado por interferências naturais, como raios e manchas solares.

A interferência é o efeito indesejável do ruído. Se um ruído ocasiona um funcionamento inadequado de um circuito, isso é considerado interferência. Embora o ruído não possa ser totalmente eliminado, a interferência pode. O ruído só pode ser reduzido em magnitude, até que não cause mais interferência [44].

Diversos fatores podem levar um equipamento a emitir perturbações eletromagnéticas, incluindo variações de tensão, variações de frequência, alta frequência de comutação, mau funcionamento de componentes e desacoplamento indutivo e/ou capacitivo [47].

As lâmpadas LED, como dispositivos eletrônicos, frequentemente contêm componentes que geram perturbações com uma ampla gama de conteúdos espectrais, conforme observado nos últimos anos. Especificamente em relação às lâmpadas LED, verificou-se que estas podem causar interferência em aparelhos de televisão e rádios de modulação de frequência (FM), conforme documentado em várias ocorrências. Um exemplo notável é o comprometimento das comunicações entre navios e a exposição da localização dessas embarcações a radares inimigos, devido à detecção das interferências geradas pela tecnologia LED embarcada [48].

Os drivers das lâmpadas LED incluem um conversor CA-CC e um conversor CC-CC [49], essenciais como fontes chaveadas para conversão e regulação por meio de comutação. Eles convertem a tensão alternada em contínua e controlam a tensão de alimentação dos módulos LED. As fontes chaveadas são amplamente utilizadas em sistemas eletrônicos modernos devido à sua eficiência energética superior, menor tamanho e peso em comparação com as fontes de alimentação lineares. No entanto, a comutação necessária para esses conversores gera ruídos em alta frequência, resultando em problemas de EMI [50].

Existem três principais mecanismos que contribuem para os ruídos de alta frequência [50]:

1. Harmônicos da frequência de comutação, para frequências inferiores a 30 MHz;
2. Indutância parasita do ciclo de comutação, na faixa de 50 a 300 MHz;
3. Corrente de recuperação reversa no corpo do diodo, para frequências acima de 200 MHz.

Esses ruídos de alta frequência podem se propagar diretamente do circuito ou ser conduzidos através dos terminais de energia nas extremidades de entrada e saída das fontes chaveadas. Embora uma blindagem metálica possa bloquear eficientemente a radiação direta do circuito, parte dos ruídos de alta frequência será conduzida através dos traços de energia que saem da blindagem e irradiam para fora [50].

Em relação à Qualidade de Energia Elétrica (QEE), é crucial garantir que as diferentes cargas conectadas em um ponto na rede elétrica não interfiram entre si a ponto de prejudicar o funcionamento.

Capítulo 3 - Normatização

Neste capítulo, serão apresentadas as normas utilizadas para avaliar a conformidade e os procedimentos dos ensaios descritos neste trabalho. Todos os ensaios de conformidade obrigatórios no Brasil são regulados pela Portaria nº 69. No entanto, para aqueles ensaios que não estão contemplados por essa portaria, serão adotadas normas internacionais como referência.

3.1 Portaria 69/2022

Nesta seção, será apresentada a regulamentação que abrange a certificação de lâmpadas LEDs, destacando algumas definições presentes nela, juntamente com os limites e critérios de aprovação.

A Portaria nº 69, emitida em 16 de fevereiro de 2022, estabelece o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Lâmpadas LED com Dispositivo de Controle Integrado à Base. Este regulamento visa garantir que as lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base sejam fabricadas, importadas, distribuídas e comercializadas de forma a não apresentar riscos à segurança dos usuários ou ao ambiente circundante.

As lâmpadas LED convencionais, equipadas com dispositivo de controle integrado à base ou integrado ao corpo como uma peça única não removível, são projetadas para operar em redes de corrente alternada, para tensões nominais de até 127 V e/ou 220 V em uso residencial e similares, assim como em corrente contínua. Essas lâmpadas possuem potência nominal de até 60 W e tensão nominal superior a 50 V, podendo chegar até 250 V para bases específicas, e até 50 V para outros tipos de bases.

Conforme mencionado na fundamentação deste estudo, as lâmpadas LED inteligentes estão fora do escopo dessa regulamentação, pois se enquadram nos critérios estabelecidos no Art. 4, §2º, que excluem certas tecnologias, sendo eles:

- I - lâmpadas com LED coloridos, com lentes coloridas, que emitem luz colorida;
- II - lâmpadas LED RGB, que possuem invólucro coloridos e decorativas, e emitem luz colorida;

III - lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado que produzam intencionalmente luz colorida.

Conforme demonstrado na Tabela 1, no capítulo referente aos objetivos, os ensaios classificados como não destrutivos serão acompanhados dos critérios estabelecidos nesta regulamentação. Quanto aos requisitos de desempenho, o critério para a potência nominal da lâmpada está delineado no item:

“3.1.1 A potência consumida pela lâmpada LED não pode exceder a potência nominal declarada em mais do que 10%.” [4]

Para a avaliação de conformidade do fator de potência é descrito no item:

3.1.2 O fator de potência das lâmpadas deve atender aos seguintes requisitos:

- a) Para lâmpadas com potência nominal declarada de 5 W a 25 W, o fator de potência deve ser maior ou igual a 0,70.
- b) Não é exigido um fator de potência mínimo para lâmpadas com potência declarada menor que 5 W. [4]

Para lâmpadas com potência nominal inferior a 5 watts não é exigido fator de potência mínimo e os limites de corrente harmônicas não são aplicados. O fluxo luminoso é especificado no item:

“3.1.3 O fluxo luminoso inicial medido de uma lâmpada LED não pode ser inferior a 90% do fluxo luminoso nominal declarado.” [4]

Para a declaração do TCC deve atender o item:

“3.1.4 A temperatura de cor correlata (TCC) nominal de uma lâmpada deve ser um dos seguintes valores: 2.700 K, 3.000 K, 3.500 K, 4.000 K, 4.500 K, 5.000 K, 5.500 K, 5.700 K, 6.000 K ou 6.500 K.” [4]

A tolerância para as medições está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Temperatura de cor correlata e tolerâncias.

TCC nominal (K)	TCC objetiva e Tolerância (K)
2.700	2.725 ± 145
3.000	3.045 ± 175
3.500	3.465 ± 245
4.000	3.985 ± 275
4.500	4.503 ± 243
5.000	5.029 ± 283
5.500	5.500 ± 351
5.700	5.667 ± 355
6.000	6.000 ± 413

TCC nominal (K)	TCC objetiva e Tolerância (K)
6.500	6.532 ± 510

Fonte:[4].

Para os critérios de aceitação do IRC a portaria diz no item:

“**3.1.5** A lâmpada deve ser capaz de reproduzir adequadamente as cores reais de um objeto ou superfície quando comparada à luz natural.” [4]

Então para que exista um limite aceitável e padrão está descrito no subitem 3.1.5.1:

“**a)** O valor mínimo de Ra deve ser 80; e **b)** O valor do índice R9 deve ser maior do que zero.” [4]

Para o limite mínimo de eficiência energética, item **3.1.6** a regulamentação categoriza pelo tipo de lâmpada. Esses valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação de eficiência mínima.

	Potência da lâmpada (W)	Eficiência mínima inicial (lm/W)
Não-direcionais Semi-Direcionais	< 15	55
	≥ 15	60
Direcional	< 20	45
	≥ 20	50
Decorativa	< 15	45
	$5 \leq W \leq 25$	
	≥ 25	

Fonte: [4]

O fluxo luminoso para equivalência deve obedecer aos critérios do anexo A na portaria, ele está apresentado no Anexo A desse trabalho. Além disso a diretriz diz no item:

“**3.1.7** A equivalência entre os modelos de lâmpadas LED e os modelos tradicionais de lâmpadas incandescentes, quando declarada.” [4]

Pelo que o item descreve a declaração de equivalência com a lâmpada incandescente não é obrigatória, contudo, se existir essa informação deve atender os critérios. A distribuição luminosa é descrita em segunda, no item:

“**3.1.8** As lâmpadas devem ser classificadas pelo tipo, conforme determinado a seguir e no Anexo B deste RTQ” [4]

O anexo mencionado no item será encontrado no Anexo A.2 desse trabalho.

Referente ao valor da intensidade luminosa de pico o documento implica que:

“**3.1.9** A intensidade máxima inicial, quando declarada pelo fornecedor, deve ser medida e não pode desviar em mais de 25% do valor nominal.” [4]

Para finalizar os itens dos ensaios não destrutivos de desempenho e temos o ângulo de fecho luminoso que diz:

“**3.1.10** O ângulo do fecho luminoso, quando declarado pelo fornecedor, deve ser medido e não deve desviar em mais de 25% do valor nominal.” [4]

A declaração dos itens 3.1.9 e 3.1.10 é facultativa, caso exista a mesma deve atender esses requisitos descritos anteriormente. Os requisitos de segurança e marcações serão mostrados na sequência.

Os preceitos relativos à marcação e às instruções compreendem as informações que devem ser inseridas na embalagem, no folheto de instruções e/ou no próprio corpo da lâmpada. Tais marcações são de imperativa necessidade para garantir a segurança do usuário no que concerne à aquisição de uma lâmpada com atributos específicos. Consequentemente, faz-se imprescindível a realização de uma análise meticulosa a fim de atestar a veracidade das informações fornecidas.

Para o requisito de marcação a norma diz:

“**3.3.1** As lâmpadas devem ser marcadas de forma clara e indelével, pelo fornecedor, com as informações especificadas em 3.3.4.”

“**3.3.2** Os manuais de instruções e de instalação quando aplicáveis, bem como todas as informações, devem estar na língua portuguesa.” e;

“**3.3.3** As unidades devem ser expressas conforme o Sistema Internacional de Unidades (SI). Contudo, adicionalmente, podem ser utilizadas outras unidades desde que o valor e a unidade estejam entre parênteses.”

A informações especificadas em 3.3.4 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Marcações e locais onde marcações é necessária.

Identificação Visual	Produto	Embalagem
a) Marca de origem (na forma de uma marca ou nome do fornecedor);	X	X
b) Tensão nominal ou faixa de tensão nominal ("V" ou "volts");	X	X
c) Potência nominal ("W" ou "watts");	X	X
d) Frequência nominal ("Hz" ou "hertz").	X	X
e) Corrente nominal ("A" ou "ampère").	--	X
f) Fator de Potência (FP ou $\cos \phi$). Fator de Potência, acompanhado opcionalmente da frase “ Alto FP ”, caso este seja maior ou igual a 0,92.	X	X
g) Peso da lâmpada na embalagem (devido ao fato de que o peso adicional pode reduzir a estabilidade mecânica de certas luminárias e porta lâmpadas, e podem ser prejudicados o contato e a retenção da lâmpada).	--	X

Identificação Visual	Produto	Embalagem
h) Fluxo luminoso nominal expresso em lumens (lm).	--	X
i) Vida útil nominal e o fator de manutenção do fluxo luminoso relacionado (L70)	--	X
j) Índice de reprodução de cor nominal	--	X
k) Símbolo de compatibilidade de dimerização (acompanhado com o texto. “Permite dimerização” ou “Não permite dimerização”). (ABNT NBR IEC 62560:2013)	--	X
l) Indicação “EBTS (SELV)” (para lâmpadas que possuem partes em que a proteção contra choques é baseada na operação em extra baixa tensão de segurança EBTS/SELV).	--	X
m) Informações obrigatórias (devem estar dispostas com tipo de letra de padrão mínimo ou equivalente aos tipos Arial pitch 7 ou Times New Roman pitch 8).	--	X
n) Inscrição: “Descarte em local apropriado”.	--	X
o) Inscrição “Advertência: Não utilizar com reatores” (para as lâmpadas tubulares que não podem ser utilizadas com reatores).	--	X
p) Esquema de ligação para lâmpadas tubulares.	X	X
q) Equivalência em potência (W) e lumens (lm) com lâmpadas incandescentes de uso geral e lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado à base.	--	X
r) A data de fabricação que indique a data de fabricação (mês/ano)	X	X
Legenda: X = item requerido / -- = item não requerido		

Fonte:[4]

Para a intercambialidade da base está posta como no item:

“**3.2.2** A intercambialidade da base deve ser assegurada.”

A intercambialidade deve seguir os requisito previsto na norma ABNT NBR IEC 62560 [38] assim como a proteção contra contato acidental com partes vivas, descrita no item:

“**3.2.3** A lâmpada deve ser protegida adequadamente de forma a não possibilitar o contato acidental pelo usuário às partes vivas.”

Finalizado os ensaios não destrutivos impostos pela Portaria, temos os ensaios obrigatório de EMC, na qual está descrita no item:

“**3.2.4** A lâmpada deve apresentar compatibilidade eletromagnética.”

Para assegurar a conformidade em relação ao , é necessário observar os requisitos e limitações estipulados pela norma CISPR 15 [45]. Os parâmetros estabelecidos serão abordados no capítulo subseqüente.

3.2 ABNT NBR IEC/CISPR 15

A norma ABNT NBR IEC/CISPR 15:2019 descreve os procedimentos de teste de EMC em dispositivos de iluminação, incluindo lâmpadas de LED. Este documento regula as emissões tanto radiadas quanto conduzidas de interferências de radiofrequência. No que concerne às emissões conduzidas, os limites das tensões de interferência nas interfaces da fonte de alimentação elétrica são apresentados na Tabela 5, sendo que os valores limites são expressos de forma logarítmica. Estes limites são especificados para detectores de pico quase e média [45].

Tabela 5 - Limites das tensões de perturbação nas interfaces de fonte

Faixa de frequência	Limite dB(μ V)	
	Quase pico	Média
9 kHz até 50 kHz	100	-
50 kHz até 150 kHz	90 até 80	-
150 kHz até 0.5 MHz	66 até 56	56 até 46
0.5 MHz até 5.0 MHz	56	46
5 MHz até 30 MHz	60	50

Fonte: Adaptado de [45].

Quando se trata da emissão radiada, os testes são subdivididos em duas categorias: a análise do campo magnético, abrangendo a faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz, e a análise do campo elétrico, cobrindo a faixa de 30 MHz a 1 GHz, conforme estabelecido pela ABNT em 2019.

Os limites estipulados na Tabela 6 são expressos em termos de corrente medida em um sistema de antena *loop* grande. Esta corrente constitui uma medida do nível do campo magnético em torno do equipamento sob teste (EUT – do inglês, *Equipment Under Test*). Este limite, aplicável ao detector de pico quase, é fornecido para três diferentes tamanhos de sistemas de antena *loop*, e os valores limites são representados em escala logarítmica [45].

Tabela 6 - Limites de distúrbios radiados na faixa de frequência 9 kHz até 30 MHz.

Faixa de frequência	Limite de quase pico para três diâmetros de <i>loop</i> dB (μ A)		
	2 metros	3 metros	4 metros
9 kHz até 70 kHz	88	81	75

Faixa de frequência	Limite de quase pico para três diâmetros de <i>loop</i> dB (μ A)		
	2 metros	3 metros	4 metros
70 kHz até 150 kHz	88 até 58	81 até 51	75 até 45
150 kHz até 3.0 MHz	58 até 22	51 até 15	45 até 9
3.0 MHz até 30 kHz	22	15 até 16	9 até 12

Fonte: Adaptado de [45]

Para a avaliação do campo elétrico, os limites de perturbação de campo radiado, dentro da faixa de frequência de 30 MHz até 300 MHz, são apresentados na Tabela 7 em termos de valores quase de pico da componente do campo elétrico. Os limites fornecidos na Tabela 4 são pertinentes ao método alternativo do CDNE (do inglês, *Coupling and Decoupling Network for Emission*), onde a conformidade é estabelecida quando as frequências de *clock* do EUT são menores ou iguais a 30 MHz, e os níveis de emissão estão em conformidade com os valores especificados na Tabela 7. Esses valores limites são representados em escala logarítmica [45].

Tabela 7 - Limites de distúrbios radiados na faixa de frequência 9 kHz até 30 MHz.

Faixa de frequência	Limite dB (μ V)
	Quase pico
30 MHz até 100 MHz	64 até 54
100 MHz até 200 MHz	54
200 MHz até 300 MHz	54 até 51

Fonte: Adaptado de [45].

Entre os requisitos estabelecidos, é imperativo realizar os ensaios em amostras de lâmpadas individualmente quando estas são comercializadas, a fim de avaliar o comportamento específico de cada uma, sem considerar o desempenho de conjuntos de lâmpadas LED ligadas simultaneamente na mesma rede [45].

3.3 IEC 61000-3-2

Conforme mencionado no subcapítulo 3.1, a Portaria nº 69 não requer análise de harmônicos para lâmpadas com potência inferior a 25W, a menos que sejam lâmpadas LED tubulares. No entanto, para realizar uma análise e obter parâmetros de comparação, será empregada a norma internacional IEC 61000-3-2, proporcionando critérios internacionais para a qualidade de harmônicos.

A Comissão Eletrotécnica Internacional, do inglês, *International Electrotechnical Commission* (IEC), estabelece padrões internacionais para os equipamentos de iluminação

temos a IEC 61000-3-2 que especifica os limites de emissão de corrente harmônica para equipamentos com alimentação menor ou igual a 16 amperes por fase [51].

Com base na norma vigente de 2020, o capítulo 7.4 categoriza os dispositivos de iluminação como pertencentes à classe C, delineando os limites aplicáveis a tais equipamentos com potência inferior a 25W, porém superior a 5W. Nesta norma, são definidos três critérios para os dispositivos de iluminação [51]:

- Critério 1: As correntes harmônicas não devem exceder os limites descritos na Tabela 8;

Tabela 8 - Limites Harmônicos Critério 1

Ordem Harmônica h	Corrente harmônica máxima permissível por watt mA/W
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
$13 \leq h \leq 39$	$3,85/h$

Fonte: Adaptado de [51].

- Critério 2: A corrente harmônica de terceira ordem, expressa como uma porcentagem da corrente fundamental, não deve exceder 86% e a de quinta ordem não deve exceder 61%;
- Critério 3: O THD não deve exceder 70%. A corrente harmônica de terceira, quinta, sétima, nona, décima primeira e segunda ordem, expressa como uma porcentagem da corrente fundamental, não deve exceder 35%, 25%, 30%, 20% e 5% consecutivamente.

Caso a amostra atenda a um entre os três critérios será considerado aprovado.

3.4 Modo de espera

A Portaria n° 69 não estabelece parâmetros e configurações para ensaiar lâmpadas em modo de espera. No entanto, para realizar essa avaliação, serão utilizados alguns parâmetros internacionais destinados a equipamentos em modo de espera.

A norma IEC 62301 [52] é reconhecida internacionalmente como o padrão para medição de energia em espera. Desenvolvida pela IEC, ela é utilizada por inúmeras autoridades em todo o mundo como um guia para medições de energia em espera [53].

Essa norma define seu objetivo como um método para testar e determinar o consumo de energia de uma variedade de produtos em modos relevantes de baixo consumo de energia, geralmente quando o produto não está em modo ativo (não desempenhando sua função principal).

Dentro do escopo da norma IEC, três categorias amplas descrevem o "modo de baixo consumo"[52]:

1. Modo desligado: Qualquer modo de produto no qual o produto que consome energia está conectado a uma fonte de alimentação principal e não fornece nenhum modo de espera, modo de rede ou função de modo ativo;
2. Modo de espera: Qualquer modo de produto no qual o produto que consome energia está conectado a uma fonte de alimentação principal e oferece uma ou mais funções orientadas ao usuário ou protetoras, geralmente persistindo para facilitar a ativação de outros modos por interruptor remoto, sensores internos ou temporizador; incluindo uma função contínua, como exibição de informações ou status, incluindo relógios; e incorporando funções baseadas em sensores;
3. Modo de rede: Qualquer modo de produto no qual o produto que consome energia está conectado a uma fonte de alimentação principal e pelo menos uma função de rede está ativada, mas a função principal não está ativa.

Embora a norma IEC 62301 abranja todos os eletrodomésticos inteligentes para uso doméstico, ela não é especificamente direcionada para medir lâmpadas LED inteligentes. Consequentemente, as definições desses três modos carecem de clareza, tornando desafiador selecionar um modo específico para definir a função dos produtos de iluminação LED inteligentes. Em nosso estudo, reconhecemos que quando uma lâmpada LED inteligente é desligada usando um aplicativo em um dispositivo inteligente (que pode ser considerado como um "interruptor remoto" de acordo com a norma IEC), a lâmpada entra em "modo de rede".

Para o critério de avaliação do consumo de energia, será utilizado o parâmetro do selo *Energy Star*. De acordo com [54], os equipamentos de iluminação não devem consumir energia no modo desligado, exceto aqueles com controle integrado, sensores de movimento, ou fotocélulas, ou dispositivos de endereçamento individual com controle externo e

inteligência. Para tais equipamentos, o consumo de energia não deve exceder 0,5 W quando estiverem no estado desligado.

Capítulo 4 - Metodologia

Neste capítulo apresentará a metodologia usada para realização dos experimentos, cujo dados obtidos serão usados para avaliação de conformidade de lâmpadas LED inteligentes segundo as normas vigentes.

Foram realizadas medições nas lâmpadas inteligentes a fim de se obterem os dados para análise no Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense - LABLUX que é acreditado junto ao INMETRO e pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense (UFF)

4.1 Seleção das amostras

Para a seleção das amostras que irão ser submetidas aos ensaios, foram estabelecidas algumas premissas:

- As amostras devem ser LED inteligente, contudo somente com funções de mudanças de parâmetros elétricos e fotométricos;
- As amostras devem ser compatíveis com aplicativo externo disponível para download em celulares;
- A faixa de preço das amostras não devem ter grande variações;
- A faixa de potência máxima das amostras não devem ter grande variações;
- Todas as amostras devem ser do mesmo bulbo;
- Todas as amostras devem ser disponíveis na comercialização nacional.

Com essas premissas foram adquiridas onze lâmpadas de fabricantes diferentes, as quais são mostradas na Figura 18.



Figura 18 - Amostras usadas nos ensaios.

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 9 está apresentados alguns dados nominais das onze lâmpadas adquiridas. Os espaços marcados com ND refere-se a não declaração do parâmetro. Esses dados foram obtidos através da inspeção das embalagens, marcações na lâmpada e folhetos de instrução.

Tabela 9 - Dados nominais das amostras adquiridas

AMOSTRA	POTÊNCIA	FP	TENSÃO	FLUXO	EFIC.	IRC	TCC
F1	11W	> 0,7	100 -240 V	1050 lm	ND	>80	2700 - 6500 K
F2	10W	ND	100 -240 V	806 lm	ND	ND	2700 - 6000 K
F3	9W	ND	85 - 265 V	806 lm	ND	ND	2700 - 6500 K
F4	10W	> 0,5	100 -240 V	806 lm	ND	> 80	2700 - 6500 K
F5	9W	ND	100 -240 V	810 lm	ND	ND	2700 - 6500 K
F6	10W	ND	100 -240 V	820 lm	ND	ND	3000 - 7000 K
F7	9W	ND	100 -240 V	810 lm	ND	> 80	2700 - 6500 K
F8	10W	> 0,7	100 -240 V	806 lm	ND	ND	2700 - 6500 K
F9	12W	ND	110 - 240 V	1050 lm	ND	ND	2700 - 6500 K
F10	9W	> 0,9	100 - 240 V	806 lm	ND	ND	2700 - 6500 K
F11	10W	> 0,5	100 -240 V	803 lm	80 lm/W	>80	ND

Fonte: Autoria própria.

As amostras foram designadas de F1 a F11 para representar diferentes fabricantes. A potência elétrica nominal está distribuída da seguinte forma: quatro amostras com 9W, cinco com 10W, uma com 11W e outra com 12W. Estas potências nominais indicam a potência máxima que a lâmpada pode atingir com a capacidade de dimerização. Em relação ao fator de potência (FP) nominal, observamos que 6 amostras não forneceram informações, enquanto duas apresentam um FP superior a 0,5, outras duas excedem 0,7 e uma delas ultrapassa 0,9. Todas as amostras apresentam com as faixas de tensão estabelecidas na Portaria n° 69, que abrangem as tensões de distribuição previstas, ou seja, 127V e 220V.

Dentre as 11 amostras, apenas uma forneceu informações sobre a eficiência energética (EFIC.). Quatro amostras declararam um IRC superior a 80. O TCC foi fornecido por dez amostras, variando de 2700K/3000K a 6500K/7000K. O preço das amostras foi mantido entre R\$ 40 e R\$ 55 para garantir um padrão de qualidade de fabricação semelhante.

4.2 Descrição dos cenários propostos

O propósito deste trabalho consiste em conduzir os ensaios exigidos em lâmpadas convencionais já disponíveis no mercado, acompanhados de certificados, conforme estipulado na Portaria n° 69. Assim, em conformidade com os objetivos delineados, os cenários propostos compreenderão as configurações nas quais lâmpadas LED não inteligentes podem ser comercializadas e em modo de uso “desligado”, conforme os critérios estabelecidos na Portaria n° 69. Esses cenários encontram-se detalhadamente descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Cenários para os ensaios luminotécnicos

Cenários	Descrição
C1	Máxima Potência e Máximo TCC
C2	Máxima Potência e Mínimo TCC
C3	Mínima Potência e Máximo TCC
C4	Mínima Potência e Máximo TCC
C5	Modo de espera

Fonte: autoria própria.

A razão para empregar a amplitude máxima e mínima de variação de potência e TCC reside na busca por cenários extremos de configuração. Esses cenários situam-se no limite dos dimensionamentos de filtros e componentes, proporcionando, desse modo, pontos críticos de QEE. O quinto cenário foi proposto devido ao fato de representar o modo no qual a amostra será mantida pelo usuário na maior parte do tempo

4.3 Dados Fotoelétricos

A obtenção de diversos dados elétricos e fotométricos foram feitos de forma simultânea. Somente os dados de EMC e ângulo de fecho que foram adquiridos de outros equipamentos.

Antes de realizar as medições nas amostras, todas elas foram estabilizadas seguindo o critério descrito em [55], que delineia um método para garantir a precisão das medições. Este método estabelece que o produto deve ser operado por tempo suficiente para alcançar a estabilização. O tempo de estabilização necessário varia de acordo com o tipo de produto. Durante o período de estabilização, o produto deve ser operado na temperatura ambiente especificada e na orientação de funcionamento determinada. A estabilização é considerada alcançada quando a variação na saída de luz e na potência elétrica do produto ao longo de um período de 30 minutos for inferior a 0,5%.

Para a realização dos ensaios, foi empregada uma fonte de potência linear e programável, a Pacific 110-ADX, conforme ilustrado na Figura 19.



**Figura 19 - Fonte Linear de Potência Pacific 110-ADX.
Fonte: Autoria própria.**

As características fotométricas foram adquiridas por meio do conjunto constituído pela Esfera Integradora de Ulbricht (Figura 21) e o Espectro-radiômetro Everfine HAAS-2000 (Figura 20), utilizando o software Everfine HAAS Suite. Cada amostra foi configurada nos cenários 1 até 4 para a realização das medições, contudo para ensaios puramente elétrico o cenário 5 foi analisado.



Figura 20 - Espectro radiômetro Everfine HAAS-2000.
Fonte: Autoria própria.



Figura 21 - Esfera Integradora de Ulbricht.
Fonte: Autoria própria.

As características elétricas foram capturadas utilizando o wattímetro digital Yokogawa WT-210 (Figura 22), em conjunto com seu software dedicado, o WT-Viewer, por meio da interface de comunicação GPIB (*General Purpose Interface Bus*). O wattímetro digital esteve operacional durante todo o processo de medição fotoelétrica.



Figura 22- Wattímetro Digital Yokogawa WT-210.
Fonte: Autoria própria.

Os dados coletados nesta configuração incluem: potência elétrica da amostra, FP, ordens harmônicas, fluxo luminoso, TCC, IRC e eficiência energética. Essas medições permitem a avaliação dos itens 3.1.1 até 3.1.7 da Portaria n°69. Todos os dados foram registrados para análises futuras.

Para os demais ensaios fotométricos, que englobam a distribuição luminosa, o valor da intensidade luminosa de pico e o ângulo de fecho luminoso, correspondentes aos itens 3.1.8, 3.1.9 e 3.1.10, respectivamente, utilizou-se o goniofotômetro GO-2000 da Everfine (Figura 23), controlado pelo CT400. O GO-2000 é equipado com a interface GSoft para manuseio, enquanto o CT400 é responsável por controlar os ângulos de rotação vertical e horizontal, além de registrar a intensidade luminosa instantânea, conectando-se a um fotômetro.



**Figura 23 - Goniofotômetro Everfine GO-2000.
Fonte: Autoria própria.**

Nessa configuração, as medições foram realizadas exclusivamente sob a tensão de 220 volts, nos cenários 1 e 3. Esses cenários representam o máximo e o mínimo fluxo luminoso, abrangendo os extremos de variação e englobando toda a faixa de distribuição luminosa.

4.4 Segurança Elétrica

Os ensaios de segurança elétrica em lâmpadas se dividem em quatro categorias de ensaios não destrutivos: marcações; intercambialidade de base; proteção contra contato com partes vivas e EMC. Este último terá um subcapítulo próprio. Nesta seção, abordaremos a metodologia para os itens 3.3, 3.2.2 e 3.2.3.

Iniciando-se com o item 3.3, que aborda as marcações, realiza-se uma verificação visual na qual são inspecionados o corpo, a embalagem e, quando presente, o folheto de instruções. As marcações são analisadas conforme os critérios delineados na Tabela 4 e

representam uma avaliação binária no que diz respeito à inclusão ou exclusão das informações necessárias para guiar o usuário quanto ao uso e aos cuidados no manuseio.

Prosseguindo com os ensaios de segurança elétrica, temos o ensaio de intercambialidade, tem 3.2.2. Neste ensaio, são empregados três gabaritos para verificar as dimensões do bocal. No caso das onze amostras ensaiadas que apresentam o tipo E27, os gabaritos permanecerão os mesmos para todas elas.

A intercambialidade ou combinação entre a base e o bulbo da lâmpada compreende verificações, as quais são realizadas através de gabaritos referente aos diferentes tipos de lâmpadas. São verificados quatro parâmetros:

1. Dimensão máxima de filete de rosca, no qual é inserido em um calibre de rosca padrão, como mostrado não Figura 24.



**Figura 24 - Ensaio de verificação de filete de rosca.
Fonte Autoria própria.**

A amostra é considerada aprovada quando o contato inferior da lâmpada, ao menos, tangencia à superfície do calibre.

2. Diâmetro principal mínimo do filete de rosca da base, no qual a amostra é inserida no “calibre liso”, como mostrado na Figura 25.



Figura 25 - Ensaio de diâmetro mínimo.
Fonte: Autoria própria.

Neste caso, a amostra estaria reprovada caso tivesse entrado firmemente no calibre, ou seja, ultrapassado o topo dele.

3. Realização do contato consiste em inserir a amostra no calibrador e verificar se empurrou a mola localizada no fundo do mesmo; caso positivo, a amostra é considerada aprovada. O ensaio é mostrado na Figura 26.



Figura 26 - ensaio de realização de contato.

Fonte: Autoria própria.

4. Realização da medição da massa da amostra que consiste em usar uma balança, em uma superfície lisa e regular, e ajustar a posição da mesma e medir a massa da amostra, se não ultrapassar 1 quilograma está em conformidade. A Figura 27 mostra a realização do ensaio.



Figura 27 - Realização da medição de massa da amostra.

Fonte: Autoria própria.

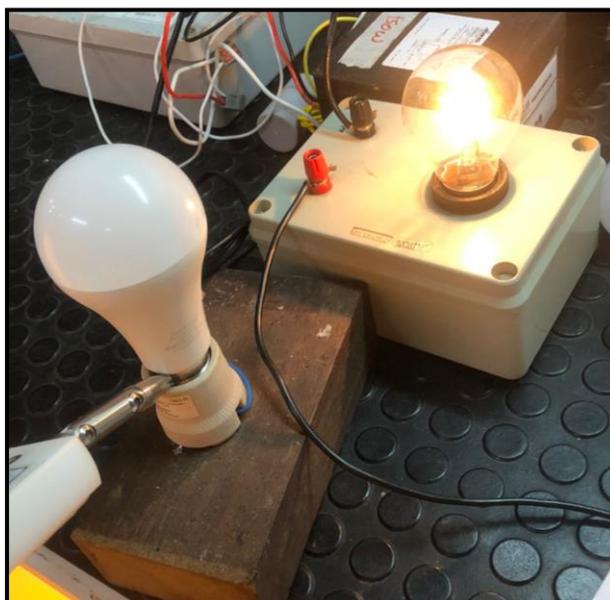
Para ensaios de proteção contra contato acidental com parte viva, conforme o item 3.2.3, a inacessibilidade da parte metálica condutora da base da lâmpada é verificada por meio de duas etapas utilizando instrumentos específicos, conforme descrito a seguir:

1. Ensaio com dedo padrão, no qual a lâmpada é inserida no soquete alimentado pela tensão nominal. Em seguida, utilizando o dedo padrão, procura-se acessar a parte metálica da base, conforme ilustrado na Figura 28.



**Figura 28 - Ensaio de proteção contra contato partes vivas.
Fonte: Autoria própria.**

Para que a amostra reprove neste ensaio, a lâmpada auxiliar, cujo um lado está conectado no soquete e o outro no dedo padrão, deve acender. Na Figura 29, é simulada uma reprovação nesse ensaio.



**Figura 29 - Simulação de reprovação do ensaio de proteção contra contato partes vivas utilizando o dedo padrão.
Fonte: Autoria própria.**

Para a simulação de reprovação, foi necessário deixar a lâmpada mal encaixada ao ponto de ela não ligar. Assim, o dedo padrão teve contato com a parte energizada, resultando na reprovação do ensaio.

2. A segunda parte desse ensaio consiste no uso de um gabarito, no qual a lâmpada é inserida em um gabarito e observar se o topo da base atingiu o fundo do calibre, sem empurrar a mola localizada em sua superfície. Ensaio mostrado na Figura 30.



**Figura 30 - Ensaio com gabarito para proteção de contato partes vivas.
Fonte: Autoria própria.**

4.5 Compatibilidade Eletromagnética

A metodologia para os ensaios de EMC consiste em três partes de ensaios: Tensão de perturbação nas interfaces da fonte; Distúrbios radiados na faixa de frequência 9 kHz até 30 MHz e distúrbios radiados na faixa de frequência 30 MHz até 300 MHz pelo método do CDNE.

Antes das realização dos ensaios de acordo com [45], as lâmpadas que não incluem tecnologias de descarga de gás devem ser mantidas ligadas por 15 minutos antes de uma medição, para que ocorra a estabilização. Todas as medições foram feitas após o término do tempo de estabilização.

A seguir serão apresentados os principais equipamentos utilizados para a realização dos ensaios de EMC, equipamentos esses que são usados para os ensaios de verificação de conformidade em EMC pelo LABLUX. Esses equipamentos são baseados nas recomendações da norma IEC CIRPR 16-2-1 [56] e foram aplicados para os ensaios presentes nesse trabalho.

Para que seja possível que os laboratórios realizem teste e verificar sua conformidade com as normas, existe a necessidade da utilização de sofisticados equipamentos de geração e medição, bem como a fonte de alimentação CA. A fonte de tensão CA é um dispositivo eletrônico onde é possível programar a tensão de saída e ajustar diversos parâmetros na alimentação do EUT, tendo maior confiabilidade e maior estabilidade para realização dos ensaios. Na Figura 31 é apresentada a fonte de alimentação CA que foi usada nos ensaios realizados para esse trabalho.



**Figura 31 - Fonte de alimentação CA usado nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.**

A LISN (do inglês - *Line Impedance Stabilization Network*) apresenta três funções primordiais nos ensaios de EMC, uma delas é a de proporcionar impedância estável para realização das medições, a fim de manter uma impedância especificada no EUT; outra função é atenuar interferências eletromagnéticas conduzidas pela rede de distribuição de energia, tendo assim uma função de filtro passa-baixa diminuindo perturbações de altas frequências; é função da LISN, também, funcionar como acoplamento das perturbações eletromagnéticas geradas pelo EUT, para o processamento pelo dispositivo receptor. Na Figura 32 é apresentada a LISN que foi usada nos ensaios realizados para esse trabalho.



Figura 32 - LISN usado nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.

O pré-seletor é constituído por diversos filtros passa-banda que permitem a passagem de sinais na faixa de frequência em que está sendo realizada a medição no momento, bloqueando as demais faixas para evitar que essas interfiram com o resultado do espectro que se deseja analisar. Na **Figura 33** é apresentado o pré-seletor que foi usado nos ensaios realizados para esse trabalho.



Figura 33 - Pré-seletor usado nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.

O pré-amplificador é necessário para a realização dos ensaios pois o uso da LISN ocasiona uma atenuação de 30 dB no sinal original emitido pelo EUT. O pré-amplificador visa amplificar em 30 dB o sinal recebido para compensar a atenuação ocorrida com o uso da LISN. O valor da atenuação da LISN varia de fabricante para fabricante. Na Figura 34 é apresentado o pré-amplificador que foi usado nos ensaios realizados para esse trabalho.



Figura 34 - Pré-amplificador usado nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.

O analisador de espectro é um dispositivo importante nos laboratórios de rádio comunicações. Para que o analisador consiga medir sinais que se propagam num meio não guiado tem como necessário a utilização de algum aparato medidor externo, como uma antena. Esse aparato será o responsável por transformar as ondas eletromagnéticas em sinais elétricos possíveis para análise, com isso o aparato se torna essencial para a medição do espectro de determinados equipamentos e locais.

O analisador de espectro inspeciona os sinais alternados no domínio da frequência, onde ele recebe um sinal eletromagnético e o exibe em sua interface gráfica de forma a permitir a medição e análise desse sinal. Na **Figura 35** é apresentado o analisador de espectro que foi usado nos ensaios realizados para esse trabalho.



Figura 35 - Analisador de espectro usado nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.

O CDNE (Figura 36) desempenha um papel crucial nos testes de EMC, facilitando a conexão entre o equipamento de teste e o dispositivo sob avaliação. Funcionando como um acoplamento entre esses dois componentes, o CDNE é projetado com características de impedância específicas para corresponder às condições da linha de alimentação e outros cabos conectados ao dispositivo em teste, além de incluir atenuadores para garantir a

intensidade correta do sinal. Além disso, o CDNE incorpora filtros e redes de desacoplamento para minimizar a interferência externa durante os testes. Essa rede é essencial para simular as condições reais do ambiente de operação do dispositivo, assegurando que os resultados do teste sejam representativos e confiáveis.

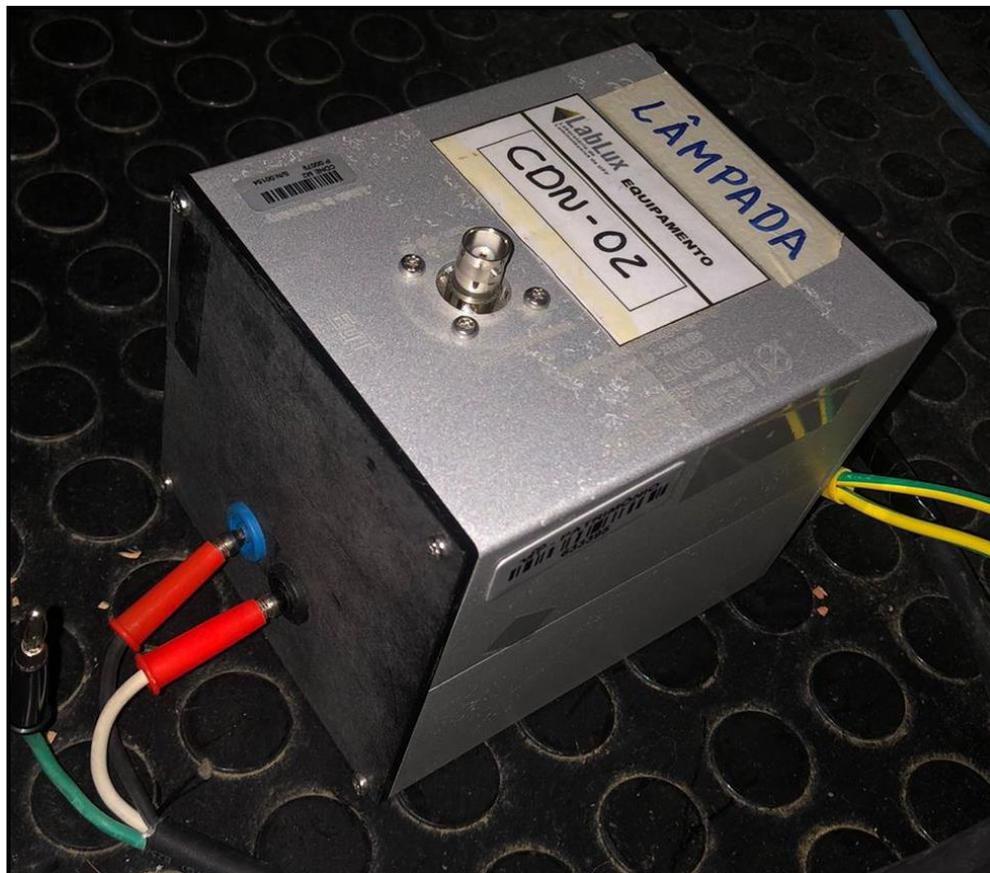


Figura 36 - CDNE usado nos ensaios.

Fonte: Autoria Própria.

Em conjunto com o CDNE usa-se o filtro passa-alta, que impede que ruídos de frequência abaixo de 30MHz influencie no resultado do ensaio. Filtro mostrado na Figura 37.



Figura 37 - Filtro passa-alta usado nos ensaios.

Fonte: Autoria própria.

O último equipamento usado nos ensaios de EMC foi a antena *loop* (Figura 38). Ela consiste em um ou mais *loops* condutores que capturam o campo magnético gerado por dispositivos eletrônicos durante os testes. A designação "*loop*" deriva da sua forma circular ou elíptica, que é a característica distintiva deste tipo de antena. A forma circular ou elíptica é adotada porque permite uma captação eficiente do campo magnético em todas as direções, proporcionando uma sensibilidade direcional uniforme.



**Figura 38 - Antena *loop* usada nos ensaios.
Fonte: Autoria própria.**

Para realizar o ensaio das tensões de perturbações conduzidas nos terminais de interface da fonte de alimentação elétrica de corrente alternada na faixa de frequência de 9 kHz até 30 MHz, o EUT é conectado à LISN através da alimentação. A LISN é alimentada pela fonte controlada com a tensão selecionada para o teste. Na LISN, a tensão de perturbação é direcionada através de um cabo coaxial para o pré-seletor. O cabo coaxial pode ser conectado em ambos os terminais de alimentação. A partir do pré-seletor, o sinal é amplificado no pré-amplificador, que o envia para o analisador de espectro. O analisador de espectro medirá e gerará o espectro de interferência usando o *software* conectado ao computador.

Para o ensaio dos distúrbios radiados na faixa de frequência 30 MHz até 300 MHz pelo método do CDNE. O CDNE é alimentado pela fonte controlada com a tensão selecionada para o teste, a perturbação é convertida em sinal e direcional através de um cabo coaxial para o filtro passa-alta que envia o sinal para o analisador de espectro.

Para o ensaio dos distúrbios radiados na faixa de frequência 9 kHz até 30 MHz usando o a antena *loop* o EUT é colocado no centro da antena alimentado pela fonte

controlada com a tensão selecionada para o teste. O campo magnético capturado é convertido em um sinal elétrico proporcional à intensidade do campo, o qual é analisado pelo analisador de espectro para determinar a quantidade de energia RF irradiada pelo dispositivo em teste em diferentes frequências. A medição é feita em três eixos, contudo devido o excesso de dados foi feito somente em uma tensão de alimentação e somente em um plano.

Capítulo 5 - Resultados e Análises

Neste capítulo, são apresentados os resultados das medições realizadas nas lâmpadas inteligentes, juntamente com as análises pertinentes comparativas com os padrões normativos. O capítulo é subdividido em cinco tópicos, sendo eles: marcações, segurança elétrica, dados fotométricos e elétricos, finalizando com os resultados dos ensaios de EMC.

Inicialmente, procedeu-se ao levantamento de todos os dados nominais declarados que se mostraram relevantes para o estudo. Essas informações foram adquiridas tanto do corpo da lâmpada quanto da embalagem, bem como do folheto de instruções que acompanha todas as amostras adquiridas. Os dados recolhidos encontram-se apresentados na Tabela 11 e na Tabela 12, esta última correspondente à continuação dos dados.

Tabela 11 - Dados nominais declarados - Parte 1.

AMOSTRA	POTÊNCIA	FP	TENSÃO	FREQUÊNCIA	FLUXO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	IRC
F1	11W	> 0,7	100 -240 V	50/60 Hz	1050 lm	ND	80
F2	10W	ND	100 -240 V	50/60 Hz	806 lm	ND	ND
F3	9W	ND	85 - 265 V	ND	806 lm	ND	ND
F4	10W	> 0,5	100 -240 V	50/60 Hz	806 lm	ND	> 80
F5	9W	ND	100 -240 V	60 Hz	810 lm	ND	ND
F6	10W	ND	100 -240 V	ND	820 lm	ND	ND
F7	9W	ND	100 -240 V	50/60 Hz	810 lm	ND	> 80
F8	10W	> 0,7	100 -240 V	ND	806 lm	ND	ND
F9	12W	ND	110 - 240 V	50/60 Hz	1050 lm	ND	ND
F10	9W	> 0,9	100 - 240 V	50/60 Hz	806 lm	ND	ND
F11	10W	> 0,5	100 -240 V	50/60 Hz	803 lm	80 lm/W	>80

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 - Dados nominais declarados - Parte 2.

AMOSTRA	TCC	CORRENTE	VIDA	ÂNGULO DE FACHO	PESO	EQUIVALÊNCIA
F1	2700 - 6500 K	130/60mA(127/220V)	25000h	Omnidirecional	65g	ND
F2	2700 - 6000 K	ND	25000h	ND	ND	ND
F3	2700 - 6500 K	ND	25000h	ND	40g	ND
F4	2700 - 6500 K	ND	25000h	120°	30g	DN
F5	2700 - 6500 K	ND	25000h	220°	ND	60W
F6	3000 - 7000 K	ND	25000h	ND	63g	ND
F7	2700 - 6500 K	ND	25000h	ND	ND	60W
F8	2700 - 6500 K	ND	25000h	ND	50g	60W
F9	2700 - 6500 K	ND	25000h	ND	ND	ND
F10	2700 - 6500 K	100mA	ND	ND	39g	ND
F11	ND	75/50mA(127/220V)	25000h	200°	78g	ND

Fonte: Autoria própria

Várias informações foram mencionadas como não declaradas (ND). No que tange à corrente nominal, a amostra F10 apenas indicou a corrente sem especificar a tensão à qual

essa corrente é aplicável. Apenas a amostra F10 deixou de declarar o tempo de vida útil da lâmpada, enquanto a F11 foi a única que não especificou a faixa de TCC, no entanto, foi a única a declarar a eficiência energética.

5.1 Segurança Elétrica

A análise das marcações é realizada por meio da inspeção visual dos produtos (P.) e das embalagens (E.) das amostras. No caso das lâmpadas inteligentes, os folhetos de instrução estão contidos nas embalagens, porém não são considerados na verificação de conformidade.

As verificações de conformidade foram realizadas seguindo a Tabela 4 apresentada no capítulo 3. Os resultados das inspeções visuais estão demonstrados nas Tabela 13 e Fonte: Autoria **própria**

Tabela 14, indicando conformidade (C) e não conformidade (NC), respectivamente. O símbolo "-" representa itens não avaliados. Os itens l, o e p não estão relacionados com a tecnologia em estudo, por isso estão excluídos da tabela.

Tabela 13 - Resultados de marcações - Parte 1.

ITEM	DESCRIÇÃO	F1		F2		F3		F4		F5	
		P.	E.								
a	MARCA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
b	TENSÃO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
c	POTÊNCIA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
e	FREQUÊNCIA	-	C	C	C	-	NC	-	C	-	NC
f	CORRENTE	NC	C	NC							
g	PESO	-	NC	-	NC	-	C	-	C	-	NC
h	FLUXO	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C
i	VIDA	-	C	-	NC	-	C	-	C	-	C
j	IRC	-	NC	-	NC	-	NC	-	C	-	NC
k	DIM	-	NC								
m	LETRA	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C
n	DESCARTE	-	NC	-	NC	-	C	-	C	-	C
q	EQUIV	-	NC								
r	DATA E ANO	C	C	NC	C	NC	C	NC	NC	NC	NC

Fonte: Autoria **própria**

Tabela 14 - Resultados de marcações - Parte 2.

ITEM	DESCRIÇÃO	F6		F7		F8		F9		F10		F11	
		P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.
a	MARCA	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C
b	TENSÃO	NC	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C

ITEM	DESCRIÇÃO	F6		F7		F8		F9		F10		F11	
		P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.	P.	E.
c	POTÊNCIA	C	C	C	C	NC	C	C	C	NC	C	C	C
e	FREQUÊNCIA	-	NC	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C
f	CORRENTE	NC	C	NC	NC	C							
g	PESO	-	C	-	NC	-	C	-	NC	-	C	-	C
h	FLUXO	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C
i	VIDA	-	NC	-	C	-	C	-	C	-	NC	-	C
j	IRC	-	NC	-	C	-	NC	-	NC	-	C	-	C
k	DIM	-	NC	-	NC	-	NC	-	NC	-	NC	-	NC
m	LETRA	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C
n	DESCARTE	-	NC	-	C	-	C	-	NC	-	C	-	C
q	EQUIV	-	NC	-	C	-	C	-	NC	-		-	NC
r	DATA E ANO	C	NC	C	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C

Fonte: Autoria própria

Nota-se que nenhum dos fabricantes analisados está em conformidade com todos os requisitos de marcação nas lâmpadas e em suas respectivas embalagens. Informações cruciais para o manuseio e especificações foram omitidas em várias amostras.

Iniciando os testes de intercambialidade da base, conforme o item 3.2.2 da portaria nº 69, os ensaios com três gabaritos para a base do tipo E27 revelaram que todas as amostras mantiveram um padrão de qualidade aceitável para a comercialização, não representando perigo ao usuário neste aspecto. Portanto, todas as amostras estão em conformidade. Durante este teste, o peso foi medido e todas as amostras estão dentro do limite estabelecido. Os resultados das medições de massa estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultado das medições de massa das amostras.

Massa (g)	
Declarada	Medida
65	64,8
ND	43,0
40	45,0
30	44,9
ND	53,1
63	49,2
ND	43,1
50	49,7
ND	49,7
39	38,6
78	44,3

Fonte: Autoria própria.

Continuando com os ensaios, foi realizada a análise da proteção contra contato acidental com partes vivas, utilizando-se o dedo padrão e um gabarito. Os resultados dos ensaios mostraram que todas as amostras estão em conformidade.

5.2 Dados Fotométricos

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados e as análises dos dados fotométricos das 11 amostras. No entanto, o cenário 5 não será considerado, pois não apresenta iluminação em modo de espera. Os dados fotométricos coletados nos 4 cenários incluem: fluxo luminoso, TCC, IRC, R9 e eficiência energética; serão apresentados tanto o fluxo de equivalência para lâmpadas incandescentes quanto a distribuição luminosa. A intensidade de pico e o ângulo de fecho foram analisados apenas nos cenários 1 e 3, uma vez que essa característica é independente do TCC. Esses dados estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados fotométricos

A.	C.	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	R9	Eficiência Energética (lm/W)	Fluxo equiv. (W)	Intensidade de pico (cd)	Ângulo de fecho (°)
F1	C1	1061,9	6437	88	29	95,76	75	183,2	168,1
	C2	1020,5	2816	86	25	91,61	75	-	-
	C3	153,7	6451	89	34	66,82	NA	20,96	167,9
	C4	111,4	2651	86	26	53,31	NA	-	-
F2	C1	918,3	6090	86	18	100,14	60	120,2	210,6
	C2	835,5	2720	84	19	88,98	60	-	-
	C3	167,4	6044	87	21	78,23	20	14,51	210,1
	C4	102,4	2677	85	23	55,94	NA	-	-
F3	C1	674,8	6334	86	19	80,24	50	112,8	169,8
	C2	622,1	2965	85	18	74,50	40	-	-
	C3	150,4	6006	85	12	68,04	NA	13,79	168,7
	C4	140,3	2921	85	18	62,61	NA	-	-
F4	C1	881,2	6115	87	23	99,01	60	113,1	217,2
	C2	786,5	2720	84	18	87,48	50	-	-
	C3	149,4	6074	87	27	70,80	NA	13,15	216,5
	C4	132,8	2678	85	21	65,08	NA	-	-
F5	C1	698,0	6448	95	61	80,60	50	124,8	157,5
	C2	748,6	2898	85	21	92,76	50	-	-
	C3	178,4	6279	94	58	67,59	20	13,99	156,9
	C4	146,4	2872	86	25	73,56	NA	-	-
F6	C1	927,8	6099	86	16	103,32	60	125,3	205,7

A.	C.	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	R9	Eficiência Energética (lm/W)	Fluxo equiv. (W)	Intensidade de pico (cd)	Ângulo de fecho (°)
	C2	847,5	2666	84	19	92,02	60	-	-
	C3	171,9	6060	86	19	77,79	20	14,18	204,9
	C4	154,6	2630	85	22	60,64	20	-	-
F7	C1	830,6	6108	86	20	89,89	60	160,3	146,5
	C2	757,1	2901	84	17	82,84	60	-	-
	C3	162,9	6026	85	14	77,58	20	19,62	145,7
	C4	145,4	2877	84	17	71,96	NA	-	-
F8	C1	885,4	6214	85	10	92,90	60	107,6	224,7
	C2	874,9	2919	84	17	91,90	60	-	-
	C3	172,7	6190	85	13	88,54	20	6,496	222,2
	C4	127,5	2884	85	22	75,87	NA	-	-
F9	C1	1067,6	6302	86	16	97,32	75	173,4	171,5
	C2	1009,2	2888	84	18	91,66	70	-	-
	C3	176,1	6214	87	20	83,05	20	21,21	170,9
	C4	168,4	2831	85	23	87,70	20	-	-
F10	C1	822,0	6420	87	22	87,63	60	105,9	215,3
	C2	770,2	2653	84	18	83,45	50	-	-
	C3	155,3	6317	87	25	83,07	NA	7,369	213,6
	C4	101,7	2603	85	23	66,02	NA	-	-
F11	C1	829,2	6266	85	16	88,12	60	138,1	168,1
	C2	737,0	2865	85	21	79,50	50	-	-
	C3	159,3	6094	84	12	75,49	20	16,37	167,5
	C4	122,0	2842	85	21	66,28	NA	-	-

Fonte: Autoria própria.

O primeiro parâmetro avaliado foi o fluxo luminoso, que, conforme a Portaria n° 69, não pode ser inferior a 90% do valor declarado. Na Tabela 16, na coluna referente ao fluxo luminoso, foram destacadas em vermelho as medições que não atenderam a esse requisito, resultando na reprovação das amostras F3 e F5. O fluxo nominal declarado foi considerado apenas nos cenários 1 e 2, pois estes apresentam a configuração com maior fluxo luminoso.

Para a avaliação da TCC, foram considerados os dados nominais apresentados na Tabela 9 e na Tabela 2 apresentado os requisitos de conformidade. A amostra F11 não declarou a TCC, portanto, não foi avaliada. Nos cenários 1 e 3, utilizou-se o valor superior da TCC, enquanto nos cenários 2 e 4, utilizou-se o valor inferior. Na Tabela 16, na coluna das medições de TCC, foram destacados em vermelho os valores medidos que não atenderam aos requisitos, indicando não conformidade. Portanto, as amostras F3, F5, F6, F7, F8 e F9 foram reprovados.

No que concerne ao IRC e ao R9, todas as amostras estão em conformidade com os critérios a) e b) do item 3.1.5 descrito no capítulo 3.1 deste trabalho. A eficiência energética foi reprovada apenas na amostra F1, no cenário 4. O fluxo por equivalência foi avaliado somente nas amostras F5, F7 e F8, sendo a amostra F5 reprovada. Contudo, algumas configurações não apresentaram o fluxo mínimo necessário para realizar a equivalência, sendo, portanto, apresentadas como "NA".

O ângulo de fecho, quando declarado, não pode variar em mais de 25% do valor declarado. As amostras que declararam esse parâmetro foram as F4, F5 e F11. Dentre essas, apenas a amostra F11 foi aprovada. As demais amostras não foram avaliadas, pois a declaração do ângulo de fecho não é obrigatória quando a distribuição é omnidirecional

5.3 Dados elétricos

Os dados elétricos obtidos a partir das medições realizadas nas lâmpadas inteligentes compreendem potência nominal, fator de potência, harmônicos e corrente de alimentação. A obtenção desses dados foi realizada conforme a metodologia apresentada no capítulo anterior. Na Tabela 17 estão apresentadas as medições de potência nominal, fator de potência e corrente de alimentação nos quatro primeiros cenários, bem como em uma carga de 5 watts.

Tabela 17 - Resultados das medições elétricas

A.	D.	Potência (W)		FP		Corrente (A)		A.	D.	Potência (W)		FP		Corrente (A)	
		Medido		Medido		Medido				Medido		Medido		Medido	
		127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V			127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	C1	10,89	11,09	0,955	0,879	0,090	0,055	F7	C1	9,11	9,24	0,557	0,450	0,130	0,093
	C2	10,94	11,14	0,955	0,880	0,091	0,054		C2	9,08	9,14	0,555	0,449	0,129	0,092
	C3	1,98	2,30	0,732	0,604	0,026	0,017		C3	1,75	2,10	0,423	0,340	0,038	0,028
	C4	1,88	2,09	0,720	0,554	0,021	0,017		C4	1,65	2,02	0,408	0,337	0,035	0,027
	5W	5,15	5,05	0,873	0,792	0,044	0,029		5W	5,39	5,22	0,513	0,403	0,087	0,059
F2	C1	9,12	9,17	0,935	0,884	0,078	0,047	F8	C1	9,71	9,53	0,612	0,508	0,123	0,085
	C2	9,35	9,39	0,935	0,881	0,080	0,048		C2	9,72	9,52	0,611	0,508	0,122	0,085
	C3	1,62	2,14	0,730	0,584	0,022	0,017		C3	1,18	1,95	0,465	0,377	0,031	0,024
	C4	1,58	1,83	0,706	0,539	0,020	0,015		C4	1,19	1,68	0,441	0,367	0,027	0,021
	5W	5,06	5,27	0,878	0,805	0,047	0,030		5W	5,03	5,11	0,557	0,453	0,073	0,051
F3	C1	8,25	8,41	0,542	0,422	0,120	0,090	F9	C1	10,56	10,97	0,555	0,454	0,153	0,110
	C2	8,23	8,35	0,541	0,425	0,120	0,089		C2	10,52	11,01	0,554	0,454	0,151	0,110
	C3	1,83	2,21	0,415	0,315	0,038	0,032		C3	1,47	2,12	0,413	0,341	0,036	0,028
	C4	1,79	2,24	0,394	0,331	0,037	0,031		C4	1,46	1,92	0,391	0,335	0,030	0,026
	5W	5,00	5,27	0,485	0,387	0,080	0,062		5W	5,01	5,13	0,488	0,396	0,082	0,059
F4	C1	9,26	8,90	0,914	0,874	0,080	0,046	F10	C1	9,30	9,38	0,979	0,916	0,076	0,047

A.	D.	Potência (W)		FP		Corrente (A)		A.	D.	Potência (W)		FP		Corrente (A)	
		Medido		Medido		Medido				Medido		Medido		Medido	
		127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V			127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
	C2	9,13	8,99	0,913	0,870	0,078	0,047		C2	9,50	9,23	0,975	0,919	0,079	0,046
	C3	2,16	2,11	0,745	0,614	0,025	0,016		C3	1,80	1,87	0,767	0,602	0,020	0,014
	C4	2,19	2,04	0,732	0,593	0,023	0,016		C4	1,79	1,54	0,779	0,564	0,019	0,012
	5W	5,01	5,11	0,855	0,794	0,048	0,029		5W	5,19	5,09	0,945	0,831	0,043	0,028
F5	C1	8,68	8,66	0,969	0,914	0,070	0,043	F11	C1	9,61	9,41	0,574	0,474	0,131	0,090
	C2	8,08	8,07	0,966	0,903	0,066	0,041		C2	9,59	9,27	0,582	0,468	0,135	0,090
	C3	1,94	2,64	0,819	0,689	0,024	0,017		C3	1,94	2,11	0,437	0,356	0,036	0,027
	C4	1,89	1,99	0,736	0,602	0,020	0,015		C4	2,04	1,84	0,433	0,348	0,036	0,024
	5W	5,05	5,13	0,932	0,847	0,044	0,028		5W	5,10	5,04	0,515	0,416	0,076	0,055
F6	C1	9,10	8,98	0,914	0,876	0,078	0,047								
	C2	9,18	9,21	0,917	0,876	0,081	0,048								
	C3	1,72	2,21	0,746	0,639	0,023	0,016								
	C4	1,85	2,55	0,726	0,622	0,019	0,019								
	5W	5,07	5,10	0,853	0,806	0,050	0,029								

Fonte: Autoria própria.

Na análise da potência nominal, a norma exige que a potência medida não ultrapasse 10% da potência declarada pelo fabricante, conforme o item 3.1.1 da Portaria n° 69. Assim, na Tabela 18, foi realizada uma comparação entre a maior potência medida em cada lâmpada e a potência declarada, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 18 - Maior potência medida por amostra.

A.	Declarado (W)	Cenário	Tensão (V)	Medido (W)	Percentual
F1	11	C2	220	11,14	101%
F2	10	C2	220	9,39	94%
F3	9	C2	220	8,35	93%
F4	10	C1	127	9,26	93%
F5	9	C1	220	8,68	96%
F6	10	C2	127	9,18	92%
F7	9	C1	220	9,24	103%
F8	10	C2	127	9,72	97%
F9	12	C2	220	11,01	92%
F10	9	C2	127	9,50	106%
F11	10	C1	127	9,61	96%

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a norma, nenhuma das amostras ultrapassou o critério de 10% da potência nominal. O fator de potência foi avaliado apenas nos cenários 1, 2 e em uma carga de 5 watts, conforme o critério mínimo de 0,7 estabelecido na Portaria n° 69 de , constatando-se que cinco amostras foram reprovadas, sendo elas as amostras F3, F7, F8, F9 e F11. Os valores medidos que representam a não conformidade estão destacados em vermelho. Os

valores de corrente de alimentação apresentados na Tabela 17 não são critérios de avaliação de conformidade; entretanto, foram incluídos como dados adicionais.

Para avaliação dos harmônicos, foi elaborada a Tabela 19, que apresenta os valores do THD e as porcentagens da segunda, terceira, quinta, nona e décima primeira ordem. As demais ordens estão detalhadas no Apêndice B.

Tabela 19 - Resultados medições de harmônicos

A.	C.	THD (%)		2ª ordem (%)		3ª ordem (%)		5ª ordem (%)		7ª ordem (%)		9ª ordem (%)		11ª ordem (%)	
		127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	C1	18,1	32,1	0,9	0,7	14,7	26,5	2,2	4,6	4,8	7,9	2,0	4,6	3,2	4,5
	C2	18,0	30,7	1,6	1,4	14,6	25,9	2,5	5,1	4,8	7,3	2,2	2,8	2,7	3,7
	C3	58,5	97,2	2,5	3,6	40,2	70,9	24,1	33,3	22,9	11,7	7,5	19,1	7,1	21,2
	C4	57,7	96,0	1,6	5,6	38,7	70,0	23,6	31,9	22,7	10,2	7,6	18,8	8,8	21,1
	5W	33,0	48,9	1,2	1,5	27,7	37,5	3,7	4,6	7,6	13,1	5,3	9,5	8,4	7,6
F2	C1	22,6	32,9	1,5	1,9	17,2	27,2	4,6	8,0	4,0	4,6	3,6	2,5	2,6	2,4
	C2	23,8	34,1	1,7	1,4	17,5	28,8	4,7	5,3	4,7	5,7	2,5	2,1	1,2	2,3
	C3	49,1	64,4	2,0	11,0	39,4	50,7	7,7	4,5	15,3	16,8	9,6	8,7	3,6	5,6
	C4	49,3	102,2	4,5	31,6	39,6	60,4	7,4	18,2	12,2	17,5	8,7	19,2	3,4	11,8
	5W	34,3	47,8	0,9	2,3	29,8	39,1	4,6	3,2	7,5	8,6	4,2	9,9	4,6	5,7
F3	C1	142,4	205,0	0,8	1,8	89,2	96,3	70,9	89,8	50,0	80,9	33,0	70,6	25,1	59,4
	C2	139,9	206,6	0,7	2,5	89,4	96,4	71,3	90,0	50,4	81,2	32,8	70,9	23,8	59,8
	C3	207,1	279,6	2,9	10,7	96,7	98,0	91,1	95,5	83,4	92,7	74,3	88,8	63,7	84,4
	C4	205,4	272,6	3,4	6,6	96,3	97,8	91,3	95,8	83,8	92,1	74,4	88,6	63,8	83,5
	5W	163,8	230,9	1,5	3,5	93,4	97,5	81,1	93,2	65,4	87,8	48,8	80,7	34,9	72,4
F4	C1	23,7	33,7	0,7	1,5	18,4	26,9	1,7	2,2	5,4	7,3	4,9	6,8	3,4	4,8
	C2	24,3	30,6	1,5	2,1	18,9	26,0	2,9	4,5	5,9	4,2	4,7	4,4	2,9	1,6
	C3	59,4	86,4	2,0	4,7	39,5	52,9	15,7	19,4	18,6	34,5	15,2	29,2	14,5	17,4
	C4	58,5	83,2	2,7	4,2	39,4	51,3	16,3	17,5	18,6	33,9	13,8	28,2	14,1	17,7
	5W	32,8	45,4	1,0	2,4	27,7	34,7	2,4	7,8	4,1	8,5	2,1	5,7	5,9	9,9
F5	C1	18,5	29,4	0,3	0,5	15,9	24,9	2,0	6,8	6,2	8,5	2,6	2,8	4,2	3,6
	C2	19,7	31,3	0,4	0,5	17,0	26,1	2,0	6,7	6,7	9,2	2,9	3,3	4,3	4,3
	C3	67,9	101,2	0,9	16,5	42,3	69,4	29,7	32,8	27,6	24,5	13,7	24,7	13,3	18,3
	C4	67,2	84,9	2,2	4,5	41,7	57,0	28,6	23,9	27,7	28,6	14,3	24,1	14,2	15,3
	5W	31,2	39,7	0,5	0,6	26,2	30,5	0,9	6,3	9,3	9,8	6,4	3,9	6,7	11,4
F6	C1	22,2	33,4	0,5	1,5	19,1	28,3	2,9	3,8	4,1	4,8	4,9	6,8	2,8	3,3
	C2	20,5	33,3	0,6	1,8	18,6	26,9	2,8	4,3	2,5	5,5	4,3	6,7	2,5	3,3
	C3	50,5	72,3	2,9	4,8	36,9	51,4	14,8	11,6	11,8	18,0	7,6	18,9	11,2	14,4
	C4	55,9	70,8	2,8	5,0	39,6	50,2	14,9	13,3	15,4	6,9	12,5	19,8	13,0	14,3
	5W	36,1	42,2	2,2	1,7	31,1	33,3	4,0	10,9	4,7	9,0	2,5	5,1	3,7	5,5
F7	C1	136,6	193,1	0,7	1,4	89,3	96,1	70,9	89,3	49,6	79,9	31,6	68,6	22,1	56,5
	C2	136,3	193,3	0,6	1,3	89,3	96,1	70,9	89,2	49,6	79,9	31,2	68,6	21,6	56,7
	C3	213,2	266,0	3,0	10,4	96,8	96,8	92,3	95,5	85,0	91,5	76,8	88,4	67,5	83,1
	C4	216,0	265,7	2,7	5,7	97,1	98,0	92,4	95,4	85,8	92,2	77,8	87,6	68,7	83,8
	5W	161,8	221,4	1,6	1,9	93,4	97,4	81,6	93,1	66,5	87,1	50,2	79,4	35,5	71,3
F8	C1	111,3	163,3	0,4	1,1	82,8	94,0	56,1	83,1	31,0	68,8	19,7	52,8	18,6	37,5
	C2	110,9	163,3	0,3	1,0	82,8	93,8	55,7	83,1	30,6	68,7	19,6	52,6	18,5	37,3
	C3	202,6	240,2	3,0	4,5	96,1	96,5	90,7	93,7	83,5	89,5	74,0	84,3	63,2	78,1
	C4	204,7	239,2	3,7	7,2	97,0	96,5	92,2	93,2	84,2	89,3	74,8	83,9	63,5	78,3
	5W	143,4	192,4	0,9	1,8	91,0	96,0	75,6	89,9	56,5	80,6	37,8	69,4	23,9	57,7
F9	C1	138,6	192,7	0,6	1,7	90,4	96,4	73,8	89,9	53,5	80,6	34,2	69,4	21,0	57,3
	C2	140,5	193,6	0,7	1,8	90,7	96,5	74,2	90,0	54,4	81,1	35,5	70,0	22,4	58,1
	C3	222,3	264,5	2,9	11,0	97,4	97,3	93,2	94,9	87,5	90,8	80,1	87,1	72,0	83,7
	C4	222,5	260,4	4,2	7,2	97,5	97,3	93,6	95,6	87,4	91,9	80,0	87,5	71,9	82,5
	5W	174,4	226,1	2,2	3,1	95,0	97,5	86,2	93,7	74,1	88,1	60,2	81,3	45,9	73,1
F10	C1	13,5	21,9	0,5	0,6	12,0	15,9	0,8	7,2	4,3	9,1	1,1	2,0	2,6	5,0
	C2	14,5	22,5	0,4	0,4	12,7	16,5	1,9	6,5	4,5	9,2	2,2	1,9	1,6	5,4
	C3	49,4	118,0	3,7	2,3	41,3	71,9	6,8	32,6	14,1	20,5	9,2	40,7	1,8	44,3

A.	C.	THD (%)		2ª ordem (%)		3ª ordem (%)		5ª ordem (%)		7ª ordem (%)		9ª ordem (%)		11ª ordem (%)	
		127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
		C4	48,5	116,4	1,7	3,4	40,6	72,5	7,0	34,0	15,2	20,0	9,9	38,3	4,3
5W	20,5	38,3	1,5	1,4	16,3	28,4	3,2	13,4	8,5	12,8	3,5	6,2	3,1	7,0	
F11	C1	126,9	183,5	0,6	1,8	87,5	95,6	66,4	87,7	43,1	77,1	25,5	64,5	19,4	51,4
	C2	127,1	184,1	0,8	0,6	87,5	95,7	66,4	87,9	43,3	77,4	25,7	65,0	19,5	51,8
	C3	202,6	250,2	4,0	6,1	96,2	97,2	91,3	94,6	83,1	90,6	73,7	85,7	62,8	80,1
	C4	201,1	255,3	1,5	8,6	96,6	97,7	91,0	94,7	82,7	91,4	72,5	87,2	62,5	81,0
	5W	155,9	209,4	1,0	3,8	93,0	96,8	80,3	91,8	64,1	84,9	47,0	76,1	32,0	66,3

Fonte: Autoria própria.

Considerando os três critérios de conformidade estabelecidos na norma IEC 61000-3-2, a aprovação do equipamento está condicionada à satisfação de pelo menos um critério. Portanto, nos cenários 1, 2 e 5 watts, a aprovação será concedida se pelo menos um critério for atendido em ambas as tensões. Na Tabela 20 mostramos as conformidades.

Tabela 20 - Parecer de conformidade dos critérios da IEC 61000-3-2

Amostra	F1			F2			F3			F4			F5			F6		
cenário	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5
127 V	Crit.1	C	C	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	NC	NC						
	Crit.2	C	C	C	C	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	C	C	C
	Crit.3	C	C	C	C	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	C	C	C
220 V	Crit.1	C	C	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	NC	NC						
	Crit.2	C	C	C	C	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	C	C	C
	Crit.3	C	C	NC	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Parecer	C	C	C	C	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amostra	F7			F8			F9			F10			F11					
cenário	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5	C1	C2	C5			
127 V	Crit.1	NC	C	C	C	NC	NC	NC										
	Crit.2	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	NC	C	C	C	NC	NC	NC			
	Crit.3	NC	C	C	C	NC	NC	NC										
220 V	Crit.1	NC	C	C	C	NC	NC	NC										
	Crit.2	NC	C	C	C	NC	NC	NC										
	Crit.3	NC	C	C	C	NC	NC	NC										
Parecer	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	C	C	C	NC	NC	NC			

Fonte: Autoria própria.

As amostras reprovadas em todos os critérios em pelo menos uma tensão de alimentação foram F3, F7, F8, F9 e F11. Para os resultados das amostras em modo de espera, ou seja, cenário 5, consulte a Tabela 21.

Tabela 21 - Resultados parâmetros elétricos em modo de espera.

A.	Potências			FP	Corrente (mA)	THD (%)
	Ativa (W)	Reativa (var)	Aparente (VA)			
F1	1,008	3,847	3,980	0,2536	18,1	142,21
F2	0,724	3,606	3,678	0,1966	16,7	157,96
F3	0,670	5,370	5,410	0,1237	24,6	321,07
F4	0,732	3,491	3,567	0,2055	16,2	120,72
F5	0,630	3,530	3,583	0,1755	16,3	191,78
F6	0,833	3,561	3,655	0,2278	16,6	143,34
F7	0,367	3,482	3,502	0,1037	15,9	327,04
F8	0,309	3,367	3,381	0,0915	15,4	303,29

F9	0,293	3,407	3,419	0,0853	15,5	327,91
F10	0,438	3,344	3,375	0,1299	15,3	164,96
F11	0,356	3,434	3,451	0,1027	15,7	332,76

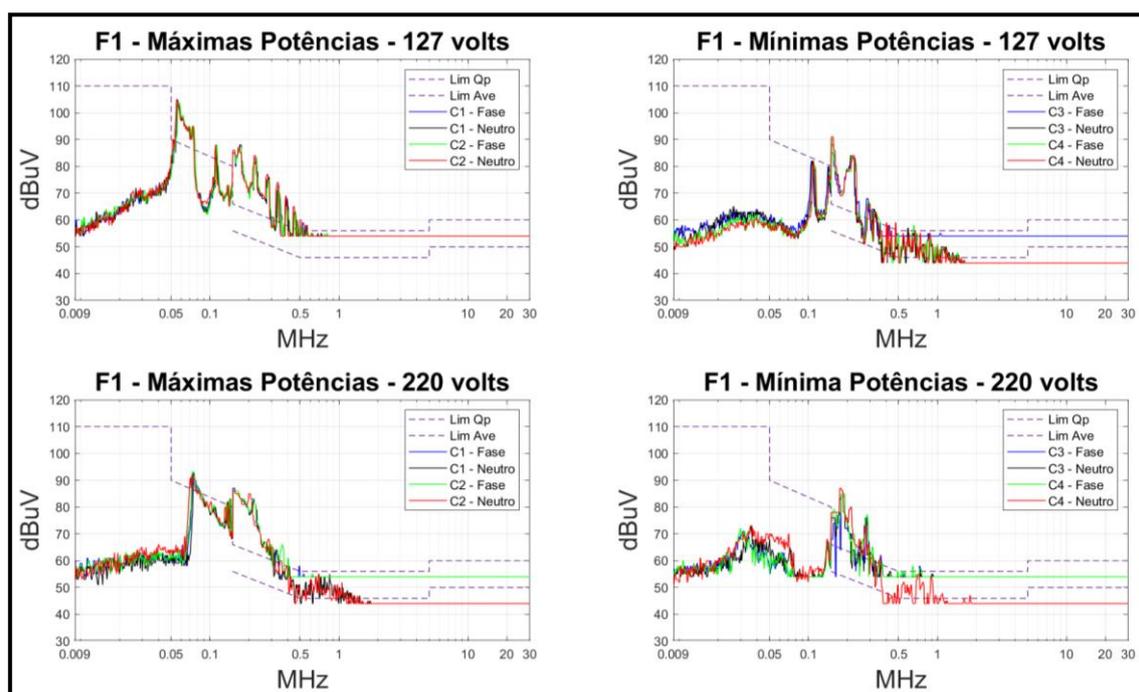
Fonte: Autoria própria.

A Portaria nº 69 não estabelece critérios específicos para os dados elétricos medidos em modo de espera. No entanto, conforme mencionado no capítulo 3.4, para obter o selo de qualidade *Energy Star*, a amostra não deve exceder 0,5 watt neste modo. Dessa forma, apenas as amostras F7, F8, F9, F10 e F11 seriam elegíveis para receber o selo. A Tabela 21 também apresenta os valores de potência reativa, potência aparente, FP, corrente de alimentação e THD, com o objetivo de fornecer uma visão completa dos dados elétricos neste estado. No entanto, esses dados não serão considerados para fins de avaliação.

5.4 Compatibilidade Eletromagnética

Conforme descrito na seção de metodologia do ensaio no capítulo 4, o teste de EMC envolve três medições dos ruídos gerados pela lâmpada LED. Inicialmente, foram realizadas medições das tensões de perturbações conduzidas nos terminais de interface da fonte de alimentação elétrica de corrente alternada, abrangendo a faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz. Estas medições foram conduzidas em cinco cenários distintos conforme descrito na Tabela 10.

Após a conclusão de todas as medições, a Figura 39 apresenta uma comparação entre os cenários, as tensões registradas e os terminais da fonte de alimentação.



**Figura 39 - Agrupamento de espectros semelhantes de amostra F1.
Fonte: Autoria própria.**

Conforme ilustrado na Figura 39, os espectros foram categorizados em quatro distintas classes, distinguíveis pela potência configurada na lâmpada e pela tensão de alimentação. A Figura 39 apresenta o exemplo da amostra F1, com as demais amostras exibindo comportamento similar, à exceção de pequenas variações na amplitude e no deslocamento de frequência no espectro. Estas comparações estão detalhadas no Apêndice A.1.

Para demonstrar a existência de uma diferença significativa nos espectros em relação à potência e à tensão, a Figura 40 apresenta apenas uma curva de cada grupo exibido na Figura 39, selecionando os cenários que apresentam maior TCC e o terminal neutro para padronização.

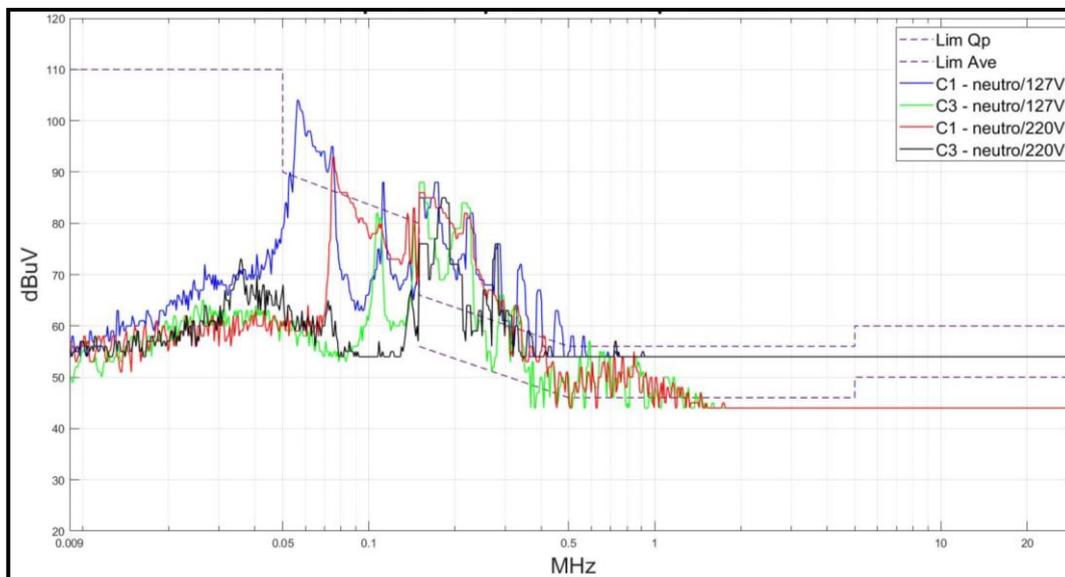


Figura 40 - Comparando 1 espectro de cada grupo semelhante da amostra F1.

Fonte: Autoria própria.

Ao examinarmos cada espectro individualmente na Figura 40, podemos observar que eles apresentam características distintas. Entre essas diferenças, destacamos a amplitude dos picos, que varia consideravelmente entre os espectros, indicando diferentes níveis de energia em cada frequência. Dentre os espectros analisados, a amostra F1 apresenta o cenário 1, alimentado em 127 volts e com medição realizada no terminal neutro, como aquele que possui o valor pico mais elevado quando comparados com os demais.

Tendo em vista que para a avaliação de conformidade basta somente um cenário e/ou tipo de medição esteja em não conformidade para a reprovação da amostra, a Figura 41 apresenta apenas o espectro com a maior margem negativa entre o valor de quase-pico medido e o limite estabelecido na norma.

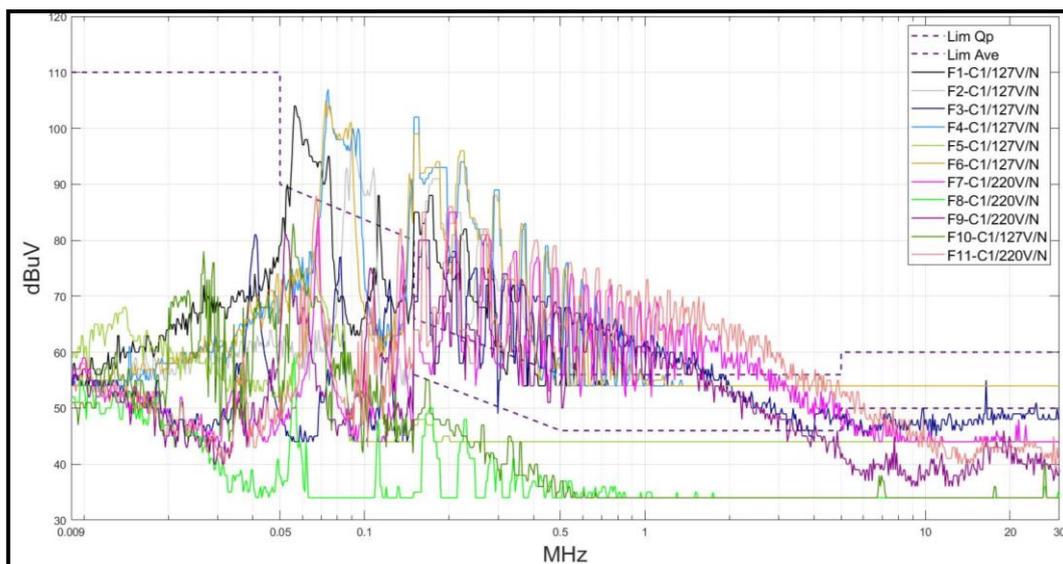


Figura 41 - Espectros com maior margem negativa em cada amostra.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 41, os espectros que exibem coloração esverdeada, ou seja, as amostras F5, F8 e F10, são aquelas que não foram reprovadas em nenhuma das configurações nos quatro primeiros cenários. Por outro lado, as demais amostras foram reprovadas em pelo menos um ponto de frequência. Os pontos selecionados para demonstrar a reprovação e avaliar cada espectro estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores mais próximos aos limites de cada amostras.

Amostra	Frequência (MHZ)	Quase-pico (dBuV)	Limite (dBuV)	Margem (dBuV)
F1	0,1684	83	65	-18
F2	0,1754	88	65	-23
F3	0,1623	78	65	-13
F4	0,1623	78	65	-13
F5	0,06513	70	88	18
F6	0,1526	100	66	-34
F7	0,3354	69	59	-10
F8	0,5398	35	56	21
F9	0,2628	63	61	-2
F10	0,1665	53	65	12
F11	0,3290	63	59	-4

Fonte: Autoria própria.

Os valores negativos na coluna "margem" decorrem do fato de que o valor medido do quase pico excede o limite estabelecido pela norma, resultando em uma diferença negativa entre eles. As amostras que apresentam margem positiva estão aprovadas.

Da mesma maneira que foi feito para os quatro primeiros cenários, no cenário 5, modo de espera (M.E), foi elaborado um gráfico contendo todos os espectros que exibem a

margem mais negativa possível. Este gráfico está representado na Figura 42, as demais medições estão apresentadas no Apêndice A.1.

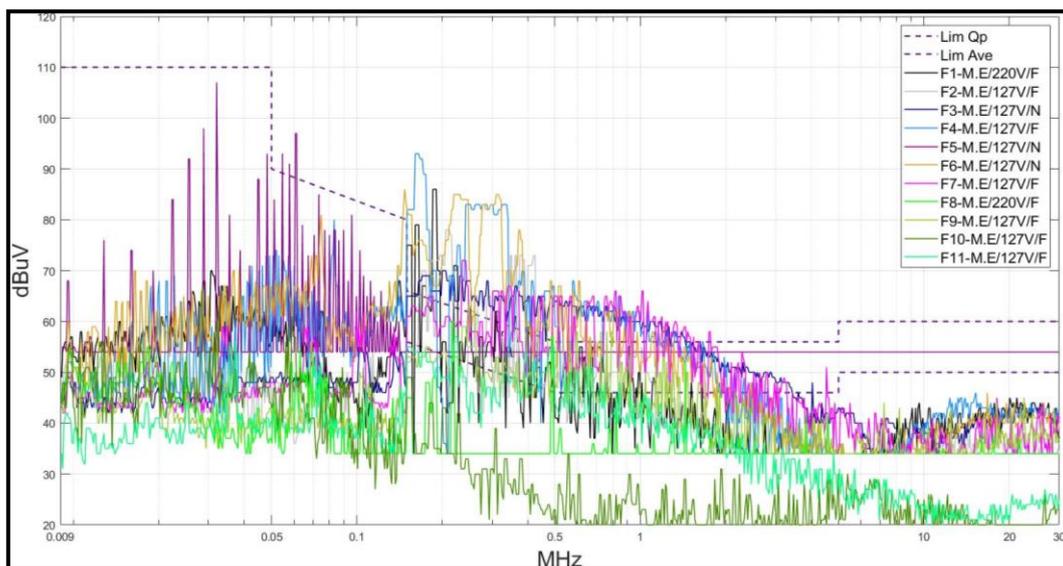


Figura 42 - Espectros com maior margem negativa em cada amostra em modo de espera. Fonte: Autoria própria.

Em concordância com a composição cromática apresentada na Figura 41, os espectros com tonalidades esverdeadas são os que satisfazem os limites estipulados pela norma. Apenas os fabricantes F8, F9, F10 e F11 foram aprovados; os demais excederam pelo menos um ponto em seus espectros, seja em quase-pico ou na média. Estes valores estão detalhados na Tabela 23.

Tabela 23 - Pontos de medição de acordo o critério normativo. Fonte: Autoria própria.

Amostra	Frequência (MHZ)	Quase-pico (dBuV)	Limite (dBuV)	Margem (dBuV)
F1	0,1900	81	64	-17
F2	0,2069	70	63	-7
F3	0,5237	57	56	-1
F4	0,3308	79	59	-20
F5	0,3133	54*	50	-4
F6	0,1537	86	66	-20
F7	0,4972	59	56	-3
F8	0,4857	38	56	18
F9	0,4436	47	57	10
F10	0,1714	39	65	26
F11	0,486	43	56	13

Fonte: Autoria própria

A Tabela 23 indica que houve amostras com margens negativas consideráveis e outras com margens menores; no entanto, qualquer valor abaixo de zero resulta em reprovação, pois ultrapassa o limite estabelecido pela norma. A amostra F5, marcada com “*”, não registrou pontos de reprovação próximo ao limite de quase-pico, mas falhou no

critério de valor médio; portanto, os valores apresentados na Tabela 23 dessa amostra são médias medidas.

Após a conclusão de todos os ensaios de perturbação eletromagnética conduzida nos terminais de alimentação, os resultados de todas as configurações e cenários de cada amostra são apresentados na Tabela 24, onde "F" e "N" referem-se aos terminais fase e neutro, respectivamente, enquanto "Cn." representa os cenários propostos

Tabela 24 - Parecer dos ensaios usando o LISN.

Amostra	Cn.	Parecer				Amostra	Cn.	Parecer				Amostra	Cn.	Parecer									
		127V		220V				127V		220V				127V		220V							
		F	N	F	N			F	N	F	N			F	N	F	N						
F1	C1	NC	NC	NC	NC	F4	C1	NC	NC	NC	NC	F7	C1	NC	NC	NC	NC	F10	C1	C	C	C	C
	C2	NC	NC	NC	NC		C2	NC	NC	NC	NC		C2	C	C	NC	NC		C2	C	C	C	C
	C3	NC	NC	NC	NC		C3	NC	NC	NC	NC		C3	NC	NC	C	C		C3	C	C	C	C
	C4	NC	NC	NC	NC		C4	NC	NC	NC	NC		C4	C	C	C	C		C4	C	C	C	C
	C5	NC	NC	NC	NC		C5	NC	NC	NC	NC		C5	NC	C	C	C		C5	C	C	C	C
F2	C1	NC	NC	NC	NC	F5	C1	C	C	C	C	F8	C1	C	C	C	C	F11	C1	NC	NC	NC	NC
	C2	NC	NC	NC	NC		C2	C	C	C	C		C2	C	C	C	C		C2	NC	C	NC	NC
	C3	NC	NC	NC	NC		C3	C	C	C	C		C3	C	C	C	C		C3	NC	NC	NC	NC
	C4	NC	NC	NC	NC		C4	C	C	C	C		C4	C	C	C	C		C4	NC	NC	NC	NC
	C5	NC	NC	C	C		C5	C	NC	C	C		C5	C	C	C	C		C5	C	C	C	C
F3	C1	NC	NC	NC	NC	F6	C1	NC	NC	NC	NC	F9	C1	C	C	C	NC						
	C2	NC	NC	NC	NC		C2	NC	NC	NC	NC		C2	C	C	C	C						
	C3	NC	NC	NC	NC		C3	NC	NC	NC	NC		C3	C	C	C	C						
	C4	NC	NC	NC	NC		C4	NC	NC	NC	NC		C4	C	C	C	C						
	C5	C	NC	C	C		C5	NC	NC	NC	NC		C5	C	C	C	C						

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a Tabela 24 e considerar todos os cenários propostos, apenas as amostras F8 e F10 atenderiam aos critérios da CISPR 15 para conformidade. Em continuidade aos ensaios de EMC, todas as amostras foram submetidas aos ensaios de distúrbios radiados na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz, utilizando o método alternativo do CDNE. Nenhuma das amostras foi reprovada nesse ensaio. Com o intuito de demonstrar os diferentes espectros de cada amostra, foi elaborada a Figura 43, a qual apresenta o comportamento do cenário 1 em ambas as tensões.

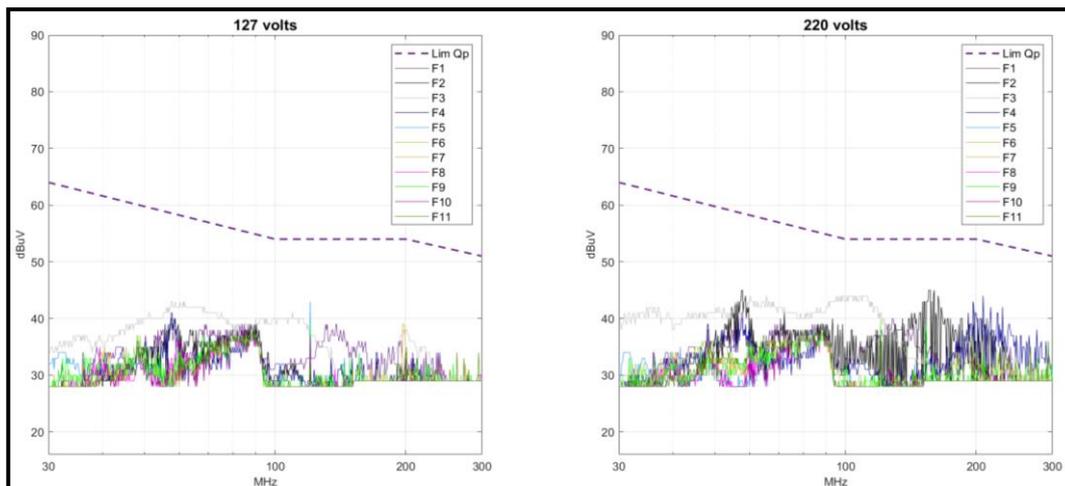


Figura 43 - Cenário 1 em ambas as tensões no CNDE.

Fonte: Autoria própria.

Por fim, realizou-se o ensaio de campo radiado de 9 kHz até 30 MHz utilizando a antena loop. Este ensaio não demonstrou nenhum comportamento que pudesse levar à reprovação da amostra, uma vez que os espectros em 127 volts, em um eixo da antena, apresentavam valores de amplitude consideravelmente baixos, conforme observado na Figura 44.

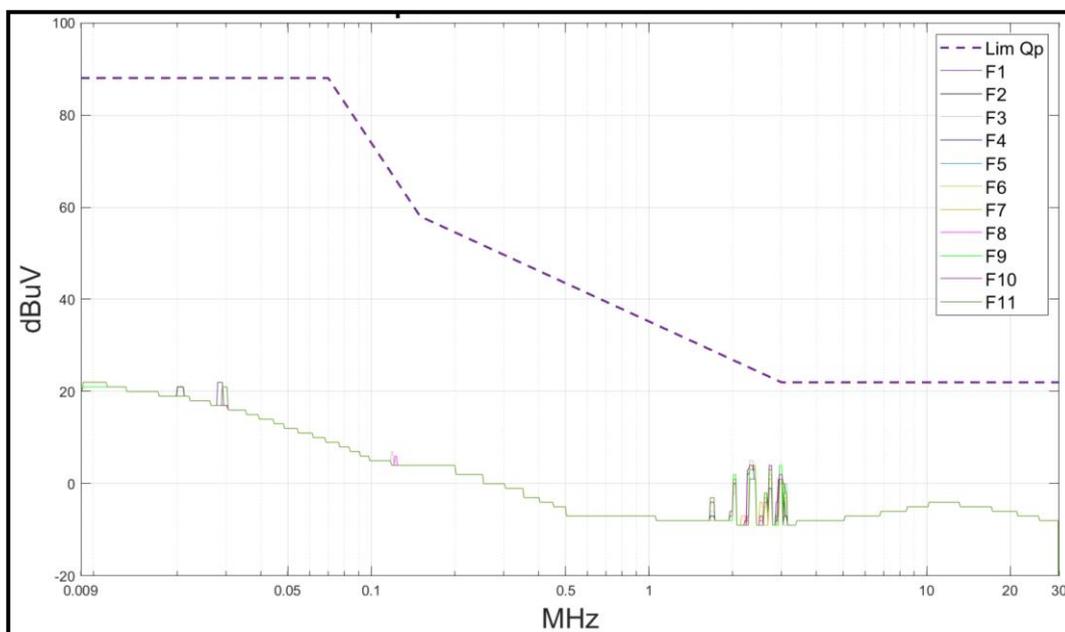


Figura 44 - Espectros da medição da LOOP.

Fonte: Autoria própria.

Analisando os espectros, percebe-se uma semelhança significativa entre o ruído medido e o ruído em condições de vazio registrado (Figura 45). Por essa razão, não foram realizadas medições nos demais eixos e cenários. Os ensaios com a antena *loop* contemplam tais medições, portanto, não é possível afirmar a conformidade. No entanto, ao analisar o primeiro espectro de cada amostra, observa-se a possibilidade de aprovação.

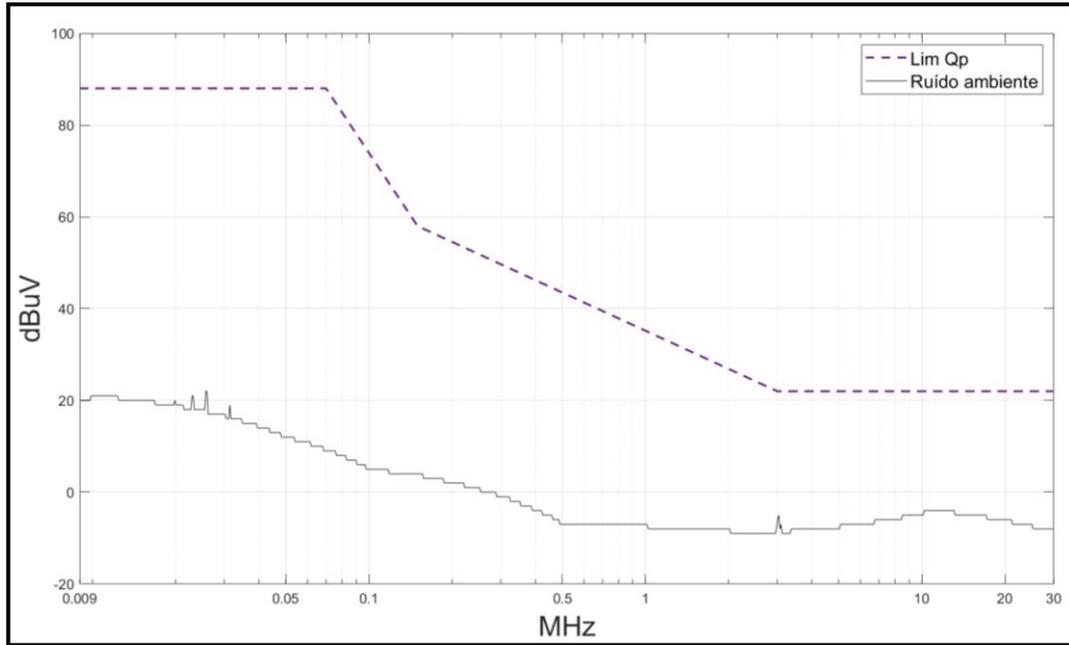


Figura 45 - Ruído ambiente LOOP.
Fonte: Autoria própria.

Capítulo 6 - Conclusão

Este estudo apresenta uma análise detalhada de dados obtidos a partir de experimentos e inspeções de lâmpadas LED inteligentes disponíveis no mercado brasileiro. A análise comparou os dados coletados com as normas pertinentes à certificação de lâmpadas LED convencionais. Devido à possibilidade de variação nos parâmetros das amostras testadas, foram definidos vários cenários para abranger diferentes configurações de uso.

Os resultados deste estudo fornecem um panorama abrangente sobre a qualidade dos produtos comercializados no Brasil em 2023. A confiabilidade dos resultados é garantida pelos ensaios realizados em um laboratório homologado junto ao INMETRO, que já realiza certificações para lâmpadas LED convencionais.

A Tabela 25 resume os pareceres de conformidade por item, conforme descrito na Tabela 1. Algumas avaliações não puderam ser realizadas devido à falta de dados declarados, sendo marcadas como “-”. A Tabela 19 também inclui os pareceres sobre os limites harmônicos apresentados na norma IEC 61000-3-2 [51].

Tabela 25 - Resumo dos pareceres.

Itens \ Amostras	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
3.1.1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.1.2	C	C	NC	C	C	C	NC	NC	NC	C	NC
IEC 61000-3-2	C	C	NC	C	C	C	NC	NC	NC	C	NC
3.1.3	C	C	NC	C	NC	C	C	C	C	C	C
3.1.4	C	C	NC	C	NC	NC	NC	NC	NC	C	-
3.1.5	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.1.6	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.1.7	-	-	-	-	NC	-	C	C	-	-	-
3.1.8	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.1.9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.1.10	-	-	-	C	C	-	-	-	-	-	NC
3.3	NC	NC									
3.2.2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.2.3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3.2.4	NC	C	NC	C	NC						

Fonte: Autoria própria.

Tendo em vista que para obter a certificação é necessária a conformidade de todos os itens da portaria nº 69 [4], nenhuma amostra poderia ser certificada e comercializada. No entanto, o item 3.3 de marcação, que pode ser resolvido com ajustes simples nas impressões

e embalagem, não foi considerado para o parecer final. Assim, apenas uma amostra, a F10, conseguiu atender a todos os requisitos dos ensaios, enquanto as demais não atenderam a mais um critério.

Analisando cada item:

- Nenhuma amostra foi reprovada nos itens 3.1.1, 3.1.5, 3.1.8, 3.1.9, 3.2.2, e 3.2.3.
- Aproximadamente 9% das amostras foram reprovadas nos itens 3.1.6, 3.1.7, e 3.1.10.
- Aproximadamente 18% das amostras foram reprovadas no item 3.1.3.
- Os itens 3.1.2 e os harmônicos segundo a IEC 61000-3-2 tiveram 45% de reprovação.
- O item 3.1.4 teve aproximadamente 55% de reprovação.
- O item 3.2.4 teve aproximadamente 82% de aprovação.
- O item 3.3 teve 100% de reprovação nas amostras inspecionadas

Conclui-se que a falta de obrigatoriedade na certificação dessa tecnologia tem apresentado um impacto negativo na qualidade dos produtos comercializados no mercado brasileiro. Como resultado, as informações contidas nas embalagens podem ludibriar o consumidor, levando à aquisição de produtos que não correspondem ao prometido. Além disso, a certificação assegura a eficiência desejada do LED, promovendo maior sustentabilidade ambiental ao reduzir as emissões de carbono.

Por fim, para padronizar e aumentar a confiança do consumidor nesses produtos, é de suma importância a inclusão de um capítulo na portaria n° 69 ou a criação de uma regulamentação específica para lâmpadas LED inteligentes. Essa medida definiria critérios e metodologias de ensaio para essa tecnologia.

6.1 Trabalhos Futuros

Para futuras pesquisas dentro do mesmo âmbito deste estudo, sugere-se:

- Avaliar também os ensaios destrutivos mencionados na portaria n° 69, visando garantir maior segurança para o consumidor.

- Realizar a avaliação de curvas de dimerização de potência e TCC de cada parâmetro elétrico e fotométrico medido, com o intuito de desenvolver uma metodologia mais precisa para os diferentes cenários.
- Avaliar os LED coloridos presentes nessas lâmpadas.
- Realizar um estudo sobre os impactos dos dispositivos inteligentes quando integrados à rede residencial.
- Considerar a avaliação de outras tecnologias de iluminação inteligente disponíveis no mercado brasileiro, tais como lâmpadas LED com câmera, alto-falante, ventilador e outras

Bibliografia

- [1] BRICS, “IMPORTÂNCIA DA CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS INMETRO.” <https://www.brics-ocp.com.br/importancia-da-certificacao-de-produtos-inmetro/>.
- [2] INMETRO, “PORTARIA INMETRO Nº 422, DE 7 DE OUTUBRO DE 2021 Alter,” vol. 06, no. 21. 2022.
- [3] INMETRO, *Portaria n.º 389, de 25 de agosto de 2014*. 2014, p. 30.
- [4] INMETRO, *Portaria Nº 69 de 22 de fevereiro de 2022*. 2022.
- [5] F. P. Pereira, O. L. Asato, P. J. I. Kaneshiro, and F. Y. Nakamoto, “Proposta de Sistema de Produção de Fraldas Infantis: Recurso Inteligente com ênfase na Indústria 4.0 Sustentável,” *2021 14th IEEE Int. Conf. Ind. Appl. INDUSCON 2021 - Proc.*, pp. 316–323, 2021, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529873.
- [6] J. C. Talwana and H. J. Hua, “Smart World of Internet of Things (IoT) and Its Security Concerns,” *Proc. - 2016 IEEE Int. Conf. Internet Things; IEEE Green Comput. Commun. IEEE Cyber, Phys. Soc. Comput. IEEE Smart Data, iThings-GreenCom-CPSCoM-Smart Data 2016*, pp. 240–245, 2017, doi: 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCoM-SmartData.2016.64.
- [7] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [8] A. L. Monton, “What is the Internet of Things and how does it Work?,” 2021. <https://www.globalsign.com/en-sg/blog/what-internet-things-and-how-does-it-work> (accessed Oct. 28, 2022).
- [9] A. Kevin, “That ’ Internet of Things ’ Thing,” *RFID J.*, p. 4986, 2010, [Online]. Available: <http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That Internet of Things Thing.pdf>.
- [10] S. Wang, Y. Hou, F. Gao, and X. Ji, “A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system,” *2016 IEEE 3rd World Forum Internet Things, WF-IoT 2016*, pp. 639–642, 2017, doi: 10.1109/WF-IoT.2016.7845396.
- [11] O. Ayan and B. Turkay, “IoT-Based energy efficiency in smart homes by smart lighting solutions,” *2020 21st Int. Symp. Electr. Appar. Technol. SIELA 2020 - Proc.*, 2020, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167065.
- [12] IoTWorn, “Biggest Challenges For The Internet of Things (IoT),” 2015. <https://iotworm.com/biggest-challenges-for-the-internet-of-things> (accessed Oct. 30, 2023).
- [13] T. Mladenova and V. Cankov, “Smart Home Based on IoT - Architecture and Practices,” *HORA 2023 - 2023 5th Int. Congr. Human-Computer Interact. Optim. Robot. Appl. Proc.*, pp. 1–5, 2023, doi: 10.1109/HORA58378.2023.10156739.
- [14] N. Balta-Ozkan, B. Boteler, and O. Amerighi, “European smart home market development: Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 3, no. C, pp. 65–77, 2014, doi: 10.1016/j.erss.2014.07.007.

- [15] PropSocial, “The Benefits of a Smart Home System,” 2017. <https://www.propsocial.my/topic/955/the-benefits-of-a-smart-home-system-posted-by-propsocial-editor> (accessed Oct. 31, 2023).
- [16] G. B. Takahashi, “Melhorias na Automação de Smart Lâmpadas com Uso Inteligente da Temperatura de Cor e sua Dimerização Melhorias na Automação de Smart Lâmpadas com Uso Inteligente da Temperatura de Cor e sua Dimerização,” Universidade Federal de São Paulo, 2022.
- [17] G. B. Takahashi and F. Q. Rossi, “Uso Consciente da Dimerização e da Temperatura de Cor na Automação de Lâmpadas Inteligentes,” *Congr. Bras. Automática-CBA*, 2022.
- [18] Illuminating Engineering Society of North America - IESNA, *The IESNA Lighting Handbook*. 2000.
- [19] Ilumina, “ILUMINA: LIGHTING DESIGN,” 2022. <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/especial-publicitario/ilumina/ilumina-lighting-design/noticia/2022/04/14/potencia-x-fluxo-luminoso.ghtml> (accessed Dec. 20, 2023).
- [20] Direct Industry, “Esfera integradora para medição de fluxo luminoso ISP 1000.” <https://www.directindustry.com/pt/prod/konica-minolta-sensing-americas/product-18425-1561032.html> (accessed Dec. 20, 2023).
- [21] luziluminacao, “Tudo Sobre Temperatura de Cor e IRC,” 2022. <https://luziluminacao.com.br/tudo-sobre-temperatura-de-cor-e-irc/> (accessed Dec. 20, 2023).
- [22] T. E. Bolzan, “METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA TEMPERATURA DE COR E FLUXO LUMINOSO DE UM OU MAIS LEDS BASEADA APENAS EM DADOS DO FABRICANTE,” Universidade Federal de Santa Maria, 2020.
- [23] Empório Luz, “A importância da reprodução de cor na iluminação,” 2022. <https://www.emporioluz.com.br/blog/a-importancia-da-reproducao-de-cor-na-iluminacao/> (accessed Jan. 07, 2024).
- [24] P. Daniel and C. Feldman, “As Limitações Deste Importante Aspecto Qualitativo Da,” pp. 67–69.
- [25] C. Celso *et al.*, “Manual Abilux Para O Desenvolvimento De Fichas Técnicas Para Luminárias Led,” 2020.
- [26] D. Luo, L. Wang, S. W. Or, H. Zhang, and R. J. Xie, “Realizing superior white LEDs with both high R9 and luminous efficacy by using dual red phosphors,” *RSC Adv.*, vol. 7, no. 42, pp. 25964–25968, 2017, doi: 10.1039/c7ra04614f.
- [27] M. M. MIYASHIRO, “AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LÂMPADAS LED,” PUC-Campinas, 2016.
- [28] J. Z. MIQUELIN, “ANÁLISE DE DESEMPENHO DE LÂMPADAS LEDs E LFCs COMO ALTERNATIVAS EM ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL EM FUNÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA PORTARIA MINISTERIAL Nº 1007 QUE LIMITA O USO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES NO BRASIL,” Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2011.
- [29] A. A. VALENTIM, “Led Lamps : Impact on Consumption and Power Factor,” vol. 6, pp. 29–33, 2010.

- [30] M. C. D. ANDRADE, “CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA,” 2018. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/fator-de-potencia> (accessed Jan. 25, 2024).
- [31] F. R. Garcia, *Harmônicos em sistemas elétricos de potência*. .
- [32] M. H. Rashid, *Eletrônica de Potência - Dispositivos, circuitos e aplicações*. 2014.
- [33] powercontrol, “O QUE SÃO HARMÔNICOS?” <https://powercontrol.pt/pt/o-que-sao-harmonicos> (accessed Jan. 26, 2024).
- [34] A. N. Rodriguez *et al.*, “ENSAIOS DE CONFORMIDADE EM EQUIPAMENTO ELETROMEDICO AVALIANDO INSPEÇÃO , SEGURANÇA ELÉTRICA E COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA CONFORME NORMAS IEC E CISPR11,” 2013.
- [35] *Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990*. 1990.
- [36] J. C. MIRANDA, “IEC-61850: Interoperabilidade e Intercambialidade entre Equipamentos de Supervisão, Controle e Proteção Através das Redes de Comunicação de Dados,” Universidade de São Paulo, 2009.
- [37] ElectricianExp, “Classificação e tipos de lâmpadas LED,” 2020. <https://need.electricianexp.com/pt/lampochki/svetodiodnye/typy-i-vidy> (accessed Feb. 02, 2024).
- [38] IEC, *ABNT NBR IEC 62560 - Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50 V — Especificações de segurança.pdf*. 2021.
- [39] ABNT, *ABNT NBR IEC 60061-1 : Bases de lâmpadas, porta-lâmpadas, bem como gabaritos para o controle de intercambialidade e segurança - Parte 1: Bases de lâmpadas*. 2002.
- [40] Seomeh, “CALIBRES PARA LÂMPADAS – IEC 60061-3.” <https://someh.com.br/produto/calibres-para-lampadas-iec-60061-3/> (accessed Feb. 03, 2024).
- [41] Hayrton, “A segurança e a intercambialidade das lâmpadas LED com dispositivo de controle,” 2021. <https://qualidadeonline.wordpress.com/2021/11/17/a-seguranca-e-a-intercambialidade-das-lampadas-led-com-dispositivo-de-controle/> (accessed Feb. 02, 2024).
- [42] INMETRO, “RELATÓRIO DA ANÁLISE EM FERROS DE PASSAR ROUPA Programa.” pp. 1–16, 2009.
- [43] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility Second Edition*. 2006.
- [44] H. W. Ott, *Electromagnetic Comatibility Engineering*. 2009.
- [45] ABNT, “ABNT NBR IEC/CISPR 15:2019,” *Abnt*. 2019.
- [46] K. R. Cardoso, “Análise de interferência eletromagnética conduzida provocada por inversor de sistema fotovoltaico operando com baixa geração,” 2020.
- [47] L. M. Silva, A. C. T. de Carvalho, J. F. Araujo, M. Z. Fortes, L. B. Oliveira, and J. O. Silva, “Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies,” *J. Electromagn. Waves Appl.*, vol. 33, no. 2, pp. 249–259, 2019, doi: 10.1080/09205071.2018.1537135.

- [48] J. F. Araujo, “Avaliação Da Influência Das Interferências Eletromagnéticas (Emi) Produzidas Por Lâmpadas Led: Uma Análise Multicritério,” Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.
- [49] S. Uddin, H. Shareef, and A. Mohamed, “Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 46, no. 10, pp. 3783–3795, 2013, doi: 10.1016/j.measurement.2013.07.022.
- [50] Y. Wang *et al.*, “Conducted-emission modeling for a switched-mode power supply (SMPS),” *2015 IEEE Symp. Electromagn. Compat. Signal Integrity, EMCSI 2015*, pp. 314–319, 2015, doi: 10.1109/EMCSI.2015.7107706.
- [51] IEC, “IEC 61000-3-2.” 2020.
- [52] IEC, “IEC 62301 - Household electrical appliances – Measurement of standby power,” 2011, vol. 19, no. May, pp. 1–43.
- [53] E. E. Dikel, Y. E. Li, M. Vuotari, and S. Mancini, “Evaluating the standby power consumption of smart LED bulbs,” *Energy Build.*, vol. 186, pp. 71–79, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.01.019.
- [54] ENERGY STAR, “Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires Eligibility - Version 1.2.” pp. 1–23.
- [55] Illuminating Engineering Society, “ANSI/IES LM-79-19 : Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-state Light Products,” *Technical Memorandum*. 2019.
- [56] IEC, “IEC CISPR 16-2-1,” 2014.

Apêndice A – Gráficos dos ensaios de EMC

A.1 Medições das tensões de perturbação em terminais de alimentação.

Da Figura 46 a Figura 55 estão apresentados os gráficos das medições das tensões de perturbação em terminais de alimentação das amostras, elas estão agrupadas da mesma forma feita na Figura 39.

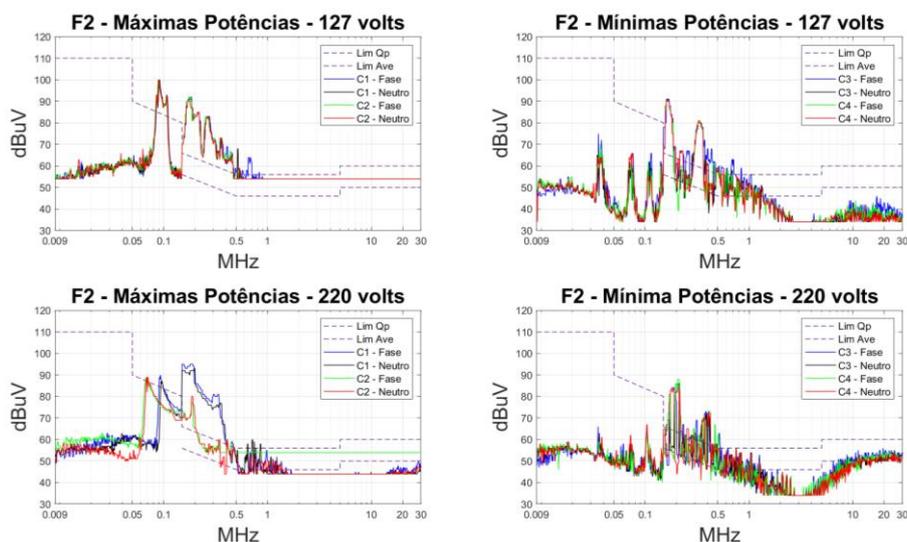


Figura 46 - Espectros semelhantes da amostra F2.

Fonte: Autoria própria.

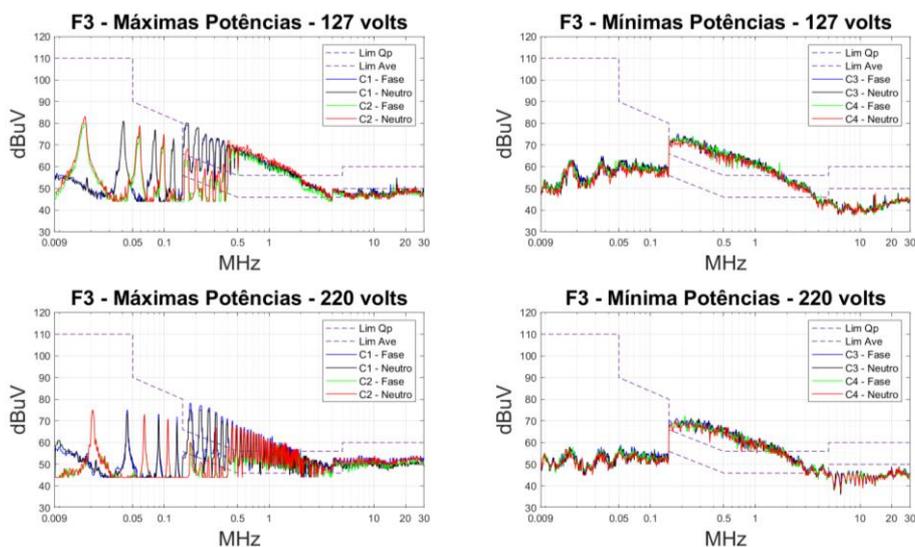


Figura 47 - Espectros semelhantes da amostra F3.

Fonte: Autoria própria.

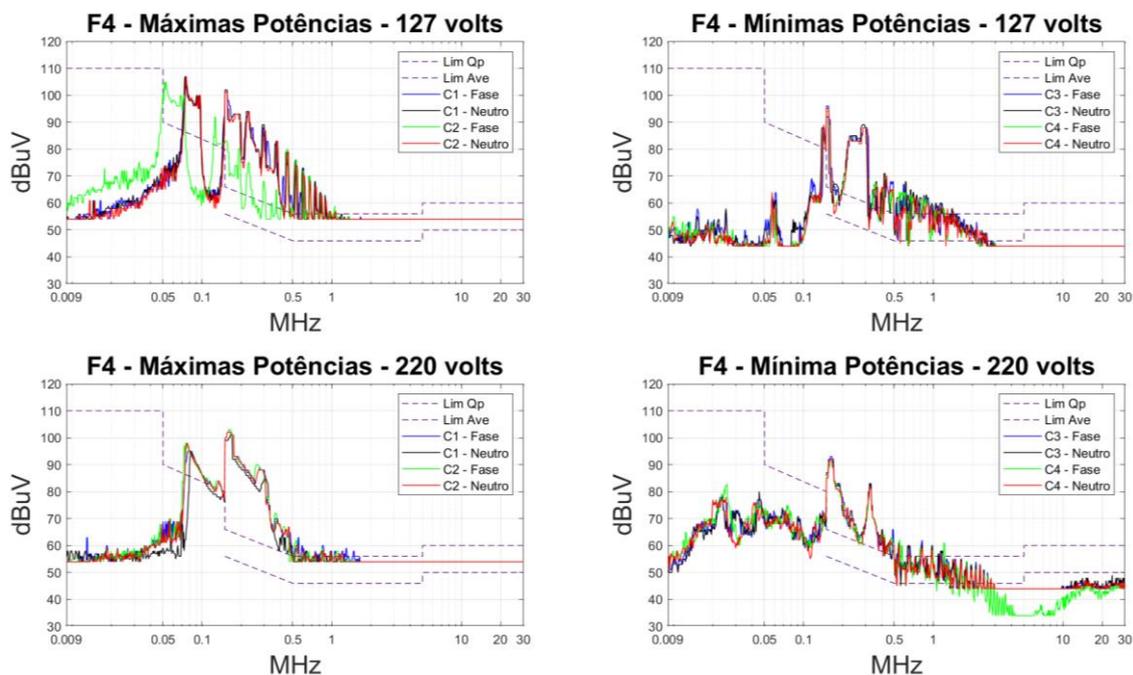


Figura 48 - Espectros semelhantes da amostra F4.
Fonte: Autoria própria.

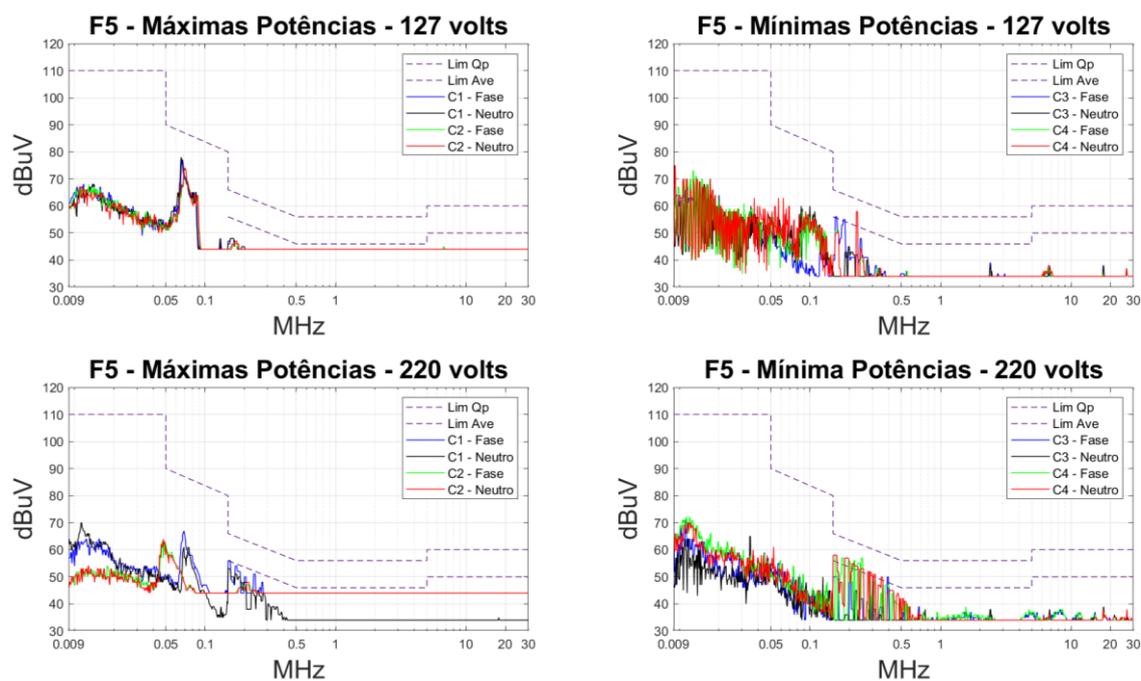


Figura 49 - Espectros semelhantes da amostra F5.
Fonte: Autoria própria.

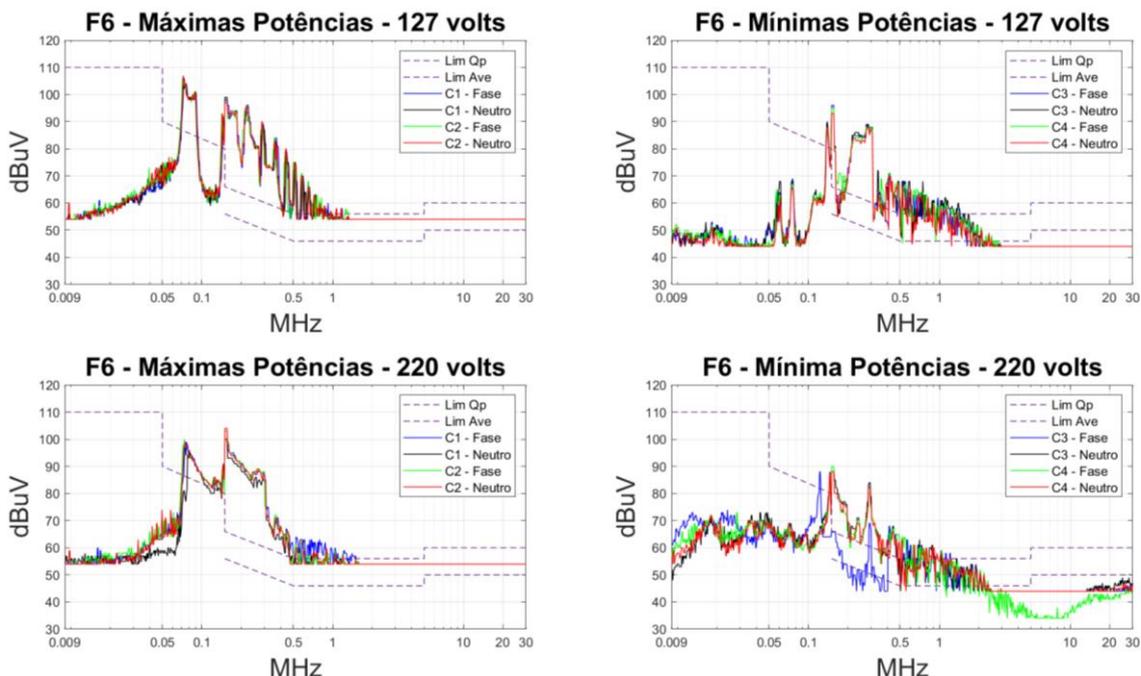


Figura 50 - Espectros semelhantes da amostra F6.
Fonte: Autoria própria.

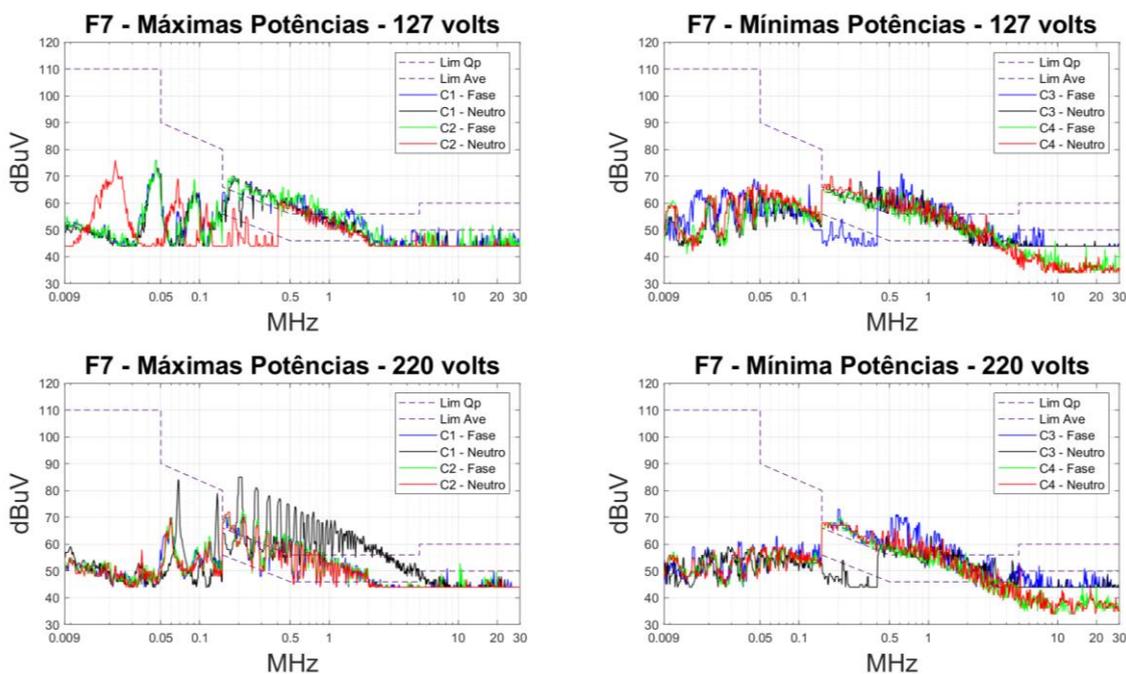


Figura 51 - Espectros semelhantes da amostra F7.
Fonte: Autoria própria.

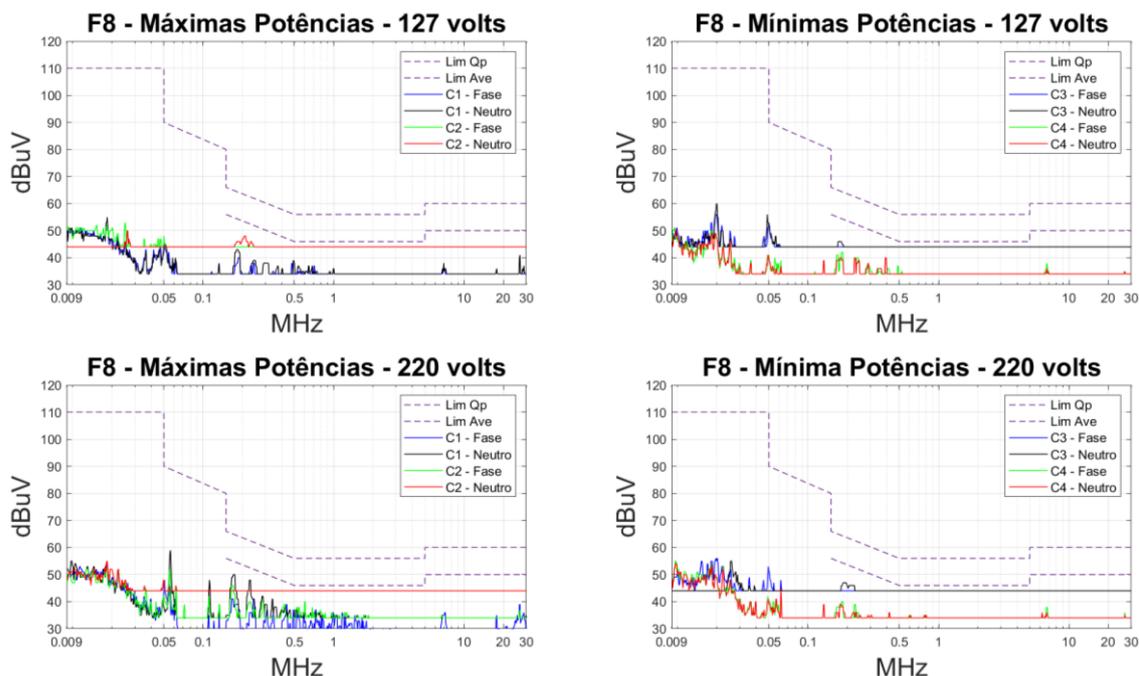


Figura 52 - Espectros semelhantes da amostra F8.

Fonte: Autoria própria.

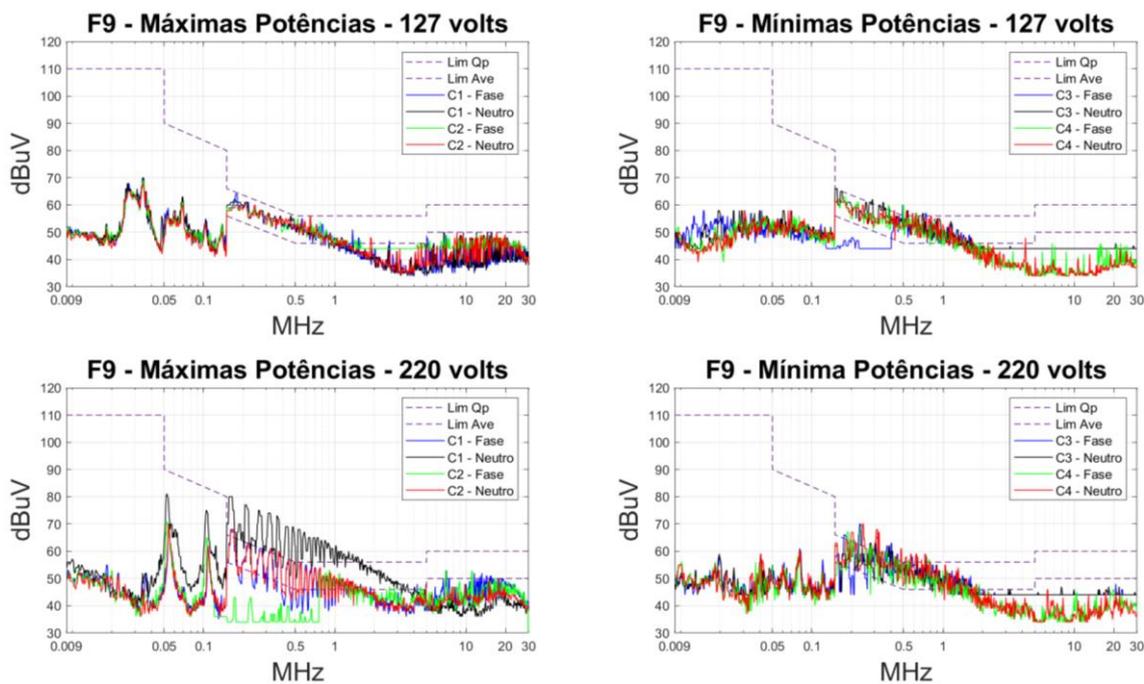


Figura 53 - Espectros semelhantes da amostra F9.

Fonte: Autoria própria.

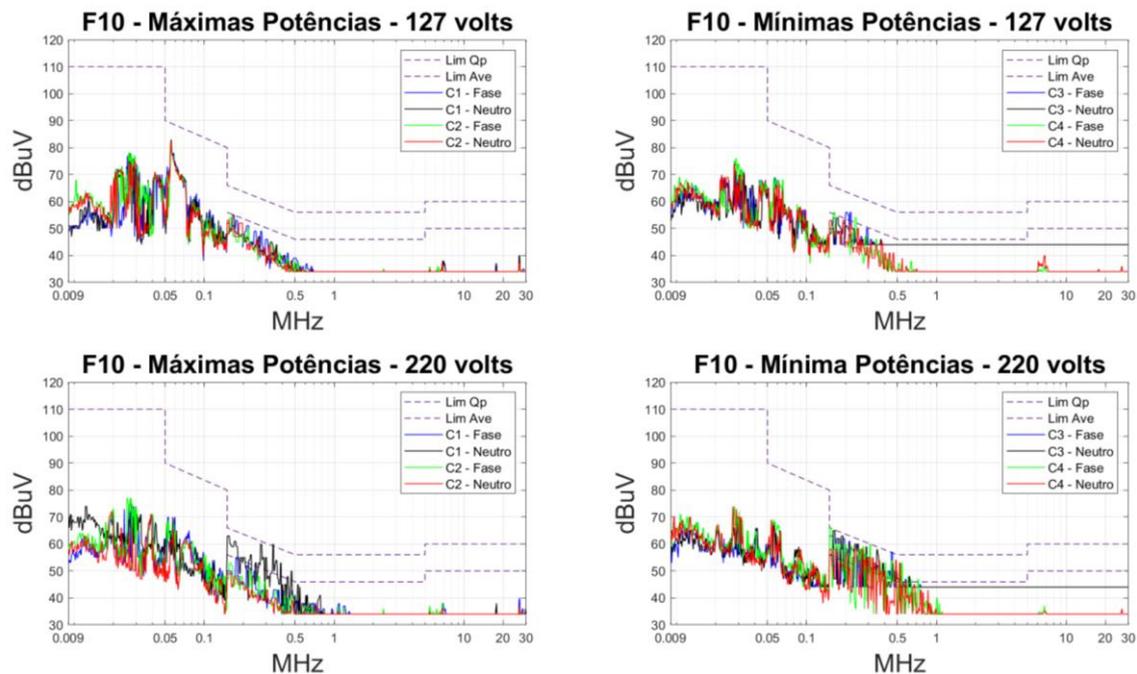


Figura 54 -- Espectros semelhantes da amostra F10.
Fonte: Autoria própria.

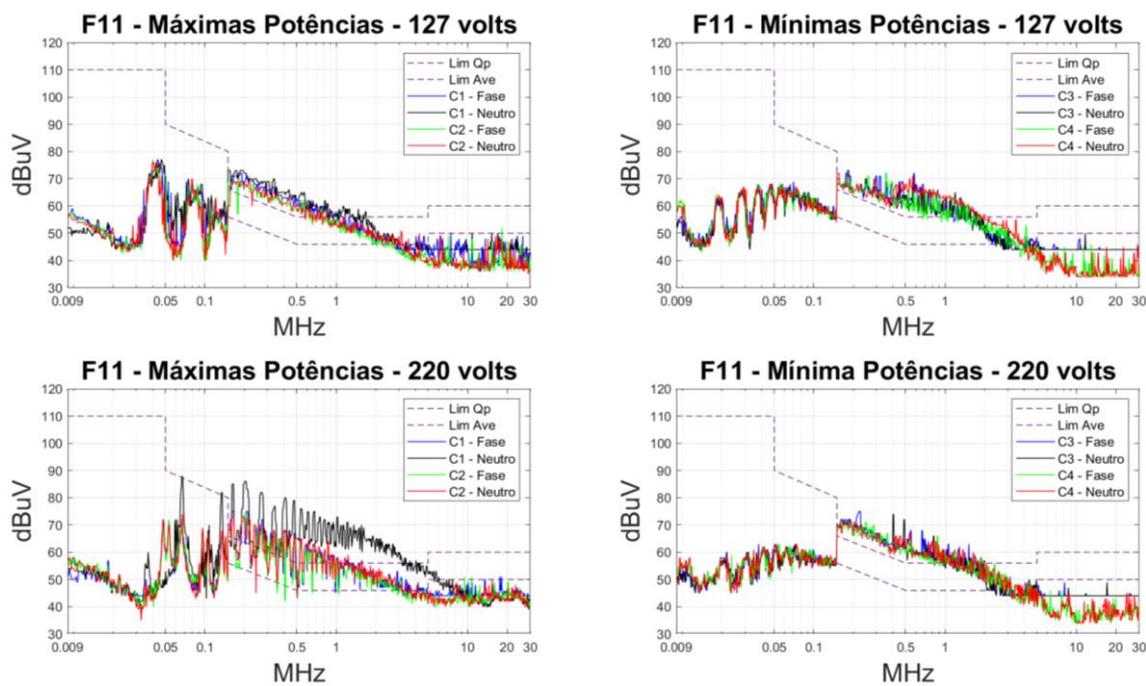


Figura 55 - Espectros semelhantes da amostra F11.
Fonte: Autoria própria.

A.2 Medições dos distúrbios radiado pelo método do CDNE.

Da Figura 56 a Figura 66 estão apresentados os gráficos das medições das perturbações radiadas na frequência de 30 MHz até 300 MHz das amostras. Cada figura apresenta as medições nos cinco cenários propostos e em ambas tensões de cada amostra.

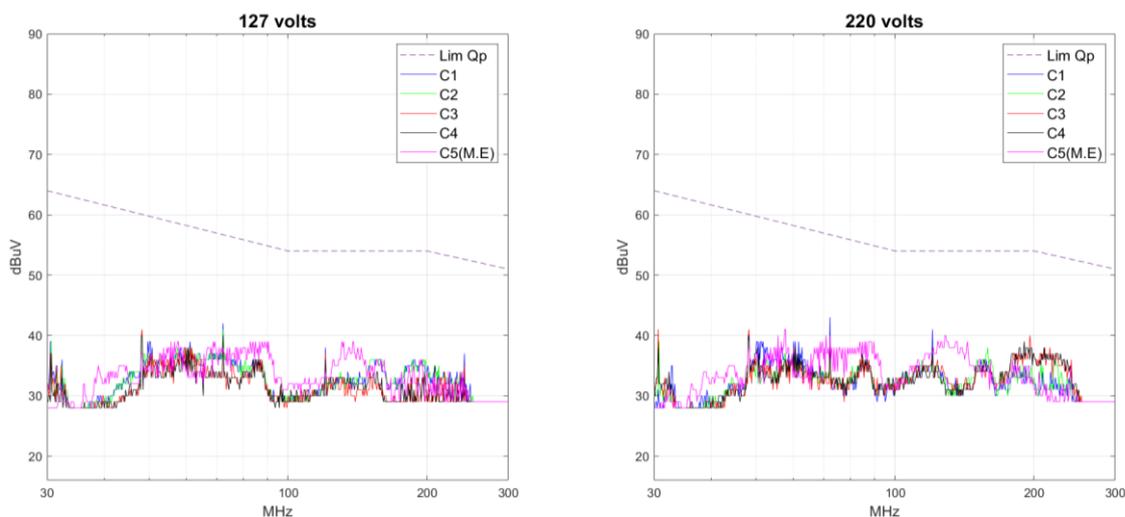


Figura 56 - Todas as medições de CDNE da amostra F1.
Fonte: Autoria própria.

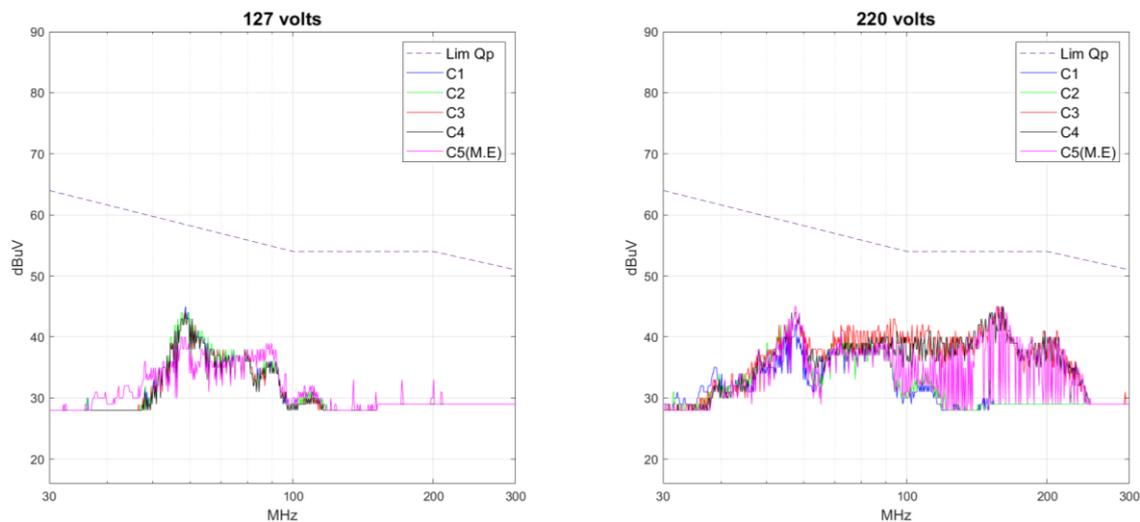


Figura 57 - Todas as medições de CDNE da amostra F2.
Fonte: Autoria própria

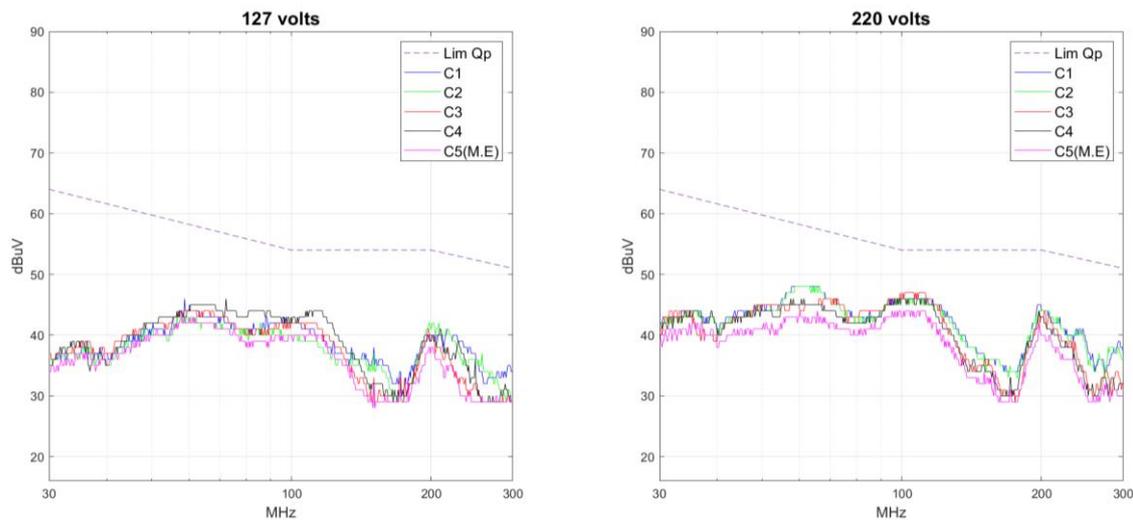


Figura 58 - Todas as medições de CDNE da amostra F3.
Fonte: Autoria própria

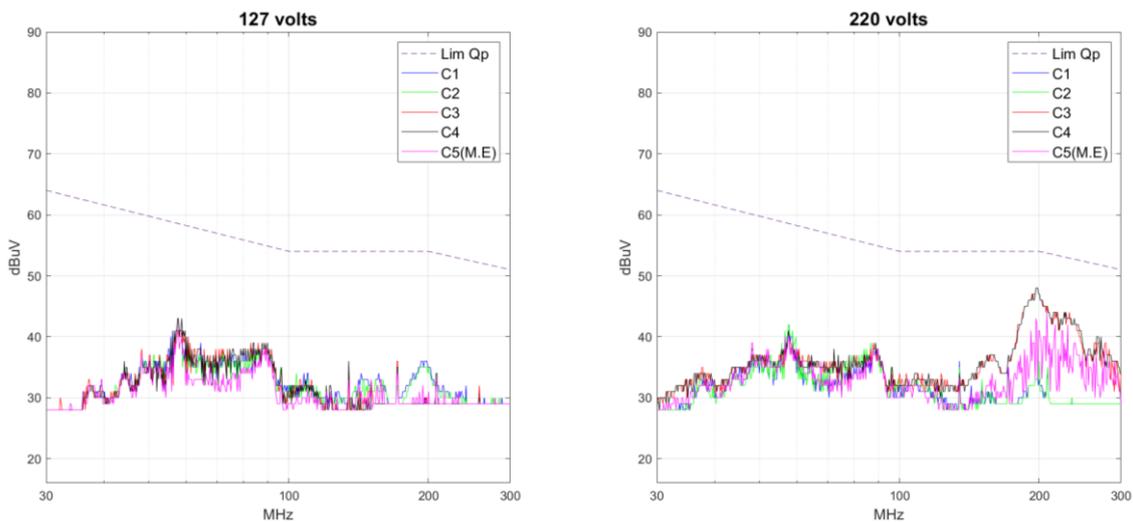


Figura 59 - Todas as medições de CDNE da amostra F4.
Fonte: Autoria própria

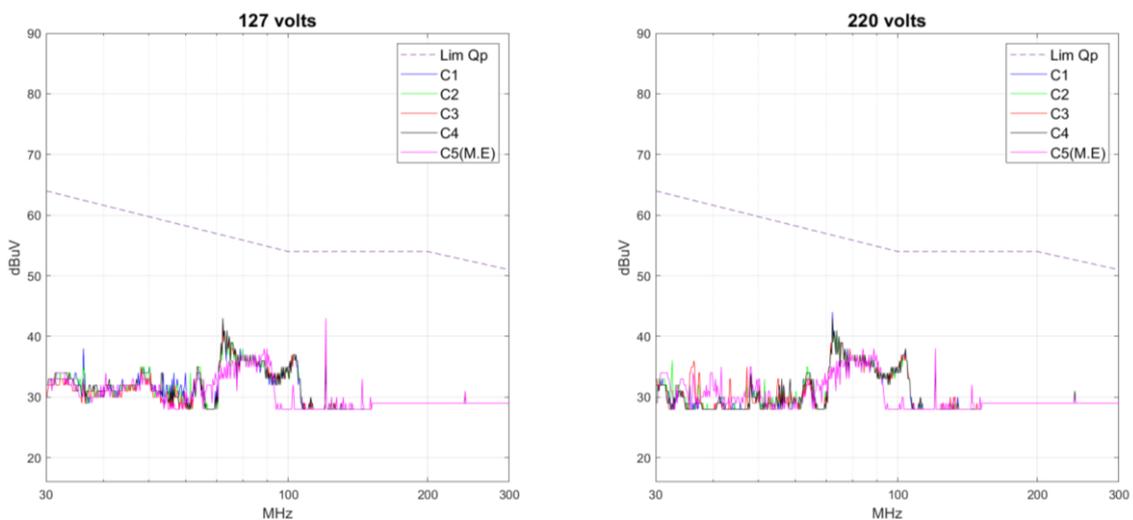


Figura 60 - Todas as medições de CDNE da amostra F5.
Fonte: Autoria própria

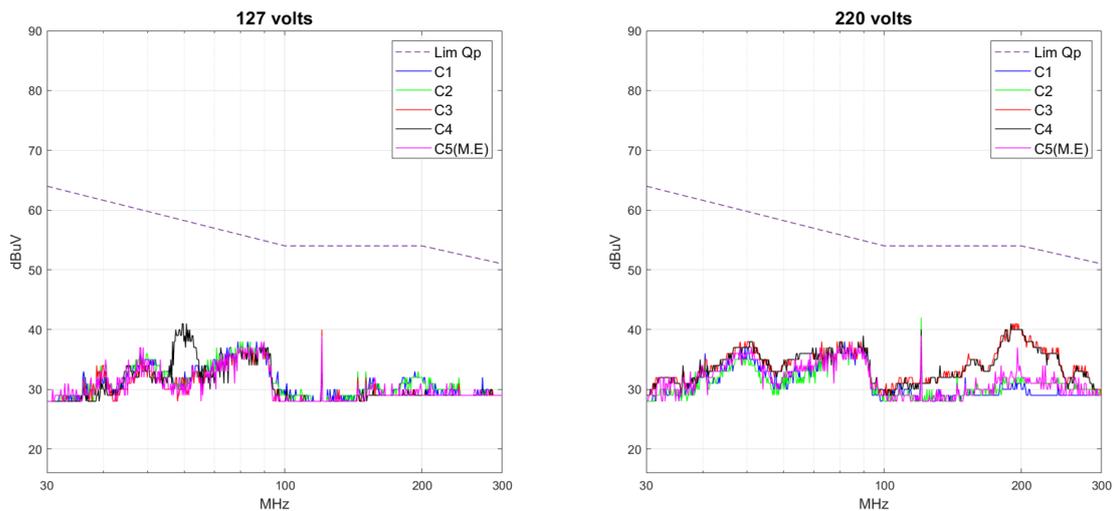


Figura 61 - Todas as medições de CDNE da amostra F6.
Fonte: Autoria própria

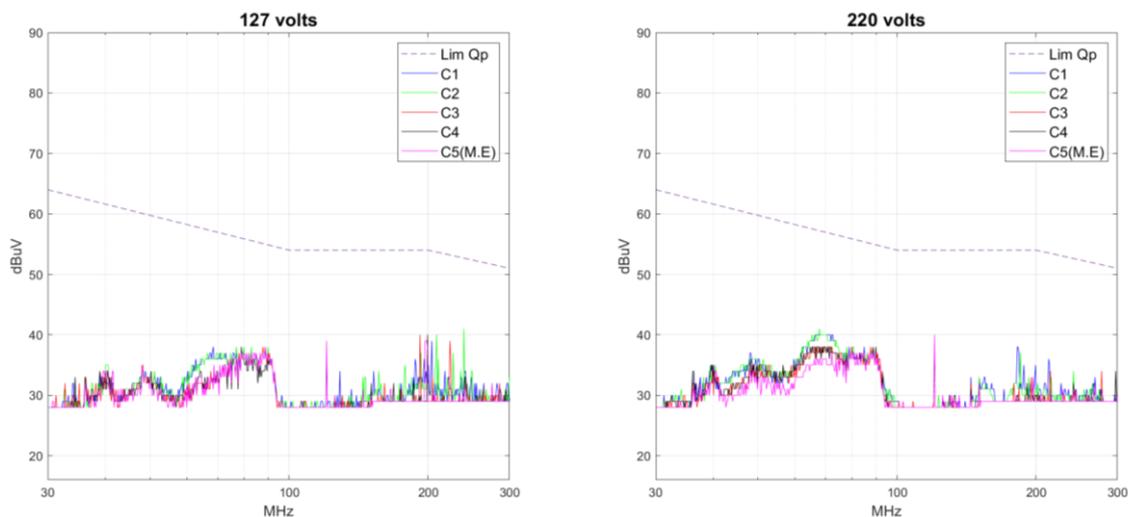


Figura 62 - Todas as medições de CDNE da amostra F7.
Fonte: Autoria própria

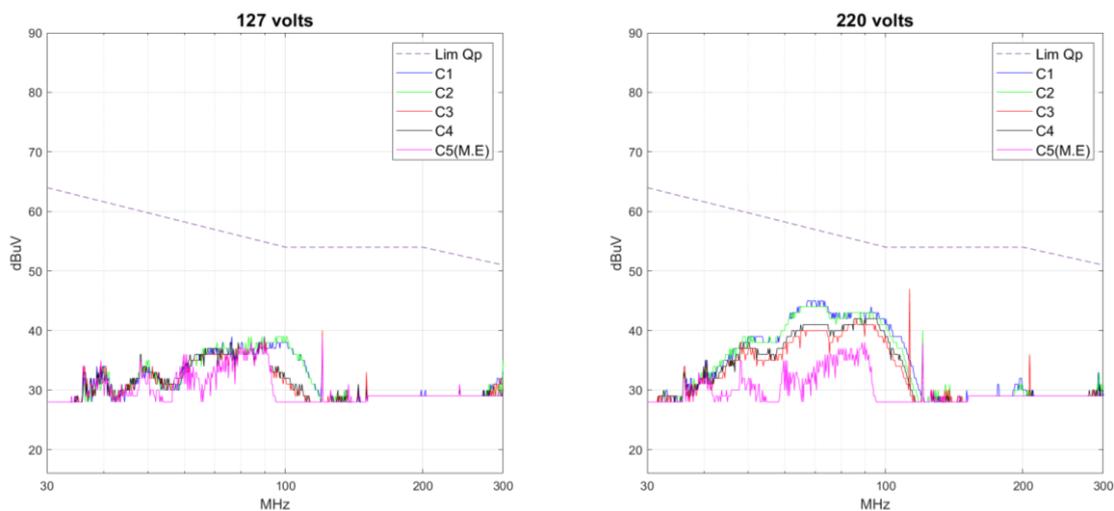


Figura 63 - Todas as medições de CDNE da amostra F8.
Fonte: Autoria própria

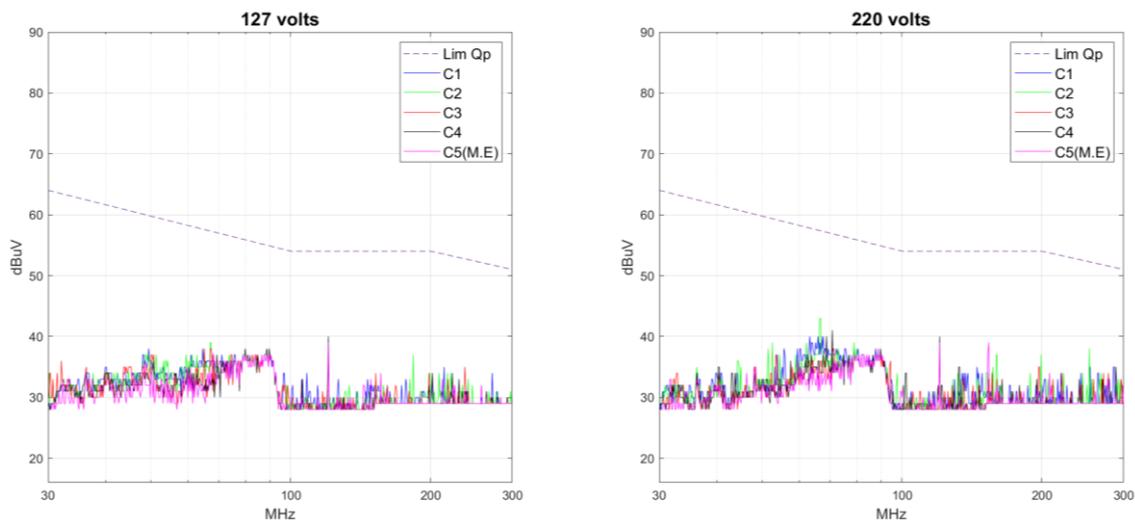


Figura 64 - Todas as medições de CDNE da amostra F9.
Fonte: Autoria própria

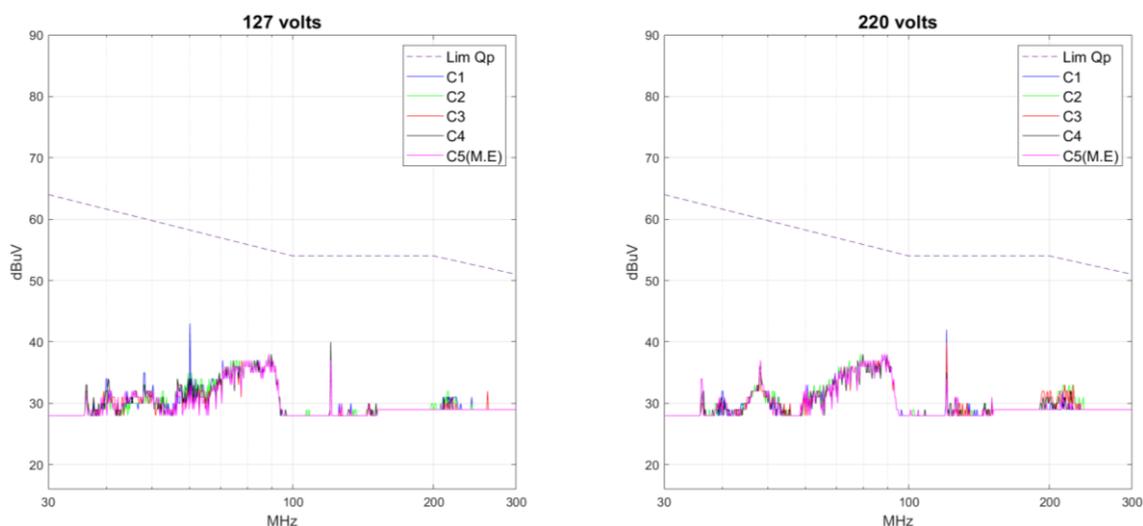


Figura 65 - Todas as medições de CDNE da amostra F10.
Fonte: Autoria própria

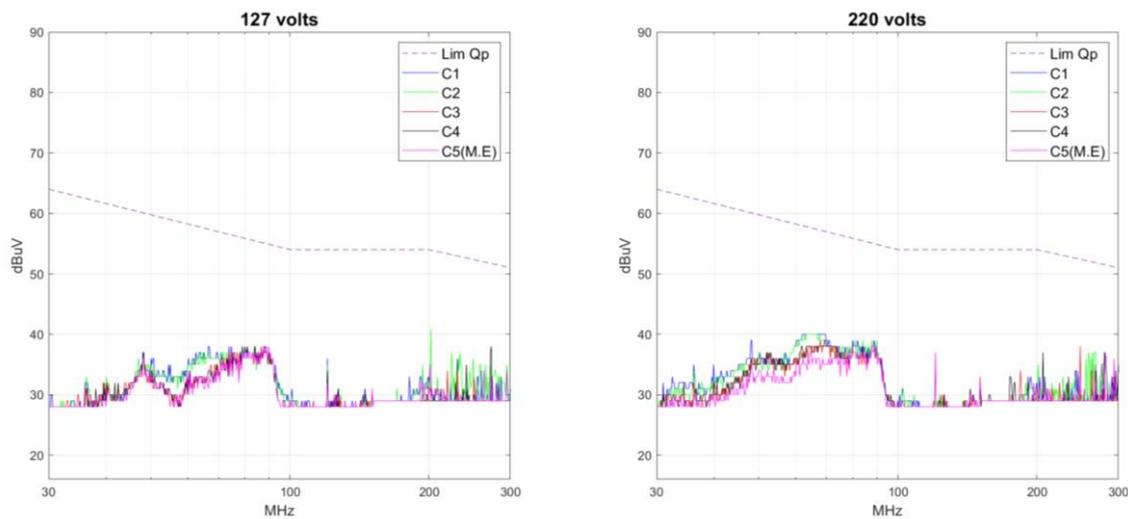


Figura 66 - Todas as medições de CDNE da amostra F11.
Fonte: Autoria própria

Apêndice B – Resultados harmônicos

B.1 Resultado das demais ordens harmônicas.

Na tabela x e tabela x será mostrado as demais medições feitas nas lâmpadas inteligentes.

Tabela 26 - Resultados harmônicos - 13° até 25° ordem

A.	C.	13ª ordem (%)		15ª ordem (%)		17ª ordem (%)		19ª ordem (%)		21ª ordem (%)		23ª ordem (%)		25ª ordem (%)	
		127 V	220 V												
F1	C1	1.40	3.82	2.66	4.12	1.71	5.05	1.34	2.60	1.21	3.50	1.30	2.84	1.17	2.44
	C2	0.86	3.30	2.35	3.73	1.52	3.93	1.70	2.05	1.28	4.16	1.21	2.71	1.07	1.57
	C3	7.06	18.41	4.45	10.09	6.81	9.47	9.75	15.50	4.08	16.16	5.35	12.22	3.67	7.74
	C4	8.02	19.19	3.45	11.63	5.26	7.93	9.79	13.30	4.08	14.91	4.82	11.88	5.35	5.65
	SW	4.22	8.99	2.94	5.59	4.31	8.54	2.30	10.23	2.64	5.13	2.56	3.89	1.75	5.44
F2	C1	2.10	3.28	3.13	2.25	1.50	5.07	1.72	3.06	2.65	1.31	1.16	3.07	1.22	1.95
	C2	1.61	4.32	2.67	2.49	2.39	4.62	2.44	4.59	1.69	1.51	1.81	3.54	2.09	2.39
	C3	9.33	4.32	6.96	5.03	0.99	4.18	4.54	6.96	4.94	6.49	3.85	3.02	4.32	4.91
	C4	8.24	5.03	5.53	7.51	2.86	11.26	7.22	12.32	3.54	13.64	3.25	14.13	2.85	16.96
	SW	2.52	7.86	1.50	10.30	4.66	4.86	3.38	6.44	1.84	4.36	1.77	1.65	2.09	4.78
F3	C1	23.79	48.85	22.65	39.49	20.00	32.63	17.38	28.41	16.20	26.07	15.58	25.13	14.45	24.03
	C2	22.25	49.41	21.44	40.40	18.75	33.80	15.32	29.68	13.09	27.22	11.85	25.71	10.99	24.20
	C3	53.18	79.89	43.33	74.47	34.28	69.10	27.46	63.49	21.96	57.90	18.10	52.86	16.08	46.97
	C4	52.96	78.73	42.33	72.84	32.79	66.96	25.13	61.06	19.71	54.85	15.31	48.92	13.85	43.03
	SW	25.92	63.78	22.94	55.32	22.74	47.16	21.69	39.87	19.73	33.65	16.84	28.68	14.19	24.90
F4	C1	2.33	5.37	3.02	5.75	3.06	2.99	2.64	4.13	1.65	4.60	1.76	4.09	3.03	3.82
	C2	2.47	2.65	3.33	4.61	2.94	2.64	2.37	3.75	2.04	2.40	1.48	1.71	2.71	0.82
	C3	13.25	17.94	10.53	11.61	11.53	8.39	8.69	8.65	6.64	12.36	6.73	7.89	4.65	5.94
	C4	12.94	15.99	9.52	13.34	10.08	9.51	8.23	6.93	6.77	11.75	6.98	8.45	5.51	6.83
	SW	3.95	6.42	2.09	4.01	2.33	5.98	2.36	3.51	3.09	6.13	2.79	3.89	1.74	3.48
F5	C1	1.41	3.77	1.76	3.46	2.26	3.96	0.70	1.37	0.65	3.83	0.95	3.04	1.22	0.75
	C2	2.04	4.23	1.81	3.55	2.62	4.91	1.43	2.41	0.44	4.79	0.47	3.85	1.53	1.92
	C3	18.57	13.24	10.48	14.04	9.46	15.97	8.44	14.85	3.85	11.92	3.48	9.87	7.15	10.08
	C4	18.91	16.15	10.10	14.63	9.18	11.83	7.08	11.60	3.14	11.25	3.01	9.45	7.22	6.58
	SW	6.04	10.11	4.17	2.82	3.62	8.10	0.96	5.80	2.61	3.20	3.09	6.44	1.17	3.13
F6	C1	1.69	4.67	2.08	4.83	1.64	5.59	1.23	1.75	2.21	3.13	1.15	1.85	1.20	2.23
	C2	0.96	7.03	1.58	4.98	2.10	4.59	1.49	1.25	1.94	2.40	1.27	2.41	1.15	2.41
	C3	8.85	16.82	7.34	14.70	8.31	6.63	4.93	8.20	4.89	12.57	5.33	8.21	3.54	4.22
	C4	11.08	13.74	8.73	13.63	8.93	7.36	6.60	4.42	5.44	9.57	5.77	8.76	4.73	5.07
	SW	4.57	6.69	5.00	8.69	2.91	5.64	2.89	2.37	4.33	3.41	2.35	3.94	2.01	3.30
F7	C1	20.32	44.66	19.25	33.99	16.26	25.62	12.92	20.07	10.86	17.43	9.81	16.41	8.64	15.46
	C2	20.12	44.74	19.12	34.17	16.29	25.88	12.62	20.40	10.52	17.90	9.54	16.71	8.51	15.69
	C3	57.51	77.84	47.42	71.26	38.29	65.15	30.39	59.06	22.91	52.15	17.61	45.34	14.61	39.38
	C4	59.26	77.42	49.82	71.22	40.19	64.75	32.53	58.41	24.57	51.50	18.42	45.08	14.18	38.99
	SW	25.36	61.69	20.44	52.30	18.92	42.90	17.89	34.37	15.88	26.92	13.24	20.53	10.57	16.26
F8	C1	15.44	25.07	10.80	17.62	9.07	15.37	8.47	15.02	6.81	14.02	5.68	11.57	5.30	8.98
	C2	15.22	25.14	10.80	17.65	9.24	15.83	8.49	15.50	6.71	14.38	5.59	11.97	5.30	8.85
	C3	53.00	70.07	41.63	62.90	30.89	54.63	22.82	46.01	16.39	38.86	11.68	30.64	9.85	23.49
	C4	52.75	69.84	41.83	62.21	31.67	54.87	23.62	46.77	16.64	37.84	12.89	30.07	11.78	23.02
	SW	17.92	45.43	17.04	34.08	15.74	24.53	12.61	17.39	9.50	13.62	7.36	11.99	6.69	11.59
F9	C1	16.59	45.29	16.13	34.05	14.19	24.64	10.87	17.79	7.91	14.11	6.77	12.70	6.48	12.29
	C2	17.80	46.11	16.99	34.78	15.11	25.12	11.69	17.98	8.66	13.87	7.44	12.35	7.04	11.94
	C3	62.91	77.30	53.76	70.29	44.20	63.92	34.79	58.11	26.65	50.91	19.66	44.56	13.90	38.47
	C4	62.55	76.62	53.68	70.75	44.70	63.06	35.44	56.04	27.29	49.63	20.38	43.07	13.99	36.29
	SW	32.66	64.47	22.32	55.20	16.06	46.12	13.77	37.34	13.44	29.31	12.60	22.12	10.76	16.49
F10	C1	1.56	2.79	0.90	3.00	0.72	3.40	0.46	0.75	0.56	2.44	0.79	1.27	0.29	1.35
	C2	1.81	3.32	1.13	2.43	0.68	3.44	0.68	1.11	0.79	2.28	0.48	1.20	0.31	1.34
	C3	7.61	33.08	4.39	15.09	2.41	11.59	5.03	16.53	4.22	18.70	1.17	16.31	3.58	11.27
	C4	8.74	33.03	5.02	17.56	2.22	7.67	4.81	12.81	4.68	16.66	1.69	16.43	3.56	13.34
	SW	2.03	7.26	1.25	2.05	2.00	5.69	2.12	3.95	0.49	2.68	1.23	3.73	0.98	2.39
F11	C1	18.72	38.94	16.22	28.36	12.05	20.58	9.48	16.32	8.64	14.57	7.86	13.86	6.50	12.66
	C2	18.79	38.94	16.18	28.22	11.96	20.36	9.40	16.34	8.72	14.87	7.98	14.57	6.52	13.46
	C3	51.57	73.45	40.82	66.32	30.87	58.96	23.17	51.40	17.72	44.05	14.08	37.03	12.43	30.31
	C4	50.56	75.87	40.52	68.44	30.27	61.18	22.95	53.55	16.69	46.33	13.77	38.86	11.82	31.86
	SW	21.92	55.76	17.50	45.64	16.55	35.56	15.29	26.74	12.97	19.62	10.20	14.78	8.22	12.19

Fonte: Autoria própria.

Tabela 27 - Resultados harmônicos - 17° até 39° ordem

A.	C.	17ª ordem (%)		29ª ordem (%)		31ª ordem (%)		33ª ordem (%)		35ª ordem (%)		37ª ordem (%)		39ª ordem (%)	
		127 V	220 V												
F1	C1	1.14	3.04	1.51	1.90	1.22	1.80	0.61	1.87	1.34	1.47	0.84	2.12	0.84	1.92
	C2	0.77	2.74	1.09	1.58	0.76	1.79	0.93	1.68	1.28	1.52	0.72	2.10	0.99	1.47
	C3	2.77	7.82	2.02	9.75	4.29	8.63	3.04	6.66	4.35	5.90	3.98	6.62	2.89	6.29
	C4	2.79	6.30	2.40	8.87	4.14	9.73	2.88	8.14	4.96	4.41	3.85	5.03	1.41	6.25
	SW	1.43	3.06	1.58	3.50	2.00	4.64	1.80	3.12	1.31	3.43	1.35	4.54	1.63	3.71
F2	C1	1.77	1.92	2.36	1.13	2.91	2.00	1.88	2.48	1.83	2.04	1.89	1.13	1.50	1.28
	C2	1.95	2.50	0.90	2.11	0.97	2.87	2.05	1.98	2.66	2.55	1.24	2.59	1.77	2.72
	C3	5.33	5.60	2.86	3.13	2.47	2.92	1.58	3.36	1.47	3.17	1.17	4.64	1.90	5.77
	C4	2.16	14.03	1.80	9.05	4.38	7.18	3.35	7.75	2.87	8.98	3.61	7.79	4.15	10.97
	SW	2.42	3.91	2.50	3.23	2.15	4.14	2.29	4.49	1.28	1.61	2.13	1.95	0.77	3.02
F3	C1	12.74	22.23	10.93	19.96	9.32	17.38	7.89	14.36	6.30	11.53	5.07	9.37	4.32	7.93
	C2	9.66	22.36	8.30	19.83	7.09	17.32	6.08	14.66	4.92	12.18	4.08	10.05	3.49	8.66
	C3	13.93	41.70	12.97	35.64	11.67	30.77	9.79	26.12	7.45	21.33	5.75	16.71	4.45	13.19
	C4	12.83	37.46	11.68	32.62	10.52	26.96	9.33	22.64	7.72	18.55	6.01	15.22	4.80	11.93
	SW	12.26	22.21	10.95	19.91	9.55	17.57	7.97	15.91	6.53	13.36	4.98	11.32	4.20	9.08
F4	C1	1.92	3.08	2.61	1.27	1.95	2.43	2.09	2.91	1.86	1.46	2.18	1.61	1.79	1.81
	C2	1.32	2.31	2.68	2.39	1.77	2.48	1.63	3.16	1.51	2.17	2.71	2.45	1.85	1.91
	C3	4.42	8.92	5.29	5.50	5.05	4.42	6.04	3.96	5.17	1.84	3.31	3.06	3.43	4.08
	C4	5.23	9.85	5.58	7.98	4.33	4.00	4.36	4.34	4.11	2.99	3.28	5.11	3.40	5.59
	SW	2.45	5.84	1.74	4.97	2.78	4.08	2.89	3.32	1.42	1.70	2.24	3.03	1.55	2.42
F5	C1	1.34	3.19	0.23	1.70	0.52	1.53	0.70	1.70	0.58	0.41	0.36	1.27	0.35	1.10
	C2	1.19	2.61	0.35	1.79	0.89	1.26	0.78	2.13	0.55	0.71	0.24	1.23	0.33	1.10
	C3	3.25	8.27	2.12	6.94	2.96	5.59	2.41	4.98	2.91	6.07	3.81	4.33	1.69	2.62
	C4	3.29	4.76	2.39	4.53	2.46	4.42	3.00	3.31	1.05	2.60	3.47	3.58	1.67	2.35
	SW	1.64	2.45	1.48	4.99	0.19	1.92	1.92	1.06	1.29	2.09	0.47	0.79	1.65	2.99
F6	C1	0.96	2.69	0.81	2.30	0.65	2.80	1.46	2.33	1.24	2.54	1.11	2.27	1.64	1.66
	C2	0.69	3.30	0.44	2.90	0.48	1.91	0.88	1.95	1.10	2.07	0.76	2.15	1.24	3.92
	C3	4.59	6.90	4.32	4.25	2.08	3.13	3.37	3.77	2.33	4.20	2.34	2.98	2.72	2.74
	C4	5.10	6.23	4.31	7.17	4.00	2.71	3.47	5.79	1.37	5.97	1.98	5.67	2.85	2.94
	SW	1.02	4.54	2.24	3.06	2.25	2.77	2.56	3.38	2.06	2.26	2.98	2.45	2.66	2.82
F7	C1	7.01	14.13	5.77	12.30	5.16	10.08	4.69	8.06	4.03	6.50	3.17	5.71	2.78	5.38
	C2	6.92	14.57	5.67	12.57	5.28	10.40	4.87	8.49	4.17	6.76	3.21	5.80	2.41	5.27
	C3	12.49	32.27	11.74	26.54	10.77	21.14	9.35	17.11	8.32	13.92	6.88	9.86	5.89	8.29
	C4	10.94	32.86	9.88	26.99	9.20	21.92	8.63	17.75	8.10	13.17	7.63	9.70	6.26	7.15
	SW	8.93	13.29	8.06	11.89	7.39	10.74	6.58	9.95	5.44	9.23	4.25	7.89	3.31	6.85
F8	C1	4.36	6.71	3.46	5.58	3.28	5.48	3.07	5.07	2.31	4.27	1.99	3.02	2.03	2.41
	C2	4.51	6.51	3.57	5.87	3.27	5.75	2.95	5.74	2.27	4.85	1.92	3.74	1.89	2.61
	C3	9.97	18.20	10.05	12.68	9.21	8.96	8.56	6.71	7.38	7.31	5.48	7.16	3.95	7.88
	C4	9.91	17.14	9.53	11.22	8.67	8.26	7.30	5.48	5.86	4.77	5.82	5.39	3.80	5.72
	SW	6.41	11.19	5.36	9.89	4.09	8.22	3.38	5.86	3.05	4.31	3.00	3.89	2.58	4.01
F9	C1	5.54	11.58	4.12	10.36	3.24	8.63	3.23	6.70	3.23	4.93	2.80	4.01	2.04	3.87
	C2	6.10	11.39	4.63	10.02	3.50	8.31	3.33	6.30	3.23	4.62	2.83	3.78	2.14	3.35
	C3	9.50	32.64	7.57	26.83	6.91	20.97	7.11	17.12	7.54	13.18	6.92	9.60	6.69	6.74
	C4	9.48	29.49	6.56	24.23	5.68	18.44	5.09	13.31	6.14	9.71	6.36	7.01	6.45	4.38
	SW	8.59	11.78	6.71	9.10	5.11	8.07	4.57	8.08	4.33	8.08	3.84	8.26	3.14	7.74
F10	C1	0.77	1.59	0.37	0.37	0.32	1.65	0.54	0.58	0.30	0.63	0.32	1.18	0.28	0.37
	C2	0.90	1.69	0.31	0.92	0.39	1.67	0.60	1.02	0.51	0.99	0.28	1.24	0.48	0.80
	C3	4.35	10.26	1.97	9.44	2.46	10.06	3.97	8.60	1.80	7.10	1.87	5.63	3.51	6.80
	C4	3.91	10.71	1.91	9.18	2.26	9.08	3.46	8.10	1.89	6.49	1.38	7.13	2.29	7.40
	SW	0.65	2.75	0.59	2.18	0.84	1.83	1.10	2.60	0.42	2.22	0.61	1.10	1.05	2.56
F11	C1	5.35	11.11	4.84	9.36	4.40	7.67	3.65	6.53	2.93	5.95	2.68	5.76	2.49	5.20
	C2	5.54	11.89	5.38	9.74	4.97	7.76	3.85	6.41	2.93	5.84	2.72	5.56	2.75	5.29
	C3	11.62	23.95	10.50	18.50	9.08	13.98	7.52	10.29	5.65	7.68	4.72	6.58	4.06	6.64
	C4	11.14	24.93	10.45	18.45	8.81	12.99	7.20	9.06	5.59	5.86	4.54	5.27	3.36	6.83
	SW	7.26	10.96	6.69	10.52	5.71	10.54	4.82	9.07	3.86	7.86	3.72	6.63	3.77	5.15

Fonte: Autoria própria.

Anexo A – Portaria n° 69/2022

A.1– Tabela de fluxo de equivalência.

ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 69/2022

ANEXO A – TABELAS DE FLUXO LUMINOSO PARA EQUIVALÊNCIA DE POTÊNCIA

Tabela 1. Fluxo luminoso para equivalência de potência

Tipo de lâmpada	Potência de Equivalência P_{eq}	Potência de Equivalência P_{eq}	Faixa de fluxo luminoso a ser atingida com a lâmpada de LED (lm)
	(Lâmpada incandescente)	(Lâmpada Fluorescente Compacta)	
	(W)	(W)	
Direcionais	< 40	Não aplicável	$P_{eq} \times 10$
	40 - 50	Não aplicável	$P_{eq} \times 10,5$
	51 - 66	Não aplicável	$P_{eq} \times 11,0$
	67 - 85	Não aplicável	$P_{eq} \times 12,5$
	86 - 115	Não aplicável	$P_{eq} \times 14,0$
	116 - 155	Não aplicável	$P_{eq} \times 14,5$
Omnidirecionais (Não-direcionais) e Semidirecionais	156 - 205	Não aplicável	$P_{eq} \times 15,0$
	20	5	159 – 212
	25	7	213 – 301
	30	9	302 – 479
	35	10	480 – 559
	40	13	560 – 640
	50	15	641 – 802
	60	16	803 – 946
	70	17	947 – 1 017
	75	20	1.018 – 1.115
	80	23	1.116 – 1.310
	90	26	1.311 – 1.506
	100	29	1.507 – 1.671
	110	31	1.672 – 1.835
	120	33	1.836 – 2.000
	125	34	2.001 – 2.082
130	37	2.083 – 2.163	
140	40	2.164 – 2.328	
150	41	2.329 – 2.517	
Decorativas (exceção do tipo G)	10	2	70 – 89
	15	3	90 – 149
	25	7	150 – 299
	40	12	300 – 499
	60	15	500 – 699
Decorativas tipo G	25	8	250 – 349
	40	12	350 – 499
	60	14	500 – 574
	75	15	575 – 649
	100	24	650 – 1.099
	150	28	1.100 – 1.300

Tabela 2 - Fluxo luminoso para equivalência de potência em lâmpada de LED tubular

	Comprimento nominal da lâmpada (mm)	Tipo de Base	Faixa de fluxo luminoso a ser atingida com a lâmpada de LED (lm)
Lâmpada de LED tubular	550	G5	900
	1.150	G5	1.850
	600	G13	900
	1.200	G13	1.850
	2.400	G13	3.800

A.2 – Modelos de Lâmpadas.

ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 69/2022

ANEXO B - MODELOS DE LÂMPADAS

1. Modelos Direcionais

Os modelos direcionais de lâmpadas a seguir são apresentados na Figura 1:

- R: Refletor (**Reflector**)
- BR: Refletor expandido (**Bulged Reflector**)
- ER: Refletor Elipsoidal (**Elipsoidal Reflector**)
- MR: Refletor Multifacetado (**Multifaceted reflector**)
- PAR: Refletor Parabólico (**Parabolic Aluminium Reflector**)

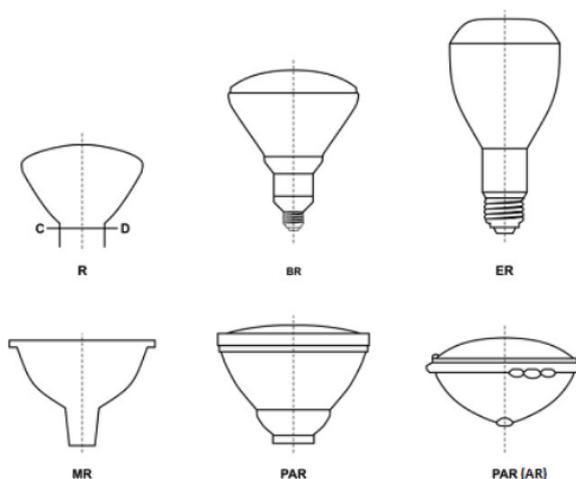


Figura 1 – Modelos Direcionais de Lâmpadas

2. Modelos Omnidirecionais (não-direcionais)

Os modelos omnidirecionais de lâmpadas a seguir são apresentados na Figura 1:

- A: Bulbo incandescente padrão (**Arbitrary**)
- BT: Bulbo expandido (**Blown Tubular**)
- P: Pera (**Pear**)
- PS: Pe6.1.1.4.2.5.ra longa (**Pear Straight**)
- S: Lados retos (**Straight sided**)
- T: Tubular

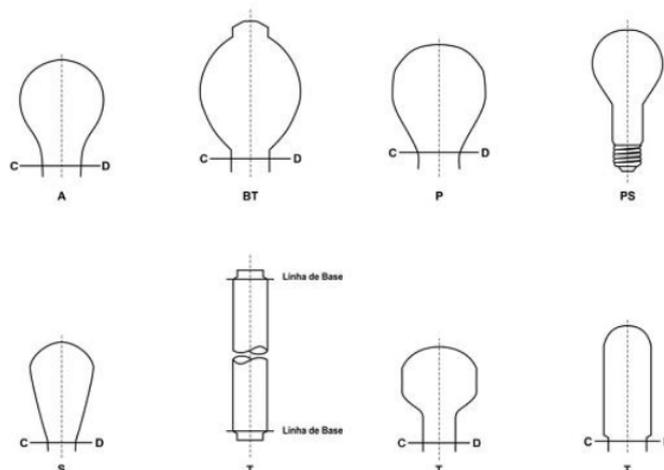


Figura 2 – Modelos Omnidirecionais (Não-direcionais) de Lâmpadas.

3. Modelos Decorativos

Os modelos decorativos de lâmpadas a seguir são apresentados na Figura 3:

- B: Ovóide (**Bulged**)
- BA: Ovóide com ponta angular (**Bulged angular**)
- CA: Vela com ponta angular (**Candle angular**)
- C: Vela (**Candle**)
- DC
- F: Tocha (**Flambeau**)
- G: Globo (**Globe**)

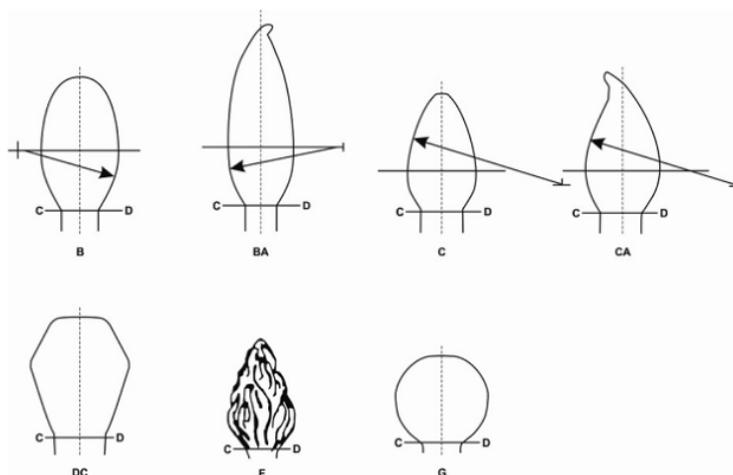


Figura 3 – Modelos decorativos de Lâmpadas.