

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Danilo Toledo Kitamura

Análise Construtiva e Eletroeletrônica de Lâmpadas e Luminárias LED para Interiores

Juiz de Fora

2021

Danilo Toledo Kitamura

Análise Construtiva e Eletroeletrônica de Lâmpadas e Luminárias LED para Interiores

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Antônio Carvalho Braga

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Kitamura, Danilo Toledo.

Análise Construtiva e Eletroeletrônica de Lâmpadas e Luminárias LED para Interiores / Danilo Toledo Kitamura. -- 2021.

90 p. : il.

Orientador: Henrique Antônio Carvalho Braga

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. LED. 2. Modelos Comerciais. 3. Lâmpada e Luminária. 4. Módulo Óptico. 5. Driver. I. Braga, Henrique Antônio Carvalho, orient. II. Título.

Danilo Toledo Kitamura

Análise Construtiva e Eletroeletrônica de Lâmpadas e Luminárias LED para Interiores

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em

BANCA EXAMINADORA

Prof. Henrique Antônio Carvalho Braga, D.Sc.
(Orientador – Universidade Federal de Juiz de Fora)

Prof. Fabrício Pablo Virgínio de Campos, D.Sc.
(Universidade Federal de Juiz de Fora)

Prof. Marlon Lucas Gomes Salmento, D.Sc.
(Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais)

Dedico este trabalho aos meus pais Sérgio e Ilda, ao meu irmão Daniel, à minha namorada Clarissa e a todos os amigos que sempre me incentivaram e deram força para concluir esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me guiado nesta jornada tão árdua, por ter me ajudado a superar todas as dificuldades encontradas ao longo de toda trajetória, e por ter me dado forças nos momentos em que mais precisei.

Aos meus pais, por todo o incentivo, pelos conselhos, pelo suporte, pela educação de qualidade que me proporcionaram, e por tudo que fizeram e continuam fazendo por mim.

Ao meu irmão Daniel, pelos conselhos, pelo incentivo, e por estar sempre muito presente em todos os momentos.

À minha namorada Clarissa, por sempre me incentivar, principalmente nos momentos mais difíceis, por todo o amor e companheirismo dedicados, e por me sempre me apoiar independentemente das circunstâncias.

Ao amigo Guilherme por estar sempre muito presente, pela amizade e camaradagem incontestáveis, pelo incentivo e apoio, pelas dicas, e pelos momentos, fossem eles bons ou ruins.

Ao amigo Mayk por estar sempre muito presente, por todo o incentivo, pela camaradagem, e pelo apoio.

Ao Professor Henrique A. C. Braga pela oportunidade, pela grande ajuda no desenvolvimento deste trabalho, por dar todo o suporte necessário, por fornecer sempre as mais valiosas dicas, e por todo o conhecimento compartilhado.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação como engenheiro, por todo o conhecimento compartilhado, e por toda a dedicação à profissão.

Aos amigos de longa data, Fernando, Lincoln, Renata, Yuri, Mirella, Arthur por toda a amizade e companheirismo, pelos momentos de descontração, e por todo o apoio.

À Universidade Federal de Juiz de Fora pela formação de qualidade, e por todo o suporte fornecido.

Ao colégio Santa Catarina por ser de fundamental importância em minha formação, tanto pessoal quanto intelectual.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“De fato, não fracassei ao tentar, cerca de 10.000 vezes, desenvolver um acumulador. Simplesmente, encontrei 10.000 maneiras que não funcionam.” Thomas Edison

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso se propõe à análise de modelos comerciais de lâmpadas e luminárias que empregam diodos emissores de luz (LEDs, do inglês light emitting diodes) para iluminação de interiores, disponíveis no comércio local na presente data, no intuito de posteriormente avaliá-las e compará-las. A análise proposta envolve a avaliação da qualidade de construção geral do produto (acomodação mecânica, embalagem e conexões principais), determinação da exatidão das informações rotuladas ou fornecidas nos sites dos fabricantes, identificação do diagrama geral do sistema eletrônico de interface com a rede de energia e identificação da organização e disposição dos LEDs do módulo óptico. Medições elétricas e análise volumétrica são realizadas, empregando-se instrumentos acessíveis e de baixo custo. As avaliações irão contemplar também a análise de possíveis intervenções nos projetos originais dos fabricantes, intervenções essas que visam a implementação de novas funcionalidades aos produtos. Algumas possibilidades seriam a inserção de módulos de comunicação por luz visível, VLC (do inglês, visible lighting communication), subsistemas de variação de intensidade luminosa (dimerização), módulos de iluminação recreativa (ritmo estroboscópico ou associado com música ambiente), entre outros. O trabalho desenvolvido também tem como objetivo, por meio da desmontagem mecânica e elétrica dos itens adquiridos, fornecer subsídios que poderão contribuir no desenvolvimento de futuros projetos técnico-científicos, tendo em vista a dificuldade de se encontrar informações detalhadas, acessíveis e comparativas sobre os principais métodos de fabricação adotados pela indústria. É importante salientar que devido às circunstâncias presentes no momento de confecção deste trabalho, em função da condição de emergência sanitária em todo o globo, ocasionada pela pandemia da COVID-19, encontrou-se uma significativa dificuldade ao acesso de equipamentos laboratoriais especializados (esfera integradora, termômetros e termovisores, osciloscópios digitais, wattímetros, multímetros de precisão e outros), fato que limitou a obtenção de dados e resultados mais avançados associados ao estudo.

Palavras-chave: LED. Lâmpada. Luminária. Tensão. Modelos Comerciais. Módulo Óptico. Driver.

ABSTRACT

This undergraduate dissertation proposes the analysis of commercial models of light bulbs and luminaires that use light emitting diodes (LEDs, from English light emitting diodes) for interior lighting, available in local stores on the present date, in order to subsequently evaluate and compare them. The proposed analysis involves evaluating the overall construction quality of the product (mechanical accommodation, packaging and main connections), determining the accuracy of the information labeled or provided on the manufacturers' websites, identifying the general diagram of the electronic system of interface with the power network and identification of the organization and arrangement of the LEDs of the optical module. Electrical measurements and volumetric analysis are performed, using affordable and low-cost instruments. The evaluations will also survey the possible interventions in the original designs of the manufacturers aiming at the implementation of new functionalities to the products. Some possibilities would be the insertion of visible light communication modules, VLC (visible lighting communication), dimming subsystems, recreational lighting modules (strobe lights linked to ambient music, seasons, hour of the day, or weather), among others. The work developed also aims, through the mechanical and electrical disassembly of the items acquired, to provide subsidies that may contribute to the development of future technical-scientific projects, in view of the difficulty of finding detailed, accessible and comparative information on the main manufacturing methods adopted by the industry. It is important to note that due to the circumstances present at the time of making this work, due to the health emergency condition across the globe, caused by the COVID-19 pandemic, there was a significant difficulty in accessing specialized laboratory equipment (integrating sphere, thermometers and thermal imagers, digital oscilloscopes, watt meters, precision multimeters and others), a fact that limited the achievement of more advanced data and results associated with the study.

Keywords: Solid-state Lighting (SSL); LED; Light bulb; Luminaire; Lamp Models; Optical Module; SSL Driver.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1.1	–	Lamparina à óleo fabricada na Alemanha.....	19
Figura 1.1.2	–	Primeira lâmpada elétrica apresentada ao público por Thomas Edison em 1879.....	20
Figura 1.1.3	–	Seccionamento de uma lâmpada fluorescente compacta (CFL).....	21
Figura 1.1.4	–	Obtenção do LED de cor branca por meio do processo de incorporação de fósforo.....	22
Figura 1.1.5	–	Seccionamento de uma lâmpada bulbo LED.....	23
Figura 2.1.1	–	Exemplo de passagem de corrente elétrica em um diodo delimitado pelas junções p e n	25
Figura 2.1.2	–	Efeito de eletroluminescência em LEDs, que ocorre quando há uma recombinação entre elétrons e lacunas, causando a emissão de fótons.....	26
Figura 2.1.3	–	Espectro de ondas eletromagnéticas.....	27
Figura 2.2.1	–	Diferentes tipos de LED.....	28
Figura 2.2.2	–	DIP LED e seus terminais.....	28
Figura 2.2.3	–	SMD LED.....	29
Figura 2.2.4	–	COB LED.....	29
Figura 3.1	–	Exemplo de modelo comercial de lâmpada LED tubular (T8).....	31
Figura 3.2	–	Exemplo de modelo comercial de luminária LED quadrada de embutir.....	32
Figura 3.3	–	Exemplo de modelo comercial de luminária LED quadrada de sobrepor.....	32
Figura 3.4	–	Exemplo de modelo comercial de lâmpada bulbo LED.....	32
Figura 4.1.1	–	Conjunto básico da lâmpada, constituído por corpo (parte de alumínio), difusor (estrutura de plástico de aspecto translúcido), módulo óptico (conjunto de LEDs), driver (no interior da estrutura de alumínio), e conectores (nas extremidades).....	35
Figura 4.1.2	–	Visão do interior da lâmpada, com enfoque na fita de LEDs fixada ao corpo de alumínio.....	36
Figura 4.1.3	–	Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da lâmpada.....	36
Figura 4.1.4	–	Especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.....	37
Figura 4.1.5	–	Especificações técnicas encontradas no selo da lâmpada.....	37
Figura 4.1.6	–	Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.....	38

Figura 4.1.7	– Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.....	39
Figura 4.1.8	– Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.....	39
Figura 4.1.9	– Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.....	39
Figura 4.1.10	– Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.....	40
Figura 4.1.11	– Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da lâmpada.....	41
Figura 4.2.1	– Conjunto básico da luminária, constituído por corpo estrutura de alumínio revestida de tinta branca), difusor (constituídos por 3 camadas), módulo óptico (conjunto de LEDs em fita), , e conector (presente no centro da luminária, com ponta metálica).....	42
Figura 4.2.2	– Visão do interior da luminária, com enfoque conjunto de LEDs em fita, colados ao corpo de alumínio.....	43
Figura 4.2.3	– Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da luminária.....	43
Figura 4.2.4	– Especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.....	44
Figura 4.2.5	– Demais especificações encontradas na embalagem da luminária.....	45
Figura 4.2.6	– Especificações técnicas encontradas no selo da luminária.....	45
Figura 4.2.7	– Especificações técnicas presentes no driver da luminária.....	45
Figura 4.2.8	– Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.....	46
Figura 4.2.9	– Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.....	47
Figura 4.2.10	– Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.....	47
Figura 4.2.11	– Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.....	47
Figura 4.2.12	– Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.....	48
Figura 4.2.13	– Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da luminária.....	49
Figura 4.3.1	– Conjunto básico da luminária, constituído por corpo (parte de alumínio revestida de tinta na cor branca), difusor (composto por 3 camadas), módulo óptico (fita de LEDs fixada na estrutura interna), e conector (localizado na extremidade inferior direita, com ponta metálica).....	51
Figura 4.3.2	– Visão do interior da luminária, com enfoque no conjunto de LEDs fixados na estrutura de alumínio.....	51
Figura 4.3.3	– Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da luminária.....	52
Figura 4.3.4	– Especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.....	53

Figura 4.3.5	– Demais especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.....	53
Figura 4.3.6	– Especificações técnicas encontradas no selo da luminária.....	53
Figura 4.3.7	– Especificações técnicas encontradas no driver da luminária.....	54
Figura 4.3.8	– Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.....	54
Figura 4.3.9	– Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.....	55
Figura 4.3.10	– Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.....	55
Figura 4.3.11	– Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.....	55
Figura 4.3.12	– Método empregada para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.....	57
Figura 4.3.13	– Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da luminária.....	58
Figura 4.4.1	– Conjunto básico da lâmpada, constituído por corpo (parte plástica revestida internamente por material metálico, e com soquete presente em sua extremidade), difusor (estrutura plástica de aspecto translúcido), módulo óptico (conjunto de LEDs ao redor da estrutura circular metálica), driver (no interior da estrutura de alumínio), e pino metálico (na extremidade).....	59
Figura 4.4.2	– Visão do interior da lâmpada, com enfoque no conjunto de LEDs soldados a estrutura circular de alumínio.....	59
Figura 4.4.3	– Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da lâmpada.....	60
Figura 4.4.4	– Especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.....	61
Figura 4.4.5	– Demais especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.....	61
Figura 4.4.6	– Especificações técnicas encontradas no selo da lâmpada.....;	61
Figura 4.4.7	– Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.....	62
Figura 4.4.8	– Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.....	63
Figura 4.4.9	– Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.....	63
Figura 4.4.10	– Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.....	64
Figura 4.4.11	– Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.....	65
Figura 4.4.12	– Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da lâmpada.....	66
Figura 5.1.1	– Vista superior da PCB do driver.....	68
Figura 5.1.2	– Vista inferior da PCB do driver.....	68
Figura 5.1.3	– Estrutura interna do CI.....	70

Figura 5.1.4	– Esquemático obtido por meio das análises realizadas na lâmpada.....	71
Figura 5.2.1	– Vista superior da PCB do driver.....	72
Figura 5.2.2	– Vista inferior da PCB do driver.....	72
Figura 5.2.3	– Esquemático obtido por meio das análises realizadas na luminária.....	74
Figura 5.3.1	– Vista superior da PCB do driver.....	75
Figura 5.3.2	– Vista inferior da PCB do driver.....	75
Figura 5.3.3	– Esquemático obtido por meio das análises realizadas na luminária.....	77
Figura 5.4.1	– Vista superior da PCB do driver.....	78
Figura 5.4.2	– Vista inferior da PCB do driver.....	78
Figura 5.4.3	– Estrutura interna do CI.....	80
Figura 5.4.4	– Esquemático obtido por meio das análises realizadas na lâmpada.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Diferentes tipos de fabricação de diodos emissores de luz existentes.....	27
Tabela 4.1	– Informações iniciais dos modelos adquiridos.....	34
Tabela 4.2	– Principais dimensões das partes da lâmpada.....	37
Tabela 4.3	– Valor de tensão aferido no terminal C.C. da lâmpada.....	38
Tabela 4.4	– Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da lâmpada.....	38
Tabela 4.5	– Valores da corrente fornecida aos LEDs da lâmpada.....	40
Tabela 4.6	– Principais dimensões das partes da luminária.....	44
Tabela 4.7	– Valor de tensão aferido no terminal C.C. da luminária.....	46
Tabela 4.8	– Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da luminária.....	47
Tabela 4.9	– Valores da corrente fornecida aos LEDs da luminária.....	49
Tabela 4.10	– Principais dimensões das partes da luminária.....	52
Tabela 4.11	– Valor de tensão aferido no terminal C.C. da luminária.....	54
Tabela 4.12	– Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da luminária.....	55
Tabela 4.13	– Valores da corrente fornecida aos LEDs da luminária.....	57
Tabela 4.14	– Principais dimensões das partes da lâmpada.....	60
Tabela 4.15	– Valor de tensão aferido no terminal C.C. da lâmpada.....	62
Tabela 4.16	– Valor das tensões de teste aplicadas sobre os LEDs da lâmpada.....	63
Tabela 4.17	– Valores da corrente fornecida aos LEDs da luminária.....	65
Tabela 5.1	– Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.....	68
Tabela 5.2	– Levantamento dos componentes presentes no driver da lâmpada.....	69
Tabela 5.3	– Atribuições dos pinos presentes no CI.....	70
Tabela 5.4	– Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.....	73
Tabela 5.5	– Levantamento dos componentes presentes no driver da luminária.....	73
Tabela 5.6	– Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.....	76
Tabela 5.7	– Levantamento dos componentes presentes no driver da luminária.....	76
Tabela 5.8	– Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.....	79
Tabela 5.9	– Levantamento dos componentes presentes no driver da lâmpada.....	79
Tabela 5.10	– Atribuições dos pinos presentes no CI.....	80
Tabela 7.1	– Informações elétricas fornecidas pelos fabricantes.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	<i>Light Emitting Diode</i>
VLC	<i>Visible Light Communication</i>
EUA	Estados Unidos da América
GE	<i>General Electric</i>
CFL	<i>Compact Fluorescent Lamps</i>
LEDs	<i>Light Emitting Diodes</i>
IRC	Índice de Reprodução de cores
SSL	<i>Solid State Lighting</i>
OLED	<i>Organic Light-emitting Diode</i>
DIP	<i>Dual In line Package</i>
SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
COB	<i>Chips On Board</i>
N.D.	Não Disponível
MG	Minas Gerais
SP	São Paulo
C.C.	Corrente Contínua
RJ	Rio de Janeiro
CI	Circuito Integrado
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	23
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
1.4	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	24
2	ILUMINAÇÃO DE ESTADO SÓLIDO.....	25
2.1	TECNOLOGIA LED/SSL.....	25
2.2	TIPOS DE LED.....	27
2.2.1	LEDs convencionais (DIP LED).....	28
2.2.2	SMD LEDs	28
2.2.3	COB LEDs	29
2.3	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	30
3	SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS.....	31
3.1	METODOLOGIA IMPLEMENTADA NA SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS.....	31
3.2	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	33
4	ANÁLISE CONSTRUTIVA E ELETROELETRÔNICA DO MÓDULO ÓPTICO.....	34
4.1	LÂMPADA LED TUBULAR JOGOU.....	34
4.1.1	Análise construtiva.....	35
4.1.2	Análise do módulo óptico.....	37
4.2	LUMINÁRIA QUADRADA DE EMBUTIR STARTEC & CO.....	41
4.2.1	Análise construtiva.....	42
4.2.2	Análise do módulo óptico.....	46
4.3	LUMINÁRIA QUADRADA DE SOBREPOR KIAN.....	49
4.3.1	Análise construtiva.....	50
4.3.2	Análise do módulo óptico.....	54
4.4	LÂMPADA BULBO LED KIAN.....	58
4.4.1	Análise construtiva.....	58
4.4.2	Análise do módulo óptico.....	61
4.5	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	66

5	ANÁLISE ELETROELETRÔNICA DOS CIRCUITOS DE ACIONAMENTO.....	67
5.1	LÂMPADA LED TUBULAR JOGOU.....	67
5.2	LUMINÁRIA QUADRADA DE EMBUTIR STARTEC & CO.....	72
5.3	LUMINÁRIA QUADRADA DE SOBREPOR KIAN.....	75
5.4	LÂMPADA BULBO LED KIAN.....	78
5.5	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	82
6	DISCUSSÃO GERAL.....	83
6.1	AVALIAÇÃO CRÍTICA.....	83
6.2	ANÁLISE DE EMPREGO NA TECNOLOGIA VLC.....	85
6.3	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	85
7	CONCLUSÕES.....	86
7.1	CONCLUSÕES FINAIS.....	86
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Lâmpadas e luminárias são imprescindíveis na sociedade atual, sendo utilizadas em ampla escala tanto em residências quanto em grandes indústrias. Segundo Araújo et al. (2018), um dos maiores ganhos proporcionados pela Engenharia Elétrica é a eficiência energética, e um exemplo clássico disso é a substituição dos antigos modelos de lâmpadas e luminárias pelos atuais que utilizam o LED. Devido à essa ampla utilização, e tendo em vista os diversos tipos de modelos existentes, com diferentes fabricantes, torna-se de extrema relevância o estudo das características de cada uma delas, a fim de aferir a qualidade de fabricação nos componentes internos ali presentes, e posteriormente compará-las.

Para se ter uma noção da importância da iluminação nos tempos atuais, segundo Pust et al. (2015), em torno de 15% de toda a energia elétrica produzida é destinada à iluminação artificial. Não é de se espantar que toda essa parcela da energia elétrica produzida seja destinada à iluminação, já que há uma interligação muito forte entre o ser humano e a natureza, no que diz respeito à necessidade que ambos possuem, conscientemente ou não, de estar em contato com a luz solar para se ter uma vida produtiva e saudável (WANDERLEY, 2014).

Dada essa importância da iluminação na vida do ser humano, e pelo fato de pertencermos à uma espécie animal única, que possui a incrível capacidade de imaginar, projetar e construir diversos tipos de artefatos, com o passar dos anos fomos criando diversas maneiras de compensar os momentos do dia em que não contávamos com a presença da iluminação natural, proveniente de nosso sol, e garantir algum tipo de iluminação.

Historicamente falando, a primeira fonte de iluminação artificial (não proveniente de nosso sol) foi obtida por meio da descoberta do fogo. A descoberta se deu por volta de 500.000 a.C., e a dedução de sua idade foi feita com base em evidências de matérias como pedras, argilas calcinadas, carvão, pedaços de objetos queimados e sedimentos de cinzas encontrados em escavações arqueológicas (GIRARD, 1998).

As formas de iluminação por meio do uso do fogo eram bastante simples. Nos primórdios, utilizava-se apenas material combustível, principalmente madeiras e folhas secas, e assim se produzia a luz. Posteriormente foram inventados métodos aprimorados que permitiam que essa luz durasse mais tempo e tivesse maior intensidade. Como exemplo de aprimoramentos pode-se citar o uso de óleos e gases como outros tipos de combustível, e

também a criação de objetos como lamparinas (Figura 1.1.1) e lampiões, que encapsulavam o fogo e o fazia durar por um maior período de tempo.

Figura 1.1.1: Lamparina à óleo fabricada na Alemanha.



Fonte: (https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_lamp).

Outras fontes de iluminação artificial foram descobertas juntamente com o domínio da eletricidade pelo ser humano. Ao se realizar estudos mais aprofundados envolvendo a eletricidade foi possível a criação de diversos componentes de extrema importância, que são utilizados inclusive nos dias de hoje, e que também estão em constante desenvolvimento.

No âmbito da iluminação residencial, no ano de 1879, foi então desenvolvida a primeira invenção que após anos de testes realizados por outros pesquisadores e inventores efetivamente deu certo, e que foi utilizada em grande escala em sua época. Foi a invenção da lâmpada elétrica de Thomas A. Edison, conforme ilustra a Figura 1.1.2. Consistia basicamente de um filamento de carbono com contatos de platina que se aquecia com a passagem de corrente elétrica, um bulbo de vidro que isolava o filamento do meio externo, permitindo assim que o mesmo não se rompesse, e uma base metálica onde era feita a ligação elétrica (THE FRANKLIN INSTITUTE, 2020).

Com apenas alguns poucos aprimoramentos, e criações de lâmpadas de mesma engenharia, porém com outros tipos formato, projetadas para se adequarem ao tipo de utilização ao qual eram destinadas, a lâmpada incandescente criada por Edison foi utilizada por vários e vários anos, até que surgissem no mercado lâmpadas de outras tecnologias e com melhor eficiência.

Figura 1.1.2: Primeira lâmpada elétrica apresentada ao público por Thomas A. Edison em 1879.



Fonte: (<https://americanhistory.si.edu/blog/edisons-light-bulb-turns-135>).

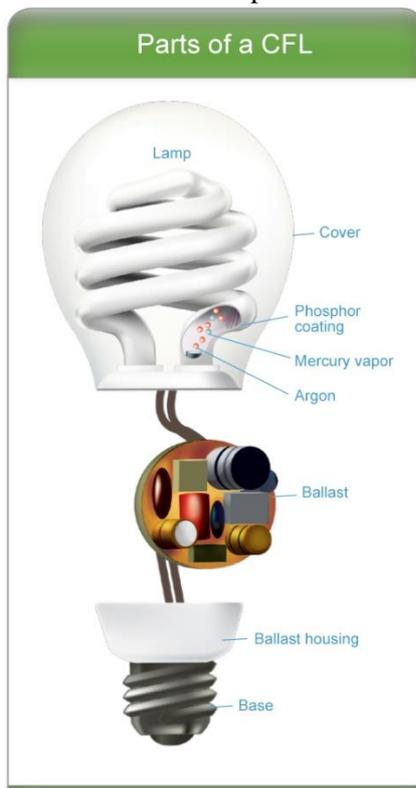
Ao final da década de 1920 e início da década de 1930, pesquisadores europeus realizavam experimentos com tubos de néon revestidos de fósforo, desencadeando programas de pesquisa com lâmpadas fluorescentes nos EUA, e em meados da década de 1930 empresas de iluminação americanas apresentavam suas lâmpadas fluorescentes para a Marinha dos EUA, e também na Feira Mundial de Nova York de 1939. Essas lâmpadas, se comparadas às incandescentes, possuíam uma maior vida útil, e eram cerca de três vezes mais eficientes (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Portanto, pode-se dizer que a segunda grande invenção envolvendo o uso da eletricidade na iluminação artificial residencial foi a lâmpada fluorescente, ilustrada na Figura 1.1.3. Ela é composta por uma estrutura de vidro que cria um vácuo em seu interior, uma camada de fósforo, vapor de mercúrio, argônio, todos contidos nesse vidro, um reator para regular a corrente interna, e bases para realizar as ligações elétricas. As lâmpadas fluorescentes vieram para substituir de vez as antigas incandescentes, e assim como elas, possuíam diversos tipos de formato com o passar dos anos, e de acordo com as necessidades às quais eram submetidas, sendo as fluorescentes compactas as mais expressivas comercialmente.

Devido à escassez de energia durante à crise do petróleo de 1973, foi impulsionado o desenvolvimento das primeiras lâmpadas fluorescentes comerciais. Sendo assim, no ano de 1974, engenheiros da Sylvania desenvolveram a primeira patente desse novo tipo de lâmpada, porém ainda não era possível sua produção de forma viável. No ano de 1976 foi então criada por Edward Hammer, da G.E. (General Electric), a primeira lâmpada fluorescente compacta (CFL), e com o passar dos anos, elas foram sendo cada vez mais e mais aprimoradas. As lâmpadas fluorescentes compactas utilizam cerca de 75% menos energia, e têm vida útil dez

vezes maior se comparadas às antigas lâmpadas incandescentes (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Figura 1.1.3: Seccionamento de uma lâmpada fluorescente compacta (CFL).



Fonte: (https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_cfls).

Por último, a tecnologia de iluminação em estudo nesta monografia, derivada do componente que é um diodo emissor de luz (LED), teve seu início de desenvolvimento no ano de 1962 por Nick Holonyak, Jr. que, enquanto trabalhava na General Electric, inventou o primeiro LED de liga III-V de espectro visível vermelho (THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2020).

Décadas após o desenvolvimento do primeiro LED de espectro visível, foi desenvolvido um tipo de LED que permitiu a criação de modelos de lâmpadas que garantiam a adequada iluminação artificial, no intuito de substituir a iluminação natural em ambientes desprovidos de fontes luminosas, cumprindo o mesmo papel de lâmpadas de tecnologias antecessoras (as incandescentes e fluorescentes), sendo as substitutas desses modelos.

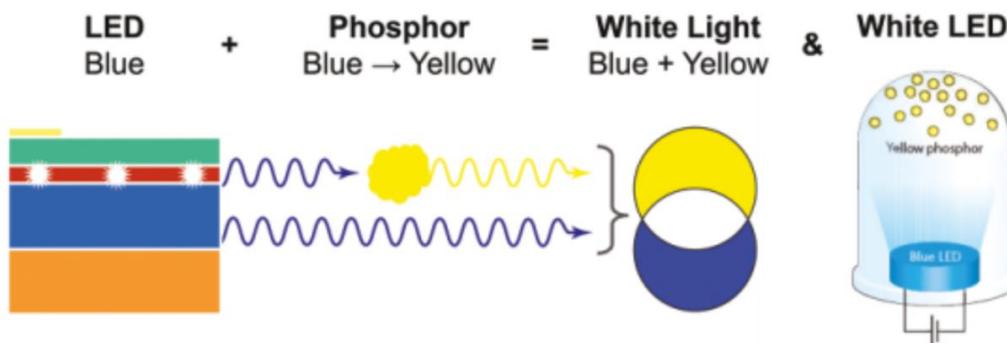
O desenvolvimento desse tipo de lâmpada descrita anteriormente, tornou-se possível graças à pesquisa que resultou na invenção do LED de cor azul, no ano de 1993, pelo professor e pesquisador japonês Shuji Nakamura em conjunto com os também professores e pesquisadores Isamu Akasaki e Hiroshi Amano. É a que possui melhor eficiência luminosa

(lm/W) quando comparada às predecessoras incandescente e fluorescente, sendo a mais avançada atualmente (THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES, 2014).

Uma grande parte das lâmpadas LED comerciais da atualidade utilizam LEDs brancos em seus interiores, diferentemente do tipo de LED azul desenvolvido por Nakamura et al. Os LEDs brancos são amplamente utilizados com a finalidade de se obter um melhor índice de reprodução de cores (IRC), e sua coloração branca foi obtida por meio da combinação de elementos químicos distintos.

O elemento químico fósforo, quando incorporado ao LED de cor azul incrementa uma coloração amarela nele, de modo que em proporções adequadas, a cor amarela proveniente do fósforo neutraliza a cor azul proveniente do Nitreto de Índio e Gálio (InGaN) do LED de Nakamura et al., fornecendo uma luz de coloração branca, ilustrado na Figura 1.1.4 (NAKAMURA, 2014).

Figura 1.1.4: Obtenção do LED de cor branca por meio do processo de incorporação de fósforo.



Fonte: (NAKAMURA, 2014).

Com desenhos inspirados nas tecnologias predecessoras, como as incandescentes e fluorescentes, as lâmpadas de LED surgiram também em diversos tipos de formato, cada um projetado para atender à uma determinada finalidade, sendo a lâmpada de bulbo a mais expressiva comercialmente falando.

Uma lâmpada bulbo LED (Figura 1.1.5) é constituída por um bulbo que exerce o papel de dispersão da luz e proteção dos componentes internos, um dissipador de calor acoplado à placa principal onde estão contidos os LEDs (que variam em quantidade), um corpo que faz parte do design e da estrutura da lâmpada, um driver que tem a função de converter uma fonte de alimentação externa para uma adequada alimentação interna para o funcionamento dos LEDs, e por fim, uma base onde é feita a ligação elétrica externa da lâmpada.

Figura 1.1.5: Seccionamento de uma lâmpada bulbo LED.



Fonte: (https://www.alibaba.com/product-detail/Direct-Buy-China-Led-Lighting-A19_60298523820.html).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar modelos comerciais de lâmpadas/luminárias LED. Ele pode ser alcançado por meio da análise individual de cada modelo, obtendo assim informações importantes no âmbito da engenharia, tais como: 1) Avaliação construtiva: análise dos tipos de materiais presentes nos modelos adquiridos, análise das partes que os compõem, e a obtenção das dimensões dessas partes, juntamente com as dimensões gerais dos modelos em si; 2) Avaliação elétrica: obtenção dos valores de corrente e tensão nos terminais de cada tipo de lâmpada/luminária, dos valores de corrente e tensão que circulam em cada LED individualmente, análise da configuração série-paralelo utilizada na disposição dos LEDs no interior das lâmpadas/luminárias, e análise do circuito de acionamento de cada modelo. As análises realizadas possibilitarão discussões a respeito de intervenções nos projetos originais, ou até mesmo a inserção de módulos de comunicação, tais como os utilizados em VLC.

O trabalho tem também como objetivo, por meio da caracterização de cada modelo, possibilitar o desenvolvimento de futuros trabalhos, ou mesmo de trabalhos que já estão sendo desenvolvidos, fornecendo dados não disponibilizados pelos fabricantes dos modelos adquiridos, permitindo que dessa maneira esses dados obtidos ao longo deste trabalho possam vir a ser de grande valia em estudos que estejam em áreas correlatas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 serão abordados: um estudo mais aprofundado sobre a tecnologia LED/SSL, e quais os tipos de LEDs presentes nos dias atuais.

No capítulo 3 será informada como se deu a seleção e a aquisição das amostras encontradas, explicitando quais foram os valores de referência determinados, e também em qual local elas foram adquiridas.

No capítulo 4 será realizada uma análise construtiva e elétrica dos modelos adquiridos, sendo que na análise construtiva será realizada a caracterização das partes que compõem esses modelos, e a obtenção das principais dimensões presentes em cada um deles, e na análise elétrica, será realizada a obtenção dos valores de tensão e corrente presentes em cada modelo de lâmpada/luminária, as configurações dos módulos ópticos em cada uma delas, apresentando como são dispostos os LEDs em seus interiores, e a classificação do tipo de LED ali presente.

No capítulo 5 será feita a análise do driver dos modelos adquiridos por meio do levantamento dos componentes nele presentes, e também da obtenção do circuito esquemático, por meio de um processo de engenharia reversa, na qual a análise das trilhas e ilhas na PCB, bem como a polaridade dos componentes, possibilitarão o levantamento de todo o circuito esquemático.

No capítulo 6 serão feitas as discussões finais, relatando diferenças e similaridades entre os modelos adquiridos, identificando possíveis problemas técnicos e discutindo a adequação desses modelos ao emprego de tecnologias que demandam intervenções neles, a exemplo da VLC.

No capítulo 7 serão feitas as conclusões, no qual serão abordados os pontos mais relevantes presentes em cada capítulo, chegando-se dessa maneira às conclusões individuais de cada um deles, constatando de que forma o objetivo inicial foi alcançado e também propondo sugestões para trabalhos futuros.

1.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Este capítulo visou introduzir a dependência do ser humano com os meios de iluminação artificial, expondo os avanços desse tipo de iluminação com o passar dos anos, apresentando as tecnologias que foram desenvolvidas em cada período, e explanando o conceito de cada uma delas. Foi exposto também neste capítulo os objetivos deste trabalho e sua estrutura, com a identificação das atividades a serem desenvolvidas em cada capítulo.

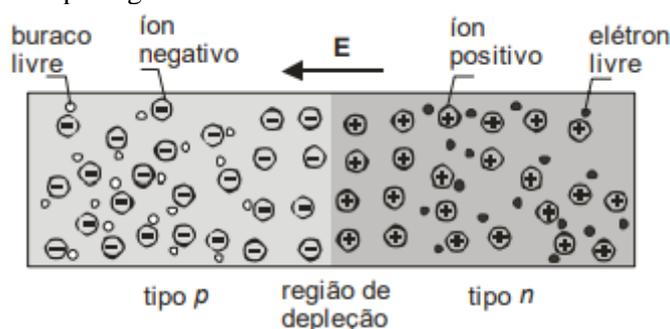
2 ILUMINAÇÃO DE ESTADO SÓLIDO

2.1 TECNOLOGIA LED/SSL

Iluminação de estado sólido ou Solid State Lighting (SSL), amplamente utilizada no cenário atual, trata-se da tecnologia que utiliza diodos emissores de luz (LED), e também diodos orgânicos emissores de luz (OLED) como fonte de iluminação. É um tipo de tecnologia que possui longa vida útil, e que cria luz visível com menor geração de calor e menor dissipação de energia quando comparada às tecnologias anteriores, garantindo uma melhor eficiência (KASSAKIAN et al., 2013).

Diodos emissores de luz são dispositivos eletrônicos semicondutores que possuem a capacidade de produzir luz por meio das interações energéticas dos elétrons, em um processo denominado de eletroluminescência, ilustrado na Figura 2.1.2 (UFMG, 2021). Um LED é capaz de converter uma corrente elétrica diretamente em luz, isso ocorre quando uma junção de tipo *pn* é diretamente polarizada, de modo que a passagem de corrente elétrica faz com que ocorra uma recombinação entre elétrons e lacunas, podendo levar à emissão de luz, conforme ilustra a Figura 2.1.1. Para que de fato ocorra a emissão de luz, deve-se utilizar semicondutores que possuam direct bandgap, que é o modo de transição direta na faixa proibida. A luz emitida será proporcional à corrente direta injetada no diodo, pois quanto maior a corrente, maior será o número de recombinações. (SEDRA, 2007).

Figura 2.1.1 – Exemplo de passagem de corrente elétrica em um diodo delimitado pelas junções p e n.



Fonte: Adaptado de (UFMG, 2021).

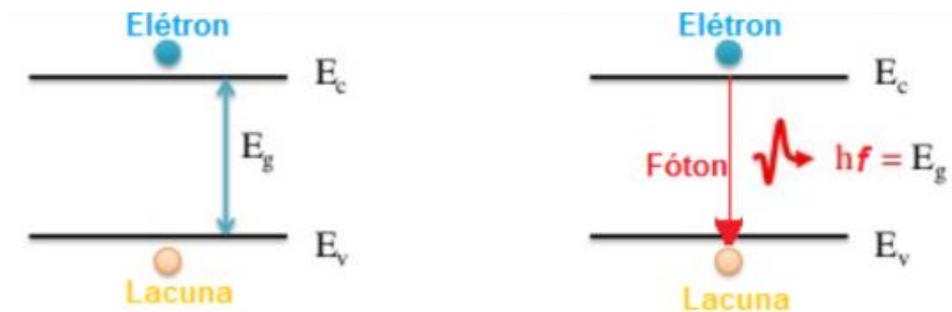
A utilização de diferentes tipos de materiais na construção de um LED permite que se altere a energia necessária para a recombinação entre elétrons e lacunas, alterando assim a cor emitida. Essa relação não é tão trivial assim, ela parte do pressuposto de que o elétron perde energia quando recombina com uma lacuna, e essa energia é convertida em um fóton. Dada

a equação (1), equação da energia de um fóton, percebe-se que a alteração da energia de recombinação de elétrons e lacunas, acarretará em uma alteração direta no comprimento de onda emitido, sendo os dois termos inversamente proporcionais, tendo em vista que tanto a constante de Planck e a velocidade da luz são valores fixos.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

(Onde E é a energia do fóton, dada pela diferença entre níveis de energia, denominada de bandgap, h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), e λ o comprimento de onda do fóton).

Figura 2.1.2 – Efeito de eletroluminescência em LEDs, que ocorre quando há uma recombinação entre elétrons e lacunas, causando a emissão de fótons.

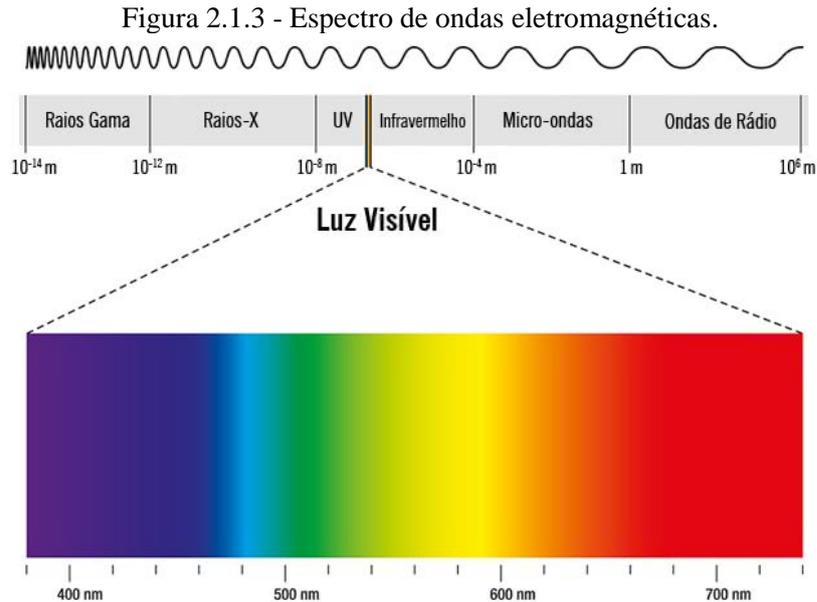


Fonte: (SALES, 2018).

Sendo assim, uma alteração no comprimento de onda do fóton emitido, mudará também sua frequência de forma inversamente proporcional (2), e para que se emita luz deve-se obter frequências dentro da banda do espectro visível, podendo escolher a cor emitida por meio da frequência, ilustrado na Figura 2.1.3.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

(Onde λ é o comprimento de onda, c é a velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), e f é a frequência).



2.2 TIPOS DE LED

O avanço da tecnologia possibilitou novas formas de fabricação de componentes eletrônicos em geral, avanço esse que está relacionado principalmente com a redução de suas dimensões mantendo-se a mesma eficiência ou até em alguns casos superando-a. Um componente eletrônico que exemplifica bem a realidade mencionada anteriormente é o LED, tendo em vista que com o passar dos anos, e conseqüentemente com o avanço da tecnologia de fabricação do mesmo, ele passou por diversas transformações (Figura 2.2.1), e ganhou distintas nomenclaturas de acordo com o tipo de fabricação a qual foi submetido, conforme mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Diferentes tipos de fabricação de diodos emissores de luz existentes.

Tipo de LED	Pacote T	Montagem em superfície	COB (Chip on Board)
Imagem do dispositivo			
Disposição (10mm x 10mm)			
Densidade	9 LEDs	40 LEDs	342 LEDs
Potência do Arranjo	0.4 Watts	4 Watts	68 Watts

Fonte: (PRO PHOTONIX, 2018).

Figura 2.2.1 - Diferentes tipos de LED.

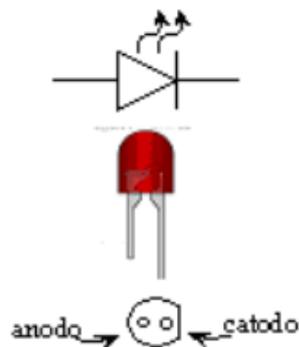


Fonte: (<https://luxfortdobrasil.com/energia-eletrica/entenda-mais-sobre-a-tecnologia-led-d1/>).

2.2.1 LEDs CONVENCIONAIS (DIP LED)

Dual in line package LEDs (Figura 2.2.2) são os LEDs predecessores aos demais existentes e foram desenvolvidos no ano de 1967 pelo inventor Nick Holonyak, Jr. São enclausurados em resina epóxi transparente, e possuem dois terminais: anodo e catodo, sendo esses formados por duas pernas metálicas que se estendem para o exterior do invólucro, sendo compridas e finas, na qual a do catodo é ligeiramente mais comprida para que assim seja possível identificar sua polarização. Possuem baixas potências com baixas taxas de luminosidade, e normalmente são empregados em sistemas de iluminação na qual não é necessária uma taxa de luminosidade elevada, em transmissores de controles remotos diversos, em amplificadores de áudio mais antigos, em placas-mães de computadores pessoais, dentre outros (BOUTS, 2016).

Figura 2.2.2 – DIP LED e seus terminais.



Fonte: (UFMG, 2021).

2.2.2 SMD LEDs

Surface Mounted Device LEDs (Figura 2.2.3) são LEDs que se encontram todos localizados em uma mesma superfície, em uma mesma PCB (Printed Circuit Board), e sendo

assim, são capazes de concentrar um maior número de LEDs em uma menor área, algo que não era possível com os LEDs convencionais. Eles são mais eficientes, com um maior brilho e menor consumo energético, e por consequência geram uma quantidade menor de calor quando comparados aos convencionais, têm formato retangular, com dimensões bastante reduzidas em relação ao seu predecessor (CARLOS, 2019).

Figura 2.2.3 – SMD LED.



Fonte: (<https://www.electronica-pt.com/led>).

2.2.3 COB LEDs

Os Chips On Board LEDs (Figura 2.2.4) são um tipo de LED em que mais de um LED se encontra dentro de um mesmo encapsulamento, em um único módulo, e por esse motivo é necessária uma quantidade muito menor de módulos em uma PCB para que se atinja uma determinada taxa de luminosidade desejada, com isso nos painéis onde são instalados ocupam uma área ainda menor se comparados aos LEDs SMD, o que lhes confere uma maior eficiência. Além disso eles possuem uma iluminação mais uniforme e com um maior ângulo de abertura, reduzindo o ofuscamento (CARLOS, 2019).

Figura 2.2.4 – COB LED.



Fonte: (<https://grupomegaled.com/produto/chip-pastilha-para-refletor-smart-cob-led-50w-110vac-branco-frio-6000k/>).

2.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi apresentado o conceito da tecnologia presente nos modelos adquiridos neste trabalho, LED/SSL, explicitando conceitos físicos relacionados, e também apresentando os tipos de LED existentes mais utilizados no meio da iluminação.

3 SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS

3.1 METODOLOGIA IMPLEMENTADA NA SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS

Nesta seção serão abordados quais foram os critérios para a seleção dos modelos de luminárias LED adquiridos, e como se deu a aquisição dessas amostras, expondo dessa forma a metodologia implementada.

Para uma análise comparativa adequada entre os modelos comerciais adquiridos, foram preestabelecidos modelos específicos, fabricantes distintos, e valores fixos para grandezas elétricas e fotoelétricas (mais especificamente, valor de potência total emitida pelos LEDs das luminárias em (3) e valor de temperatura de cor em (4)), todos esses baseados em análise de modelos de maior relevância do mercado, que são modelos mais comercializados atualmente.

$$9 W \leq P_{LED} \leq 12 W \quad (3)$$

$$6000 K \leq Temp_{LED} \leq 6500 K \text{ (fria)} \quad (4)$$

Quanto aos modelos escolhidos, foram 4 tipos distintos entre si: lâmpada LED tubular (T8), luminária LED quadrada de embutir, e luminária LED quadrada de sobrepor, e lâmpada bulbo LED.

Figura 3.1 – Exemplo de modelo comercial de lâmpada LED tubular (T8).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.2 – Exemplo de modelo comercial de luminária LED quadrada de embutir.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.3 – Exemplo de modelo comercial de luminária LED quadrada de sobrepor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.4 – Exemplo de modelo comercial de lâmpada bulbo LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma análise do mercado de luminárias LED foi previamente realizada, e pôde-se constatar a existência de uma ampla variedade de modelos, uma ampla variedade de fabricantes e diferentes tipos de valores de potência emitida pelos LEDs, e também diferentes tipos de temperatura de cor, isso tudo aliado a uma não padronização de grandezas elétricas e fotoelétricas na fabricação das lâmpadas LED. Dadas as condições apresentadas anteriormente, foi constatada a impossibilidade da obtenção de todos os modelos adquiridos com os mesmos valores de potência e temperatura de cor, porém foram encontrados valores bastante próximos, dentro de uma faixa tolerável, o que ainda garante que uma futura comparação entre os modelos possa ser realizada de maneira adequada, sem que haja exageradas discrepâncias entre os modelos escolhidos.

Apresentadas as informações iniciais, foram adquiridas amostras no comércio local da cidade de Juiz de Fora – MG, localizado no centro da cidade. Os modelos adquiridos foram:

- Lâmpada LED tubular (T8) com potência de 9 W e temperatura de cor de 6500 K.
- Luminária LED quadrada de embutir com potência de 12 W e temperatura de cor de 6500 K.
- Luminária LED quadrada de sobrepor com potência de 12 W e temperatura de cor de 6000 K.
- Lâmpada bulbo LED com potência de 9 W e temperatura de cor de 6500 K.

3.2 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi apresentada a metodologia implementada na seleção e aquisição de amostras utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, explicitando as características construtivas e elétricas escolhidas.

4 ANÁLISE CONSTRUTIVA E ELETROELETRÔNICA DO MÓDULO ÓPTICO

Quando se trata de lâmpadas e luminárias LED de mesmas especificações (mesma potência, temperatura de cor, e formato) é usual pensar, quando ainda nenhuma análise prévia desses modelos foi realizada, que seus interiores serão muito similares. Porém, o que ocorre na prática é bem diferente, visto que cada fabricante utiliza módulos ópticos diferentes, uma disposição, quantidade, e tipos de LEDs diferentes, corpos e difusores com tamanhos distintos, bem como drivers diferentes, tendo em vista que há poucas normas que padronizam o processo de fabricação dessas luminárias e lâmpadas. Eventualmente, alguns fabricantes não seguem a totalidade dos padrões estabelecidos nas normas, confiando na frágil fiscalização pelos órgãos reguladores.

Sendo assim, foi realizada uma caracterização de cada tipo de lâmpada e luminária, analisando algumas de suas principais características, tanto no âmbito construtivo, como a análise do corpo, e do difusor, quanto no âmbito elétrico, como a análise do módulo óptico, do tipo de LED presente em cada configuração.

É importante destacar que a caracterização dos modelos foi relativamente prejudicada devido às circunstâncias enfrentadas no momento de confecção deste trabalho, situação de pandemia global ocasionada pela COVID-19, encontrando-se assim uma grande dificuldade na disponibilidade de equipamentos, fato que interferiu diretamente nos possíveis testes e análises adicionais a serem realizados.

A Tabela 4.1 apresenta quais os modelos adquiridos para este estudo e suas informações iniciais. Nela encontram-se o tipo, o fabricante, e o código identificador de cada modelo, que proporciona mais facilidade para uma futura referência.

Tabela 4.1 – Informações iniciais dos modelos adquiridos.

TIPO	FABRICANTE	CÓDIGO IDENTIFICADOR
Lâmpada LED tubular T8	Jogou	N.D.
Luminária quadrada de embutir	Startec & Co.	147400049
Luminária quadrada de sobrepor	Kian	10377
Lâmpada bulbo LED	Kian	AIA9W65

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 LÂMPADA LED TUBULAR JOGOU

Jogou é uma empresa brasileira de importação e exportação de pequeno porte com sede no município de São Paulo – SP, atuante no mercado há mais de 4 anos, desde 2016, sendo predominantemente um comércio atacadista de lustres, luminárias e abajures (ECONODATA, 2020).

A empresa não possui website para divulgação de informações próprias e de seus produtos, portanto não é possível a obtenção de informações adicionais às presentes na embalagem e no próprio produto.

O modelo de lâmpada escolhido da Jogou foi a LED tubular T8. Para analisar esse tipo de lâmpada foi necessária a remoção dos dois conectores presentes nas extremidades, no qual ambos estavam conectados ao corpo da lâmpada por meio de travas na estrutura de alumínio, e também foi necessária a remoção do difusor que se desprende facilmente do corpo quando aplicada uma força sobre ele na direção de qualquer uma das extremidades da lâmpada, possibilitando assim o acesso de todas as partes que a compõem.

4.1.1 Análise construtiva

O modelo é constituído por um corpo de alumínio onde está fixada a fita que contém os LEDs, sendo esses dispostos em uma configuração linear unidirecional. É composto também por um difusor de plástico de aspecto translúcido (Figura 4.1.1), com a grande vantagem de não se quebrar facilmente quando comparado à difusores de vidro, sendo esses mais comuns em outros modelos presentes no mercado, por um circuito de acionamento, driver (Figura 4.1.3), relativamente simples, localizado no interior da estrutura de alumínio do corpo, sendo de pequenas dimensões, e envolto por uma proteção afim de evitar danos ao circuito e isolar parte do calor produzido por ele, e por um módulo óptico constituído por 48 LEDs, conforme ilustra a Figura 4.1.2.

Figura 4.1.1 – Conjunto básico da lâmpada, constituído por corpo (parte de alumínio), difusor (estrutura de plástico de aspecto translúcido), módulo óptico (conjunto de LEDs), driver (no interior da estrutura de alumínio), e conectores (nas extremidades).



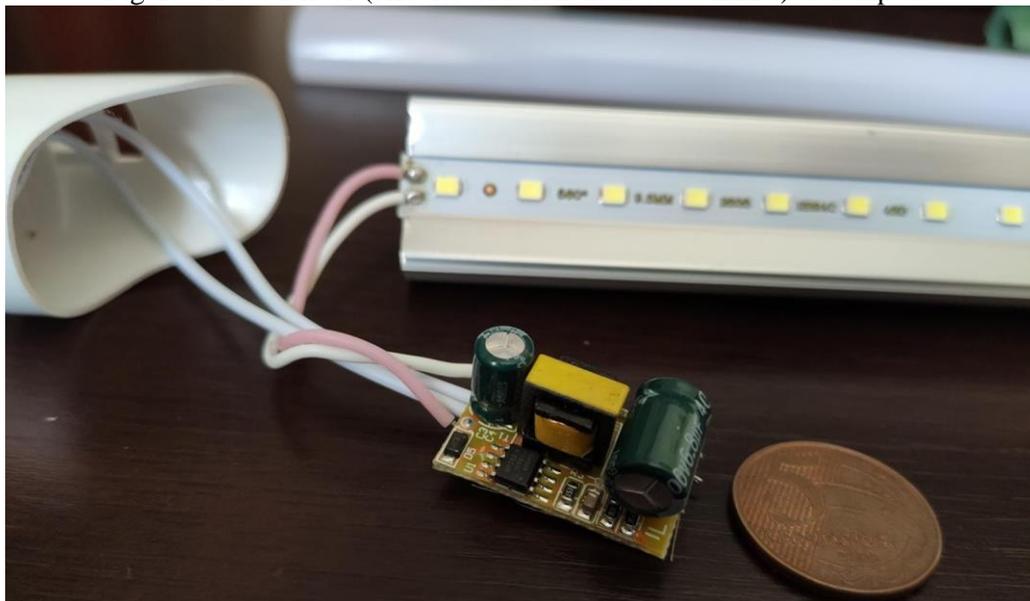
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.2 - Visão do interior da lâmpada, com enfoque na fita de LEDs fixada ao corpo de alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.3 – Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da lâmpada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, encontra-se o levantamento das principais dimensões das partes da lâmpada, mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Principais dimensões das partes da lâmpada.

	Comprimento	Largura	Altura	Diâmetro
Dimensões gerais	601 mm	–	–	29 mm
Dimensões do corpo de alumínio	565 mm	–	–	25 mm
Dimensões da fita de LEDs	560 mm	9 mm	–	–
Dimensões do difusor	563 mm	–	–	22 mm
Dimensões do driver (PCB)	26 mm	16 mm	–	–
Dimensões dos conectores	51 mm	–	–	29 mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

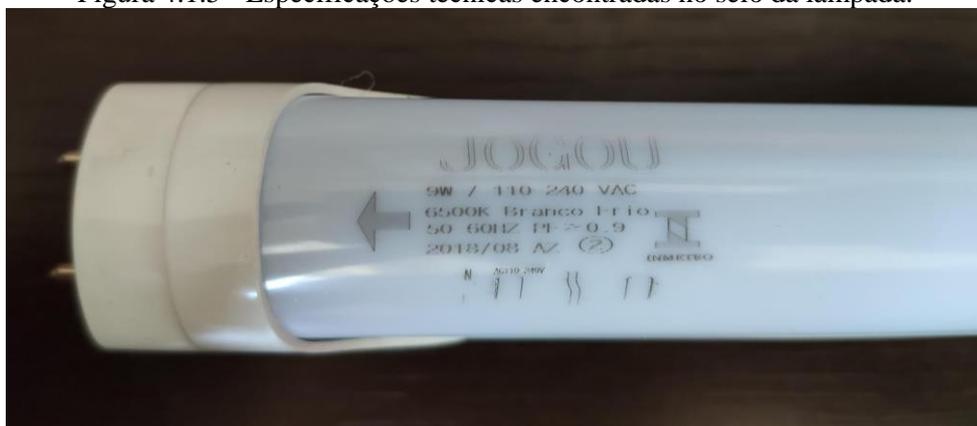
A Figura 4.1.4 e Figura 4.1.5 contêm as informações técnicas disponibilizadas pelo fabricante tanto na embalagem do produto, quanto na própria lâmpada.

Figura 4.1.4 - Especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.

Potência	Cor	Voltagem	Dimensão(mm)	Peso do produto(g)	Current	Power factor	Lumens	Incandescent	Equivalência
9W	6500K	AC110-240V 50/60Hz	26x598	120g	240mA±5%	≥0.92	≥900lm	60	16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.5 - Especificações técnicas encontradas no selo da lâmpada.



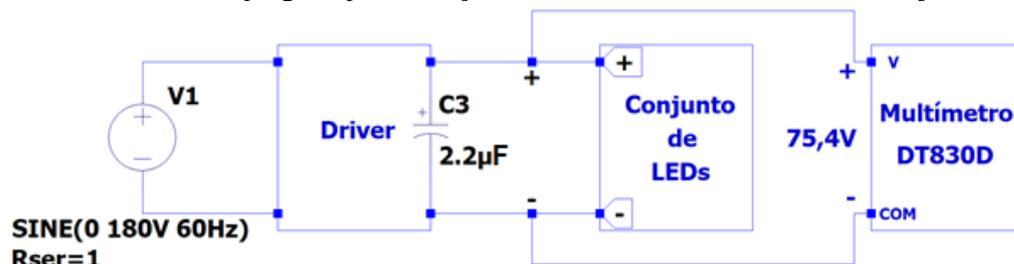
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Análise do módulo óptico

A realização da análise do módulo óptico da lâmpada tubular da Jogou se iniciou primeiramente com a aferição da tensão nos terminais de saída C.C. do driver (Tabela 4.3), que é a tensão entre os terminais que envolvem todo o conjunto de LEDs (ilustrado na Figura 4.1.6), e posteriormente, com a aplicação de uma tensão de teste (Tabela 4.4) em diferentes posições ao longo de toda a extensão do módulo óptico (Figura 4.1.7, Figura 4.1.8 e Figura 4.1.9), tensão essa ligeiramente inferior à tensão nominal dos LEDs (em torno de 3 V), para que assim não ocorresse o risco de algum LED se queimar, foi possível inferir o tipo de configuração ali presente.

Com o auxílio do multímetro de modelo DT830D da fabricante LEE TOOLS, foi realizada a aferição da tensão no terminal C.C. do driver, denominada de V_{T1} e da corrente que circula nos LEDs, denominada I_T . A tensão foi aferida entre os terminais positivo e negativo da fita de LEDs, conforme ilustra a Figura 4.1.6.

Figura 4.1.6 – Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.3 – Valor de tensão aferido no terminal C.C da lâmpada.

Nomenclatura	Tensão aferida
V_{T1}	75,40 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

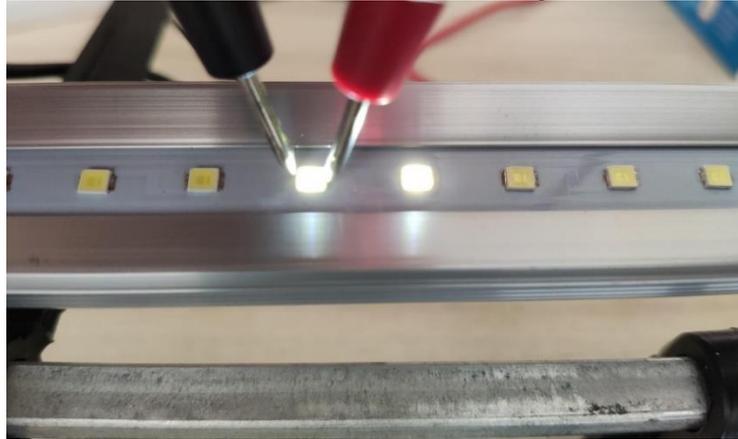
A etapa seguinte consistiu na aplicação da tensão de teste sobre os LEDs, mostrada na Tabela 4.4, tendo sido utilizada a fonte de alimentação C.C. de modelo FA-3003 da fabricante Instrutherm, para que o fornecimento dessa tensão se realizasse da maneira adequada.

Tabela 4.4 – Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da lâmpada.

Nomenclatura	Tensão aplicada
Tensão de teste	2,50 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.7 - Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.



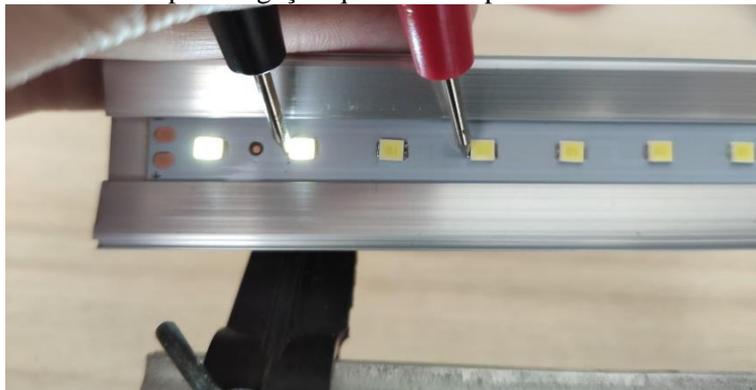
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.8 - Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1.9 - Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, com os testes anteriormente realizados, chegou-se na configuração de 24 conjuntos em série de 2 LEDs em paralelo.

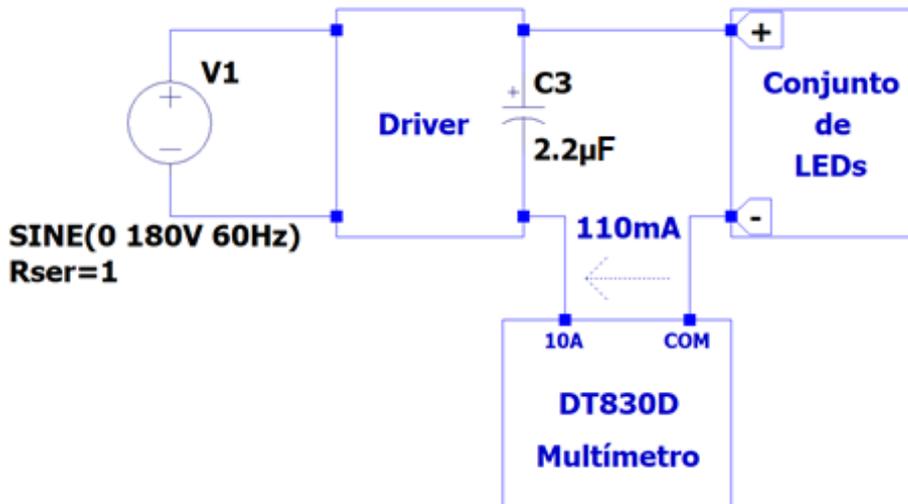
Como a tensão no terminal C.C. do driver (V_{T1}) encontrada foi de 75,40 V, a tensão implementada em cada LED separadamente, assumindo que todos possuam as mesmas

características, e tenham o mesmo comportamento, é igual à tensão V_{T1} dividida pelo número de conjuntos paralelos presentes, dada pela expressão que se segue:

$$V_{LED} = \frac{75,40 V}{24} = 3,14 V \quad (5)$$

A corrente aproximada que circula em cada arranjo de LEDs foi também aferida. Esse processo foi realizado isolando-se o terminal negativo que conecta o driver ao conjunto de LEDs, e inserindo os terminais de medição de corrente do multímetro nos terminais que foram desconectados, conforme ilustra a Figura 4.1.10. Assim, a corrente imposta aos LEDs foi aferida para posteriormente ser comparada à corrente informada pelo fabricante. Já o valor da corrente que circula em cada LED foi obtido por meio do divisor de corrente relativo ao arranjo de 2 LEDs, dividindo-se a corrente que circula em cada arranjo pelo número de LEDs em paralelo presentes em cada arranjo, como mostrado na Tabela 4.5.

Figura 4.1.10 – Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.5 – Valores da corrente fornecida aos LEDs da lâmpada.

Nomenclatura	Corrente aferida	Corrente informada pelo fabricante
I_T	110,00 mA	240,00 mA \pm 5%
$I_{LED} = \frac{I_T}{2}$	$\frac{110 \text{ mA}}{2} = 55,00 \text{ mA}$	$\frac{240 \text{ mA}}{2} = 120,00 \text{ mA} \pm 5\%$

Fonte: Elaborado pelo autor.

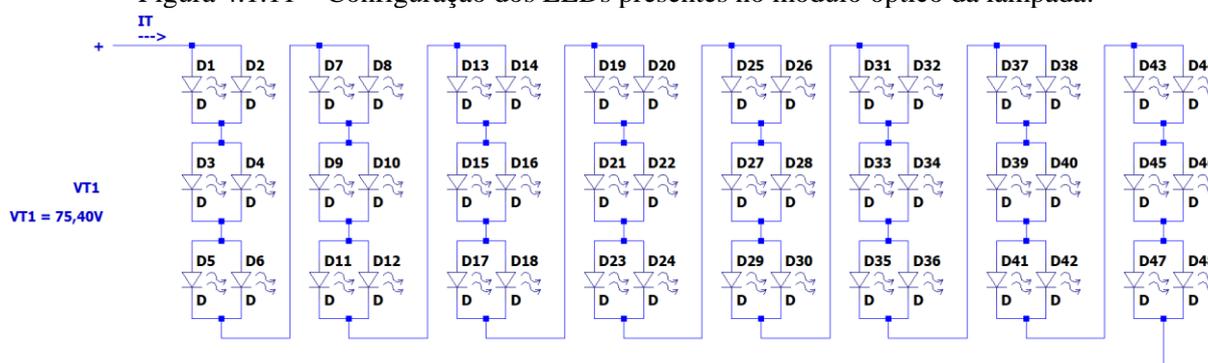
A potência consumida pelos LEDs pôde ser calculada por meio dos valores de tensão e corrente obtidos anteriormente, conforme a equação (6).

$$P_{LED} = V_{T1} \times I_T = 75,40 \text{ V} \times 110 \text{ mA} \quad (6)$$

$$= 8,29 \text{ W}$$

Com o valor da tensão aproximada em cada LED presente na luminária, e tendo em vista a aparência dos LEDs no interior da lâmpada, chegou-se à conclusão de que o tipo de LED utilizado pelo fabricante é SMD, cuja disposição é ilustrada na Figura 4.1.11.

Figura 4.1.11 – Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da lâmpada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 LUMINÁRIA LED QUADRADA DE EMBUTIR STARTEC & CO.

Startec & Co. é uma empresa de pequeno porte situada na cidade de São Paulo – SP, cuja atividade principal (46.49-4-06) é a comercialização de lustres, luminárias e abajures. Já suas atividades secundárias são o comércio atacadista e varejista de materiais elétricos, bem como o comércio varejista de variados artigos de iluminação, sendo atuante no mercado há mais de 18 anos, desde o ano de 2002 (CNPJ.ROCKS, 2020).

A empresa possui website (<https://starteciluminacao.com.br/>), e caso seja necessária a obtenção de informações adicionais é possível encontrá-las tanto por meio do próprio website, quanto por meio do SAC (Serviço de Atendimento ao Consumidor).

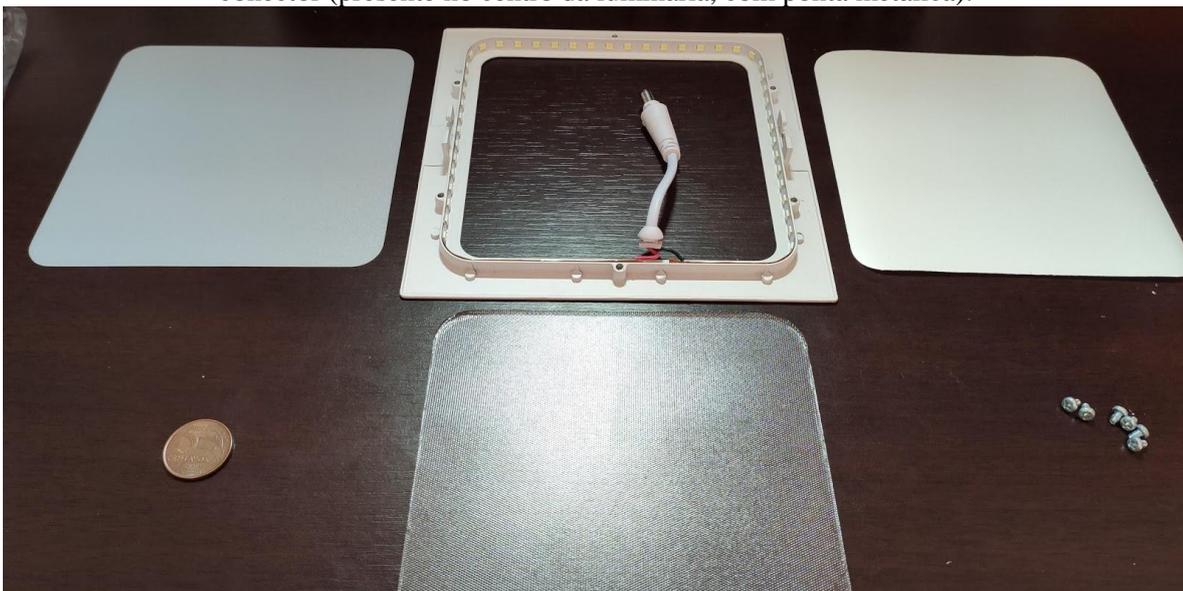
O modelo de luminária escolhida da Startec & Co. foi a LED quadrada de embutir. Para analisar esse tipo de luminária foi necessária primeiramente a remoção do driver externo, que se desprende com certa facilidade do restante da luminária, sendo necessário apenas girar o plugue para que o mesmo se desprendesse. O passo seguinte consistiu na remoção dos parafusos que se encontravam na extremidade oposta à qual a luz produzida pelos LEDs se propaga por

meio do difusor, somando uma quantidade total de 6 parafusos, sendo assim possível a remoção tanto da tampa de proteção da luminária feita de alumínio, quanto das partes que compõem o difusor.

4.2.1 Análise construtiva

O modelo é composto por um corpo de alumínio revestido de tinta na cor branca, sendo o corpo formado tanto pela parte responsável pela sobreposição da luminária, parte externa, quanto pela parte interna (Figura 4.2.1), sendo essa responsável pela fixação dos LEDs, que estão dispostos ao longo de uma fita, em uma configuração linear quadrada, de forma com que todos eles fiquem direcionados para o centro da luminária, conforme ilustra a Figura 4.2.2. É também constituído por um difusor composto de 3 camadas (Figura 4.2.1), sendo a camada mais interna constituída por uma folha de cor branca, a camada do meio constituída por um vidro texturizado e a camada mais externa constituída por uma folha de aspecto translúcido. Possui um circuito de acionamento, driver externo de pequenas dimensões que se desprende do restante da estrutura com facilidade, e que é envolto por uma estrutura plástica de proteção facilmente removível, para assim evitar danos ao circuito (Figura 4.2.3). E por fim, possui um módulo óptico composto por 60 LEDs dispostos em uma fita.

Figura 4.2.1 – Conjunto básico da luminária, constituído por corpo (estrutura de alumínio revestida de tinta branca), difusor (constituído por 3 camadas), módulo óptico (conjunto de LEDs em fita), e conector (presente no centro da luminária, com ponta metálica).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.2 - Visão do interior da luminária, com enfoque no conjunto de LEDs em fita, colados à estrutura de alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.3 – Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O levantamento das principais dimensões das partes da luminária é indicado na Tabela 4.6.

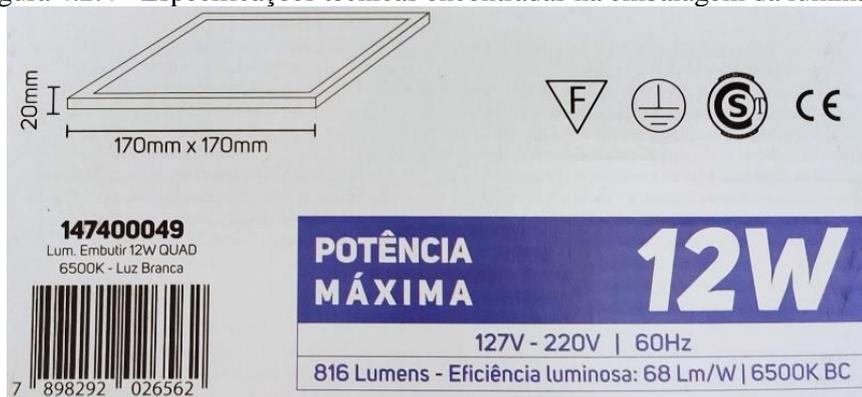
Tabela 4.6 – Principais dimensões das partes da luminária.

	Comprimento	Largura	Altura	Espessura aro quadrado
Dimensões gerais	167 mm	167 mm	14 mm	–
Dimensões do corpo	167 mm	167 mm	9 mm	20 mm
Dimensões da estrutura de fixação dos LEDs	140 mm	140 mm	7 mm	–
Dimensões da fita de LEDs	534 mm	7 mm	–	–
Dimensões dos difusores	135 mm	135 mm	–	–
Dimensões da caixa do driver	63 mm	31 mm	20 mm	–
Dimensões do driver (PCB)	28 mm	18 mm	–	–
Dimensão do cabo conector (luminária ao driver)	166 mm	–	–	–

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 4.2.4, Figura 4.2.5 e Figura 4.2.6 contêm as informações técnicas disponibilizadas pelo fabricante tanto na embalagem do produto, quanto na própria lâmpada.

Figura 4.2.4 - Especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.



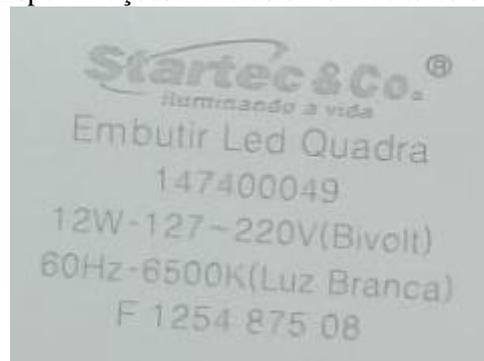
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.5 – Demais especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.6 - Especificações técnicas encontradas no selo da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.7 - Especificações técnicas presentes no driver da luminária.



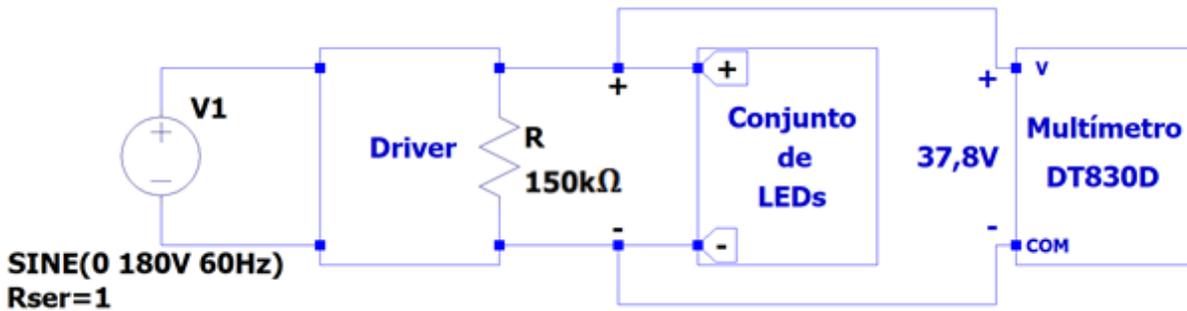
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Análise do módulo óptico

A análise do módulo óptico da luminária LED quadrada de embutir da Startec & Co. se iniciou por meio da obtenção do valor da tensão no terminal C.C. do driver (Tabela 4.7), que é a tensão entre os terminais que envolvem toda a configuração dos LEDs, conforme ilustrado na Figura 4.2.8. Após a obtenção da tensão mencionada, foi inserida uma tensão de teste (Tabela 4.4) em diferentes posições, de forma a abranger toda a extensão do módulo óptico (Figura 4.2.9, Figura 4.2.10 e Figura 4.2.11), sendo essa uma tensão ligeiramente inferior à tensão nominal dos LEDs (ao redor de 3V), para que dessa forma não houvesse o risco de algum LED se queimar. Portanto, com os procedimentos relatados anteriormente se tornou possível a obtenção da configuração dos LEDs na luminária, a determinação da disposição interna de cada um deles.

Com o auxílio do multímetro DT830D da fabricante LEE TOOLS, foi realizada a aferição da tensão no terminal C.C. do driver, denominada de V_{T1} e da corrente que circula nos LEDs, denominada I_T . Ela foi aferida entre os terminais positivo e negativo da fita de LEDs, conforme ilustra a Figura 4.2.8.

Figura 4.2.8 - Método empregado para aferição de tensão entre terminais do conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.7 – Valor de tensão aferido no terminal C.C da luminária.

Nomenclatura	Tensão aferida
V_{T1}	37,80 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

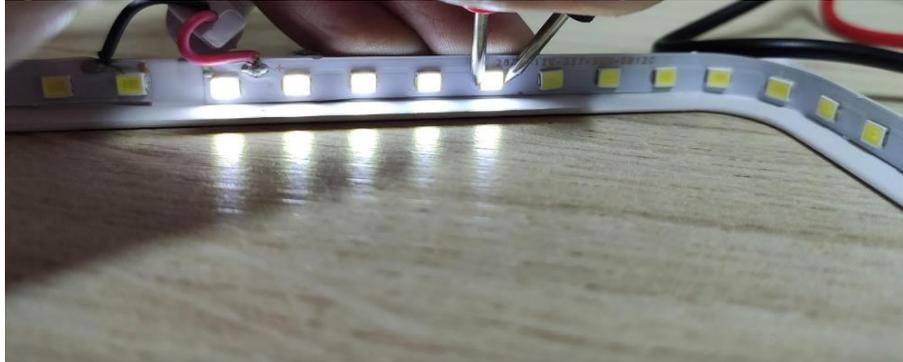
Passando-se para a etapa seguinte, aplicou-se uma tensão de teste sobre os LEDs, na qual foi utilizada a fonte de alimentação C.C. de modelo FA-3003 da fabricante Instrutherm, para que o fornecimento dessa tensão se realizasse de maneira adequada.

Tabela 4.8 – Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da luminária.

Nomenclatura	Tensão aplicada
Tensão de teste	2,50 V

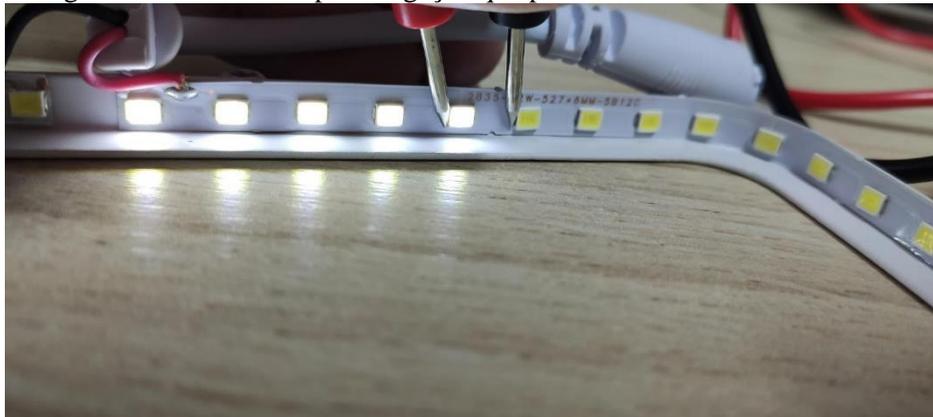
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.9 - Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.



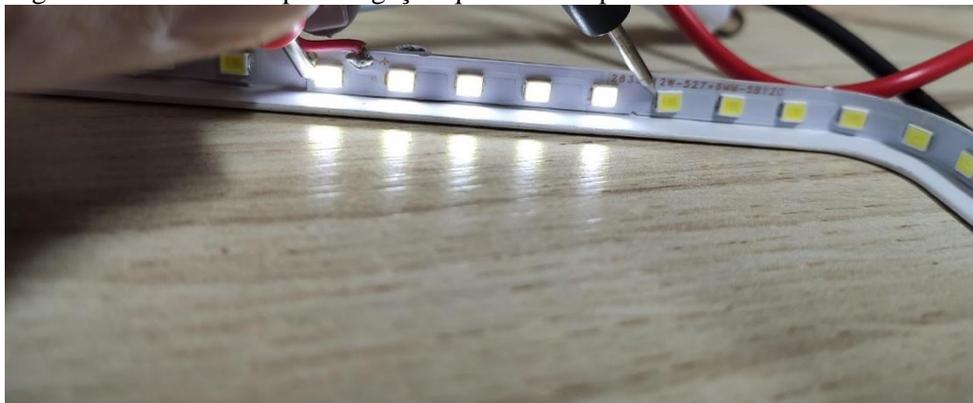
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.10 - Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2.11 - Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

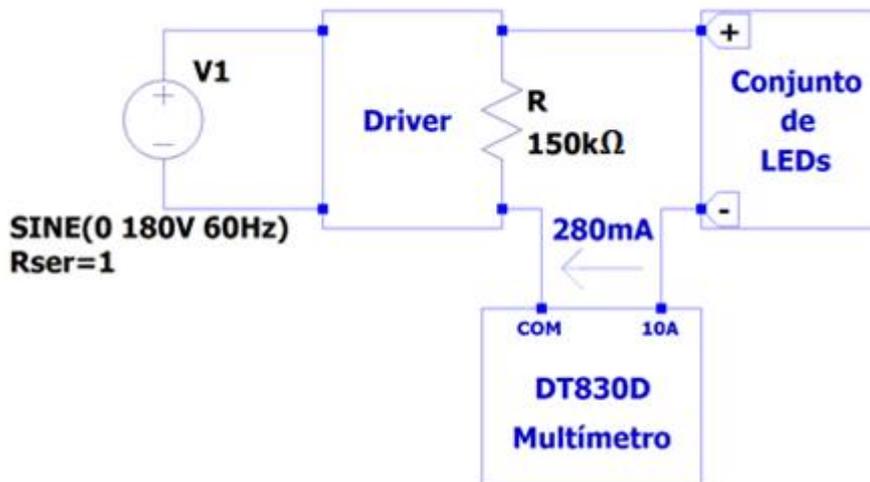
Portanto, com os testes anteriormente realizados, chegou-se na configuração de 12 conjuntos em série de 5 LEDs em paralelo.

Como a tensão no terminal C.C. do driver (V_{T1}) encontrada foi de 37,80 V, a tensão implementada em cada LED separadamente, assumindo que todos possuam as mesmas características, e tenham o mesmo comportamento, é igual à tensão V_{T1} dividida pelo número de conjuntos paralelos presentes, dada pela expressão que se segue:

$$V_{LED} = \frac{37,80 V}{12} = 3,15 V \quad (7)$$

A corrente aproximada que circula em cada arranjo de LEDs foi também aferida, esse processo foi realizado desconectando-se o terminal negativo que conecta o driver ao conjunto de LEDs, e inserindo os terminais do multímetro nos terminais que foram descontinuados, conforme ilustra a Figura 4.2.12, ela foi aferida para posteriormente ser comparada à corrente informada pelo fabricante, fornecida na saída do driver. Já o valor da corrente que circula em cada LED foi obtido por meio do divisor de corrente presente no arranjo de 5 LEDs, de tal maneira que se dividiu a corrente que circula em cada arranjo pelo número de LEDs em paralelo presentes em cada arranjo, conforme mostra a Tabela 4.9.

Figura 4.2.12 – Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.9 – Valores da corrente fornecida aos LEDs da luminária.

Nomenclatura	Corrente aferida	Corrente informada pelo fabricante
I_T	280,00 mA	300,00 mA \pm 5%
$I_{LED} = \frac{I_T}{5}$	$\frac{280 \text{ mA}}{5} = 56,00 \text{ mA}$	$\frac{300 \text{ mA}}{5} = 60,00 \text{ mA} \pm 5\%$

Fonte: Elaborado pelo autor.

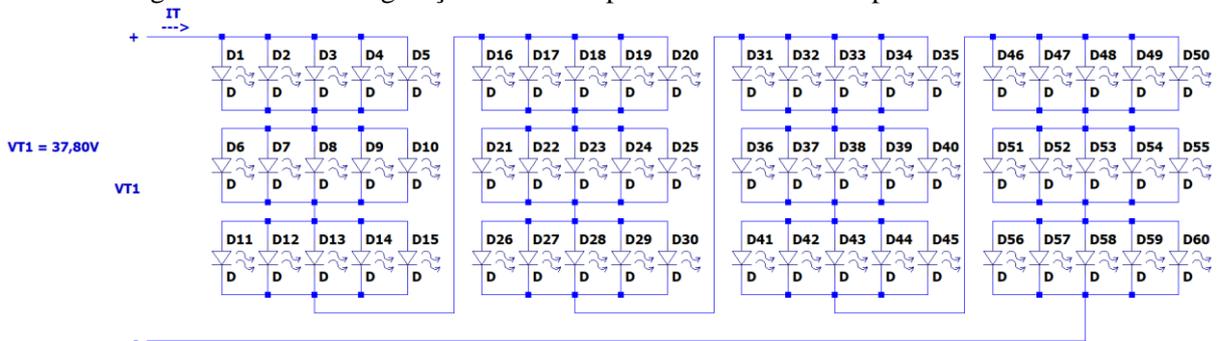
A potência consumida pelos LEDs pôde ser calculada por meio dos valores de tensão e corrente obtidos anteriormente, conforme a equação (8).

$$P_{LED} = V_{T1} \times I_T = 37,80 \text{ V} \times 280 \text{ mA} \quad (8)$$

$$= 10,58 \text{ W}$$

Por meio do valor da tensão aproximada em cada LED presente na luminária, e considerando-se a aparência dos LEDs no interior da lâmpada, chegou-se à conclusão de que o tipo de LED utilizado pelo fabricante é SMD, cuja configuração é ilustrada na Figura 4.2.13.

Figura 4.2.13 – Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 LUMINÁRIA LED QUADRADA DE SOBREPOR KIAN

A empresa brasileira de importação Kian tem como atividade principal o comércio atacadista de mercadorias em geral, sem predominância de alimentos ou insumos agropecuários (46.93-1-00), e como atividades secundárias:

- 46.42-7-02 - Comércio atacadista de roupas e acessórios para uso profissional e de segurança do trabalho;
- 46.49-4-02 - Comércio atacadista de aparelhos eletrônicos de uso pessoal e doméstico;

- 46.49-4-06 - Comércio atacadista de lustres, luminárias e abajures;
- 46.72-9-00 - Comércio atacadista de ferragens e ferramentas;
- 46.73-7-00 - Comércio atacadista de material elétrico;
- 46.79-6-01 - Comércio atacadista de tintas, vernizes e similares;
- 46.79-6-99 - Comércio atacadista de materiais de construção em geral; (CNPJ.ROCKS).

A atividade 46.49-4-06 é a de interesse nesse tipo de estudo, sendo que a empresa em análise teve seu início nesse segmento no ano de 2009, tendo, portanto, pouco mais de 11 anos no mercado. Ela possui sede no município de São Gonçalo – RJ, com escritórios nos municípios de São Paulo – SP, e Rio de Janeiro – RJ, atendendo todo o território brasileiro por meio de seus representantes. Possui seu próprio laboratório de qualidade com área total de 105 m², contando com os melhores equipamentos para análise tanto dos produtos comercializados quanto dos em desenvolvimento, análises estas que consistem em testes fotométricos, elétricos e destrutivos (KIAN ILUMINAÇÃO, 2021).

A Kian possui website (<https://kian.com.br>), e caso seja necessária a obtenção de informações adicionais é possível encontrá-las tanto por meio do próprio website, quanto por meio do SAC (Serviço de Atendimento ao Consumidor).

O modelo de luminária escolhida Kian foi a LED quadrada de sobrepor. O método para se iniciar a análise desse tipo de modelo é análogo ao do modelo analisado anteriormente (luminária LED quadrada de embutir da Startec & Co.), tendo em vista que ambos são bastante similares, com apenas poucas características que os distinguem.

4.3.1 Análise construtiva

O modelo é constituído por um corpo inteiramente de alumínio revestido de tinta de cor branca, corpo esse que pode ser analisado em partes: a parte responsável pela sobreposição da luminária, parte externa, e a parte interna (Figura 4.3.1), sendo essa responsável pela fixação dos LEDs, que se encontram dispostos em uma fita, sendo esses organizados em uma configuração linear quadrada, de forma com que todos fiquem direcionados para o centro da luminária, conforme ilustra a Figura 4.3.2. É também constituído por um difusor composto de 3 camadas, sendo a camada mais interna constituída por uma folha de cor branca, a camada do meio constituída por um vidro texturizado e a camada mais externa constituída por uma folha de aspecto translúcido (Figura 4.3.1). Possui um circuito de acionamento, um driver externo de

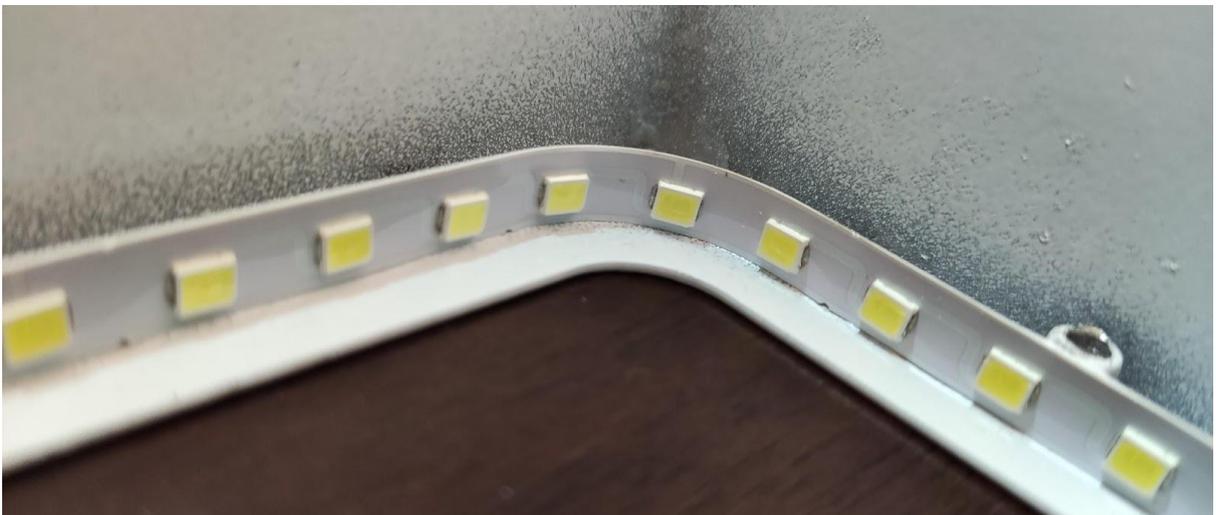
pequenas dimensões que se desprende do restante da estrutura com facilidade, e que é envolto por uma estrutura plástica de proteção facilmente removível, para assim evitar danos ao circuito, ilustrado na Figura 4.3.3. E por fim, possui um módulo óptico composto por 60 LEDs dispostos em uma fita.

Figura 4.3.1 – Conjunto básico da luminária, constituído por corpo (parte de alumínio revestida de tinta na cor branca), difusor (composto por 3 camadas), módulo óptico (fita de LEDs fixada na estrutura interna), e conector (localizado na extremidade inferior direita, com ponta metálica).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.2 - Visão do interior da luminária, com enfoque no conjunto de LEDs fixados na estrutura de alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.3 – Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, encontra-se o levantamento das principais dimensões das partes da luminária, mostrado na Tabela 4.10.

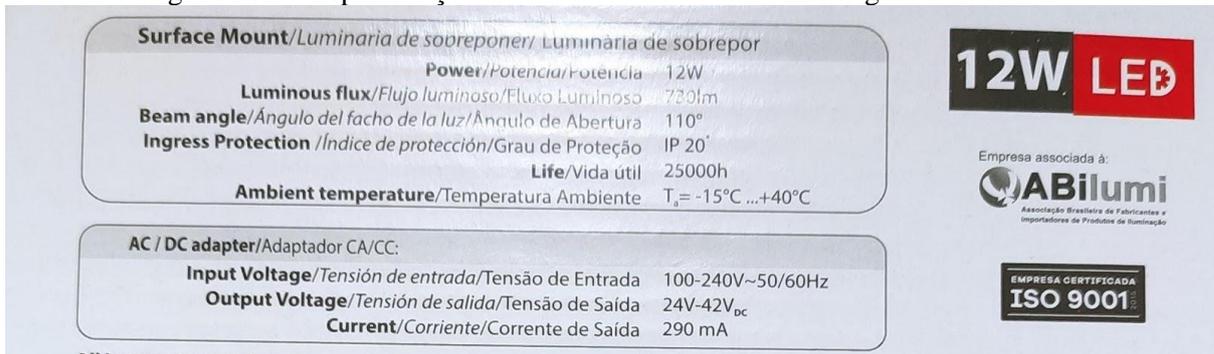
Tabela 4.10 – Principais dimensões das partes da luminária.

	Comprimento	Largura	Altura	Espessura aro quadrado
Dimensões gerais	160 mm	160 mm	29 mm	–
Dimensões do corpo	160 mm	160 mm	29 mm	13 mm
Dimensões da estrutura de fixação dos LEDs	140 mm	140 mm	7 mm	–
Dimensões da fita de LEDs	537 mm	7 mm	–	–
Dimensões dos difusores	135 mm	135 mm	–	–
Dimensões da caixa do driver	63 mm	32 mm	20 mm	–
Dimensões do driver (PCB)	28 mm	18 mm	–	–
Dimensão do cabo conector (luminária ao driver)	162 mm	–	–	–

Fonte: Elaborado pelo autor.

As Figuras 4.3.4, 4.3.5 e 4.3.6 revelam as principais informações para essa luminária, conforme disponibilizadas pelo fabricante tanto na embalagem do produto, quanto por meio de padrões impressos na própria luminária.

Figura 4.3.4 - Especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.5 – Demais especificações técnicas encontradas na embalagem da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.6 - Especificações técnicas encontradas no selo da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.7 - Especificações técnicas encontradas no driver da luminária.



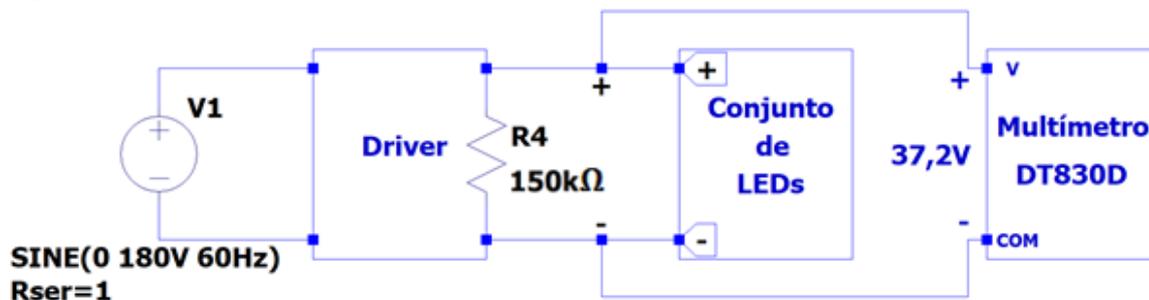
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Análise do módulo óptico

A análise do módulo óptico da luminária quadrada de sobrepor da Kian se iniciou com a aferição da tensão no terminal C.C. do driver (Tabela 4.11), tensão entre os terminais que envolvem toda a configuração dos LEDs, conforme ilustrado na Figura 4.3.8. O passo seguinte foi a aplicação de uma tensão de teste (Tabela 4.12) em diferentes posições ao longo de toda a extensão do módulo óptico, posições estas ilustradas pelas Figuras 4.3.9, 4.3.10 e 4.3.11, sendo essa uma tensão ligeiramente inferior à tensão nominal dos LEDs (em torno de 3V), para que assim não ocorresse o risco de algum LED se queimar. Dessa forma foi possível inferir o tipo de configuração ali presente, determinando qual a disposição dos LEDs em toda a extensão da fita.

Com o auxílio do multímetro DT830D da fabricante LEE TOOLS, foi realizada a aferição da tensão no terminal C.C. do driver, denominada de V_{T1} e da corrente que circula nos LEDs, denominada I_T . Ela foi aferida entre os terminais positivo e negativo da fita de LEDs, conforme ilustra a figura 4.2.8.

Figura 4.3.8 - Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.11 – Valor de tensão aferido no terminal C.C da luminária.

Nomenclatura	Tensão aferida
V_{T1}	37,20 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

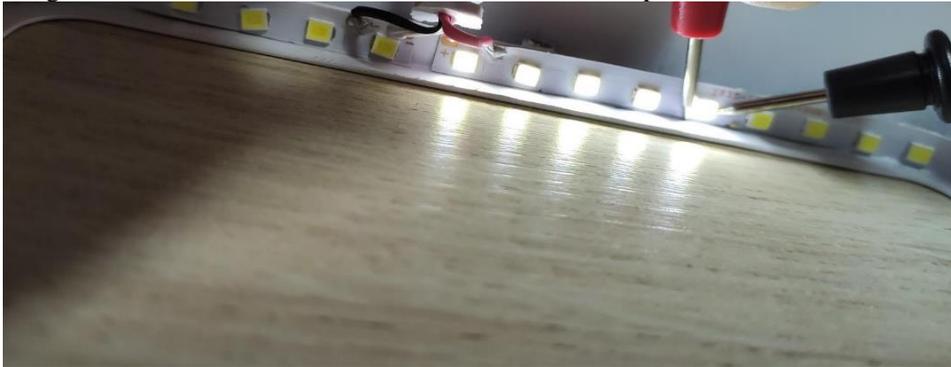
Foi aplicada uma tensão de teste sobre os LEDs, na qual foi utilizada a fonte de alimentação C.C. de modelo FA-3003 da fabricante Instrutherm, para que assim se garantisse o adequado fornecimento dessa tensão.

Tabela 4.12 – Valor da tensão de teste aplicada sobre os LEDs da luminária.

Nomenclatura	Tensão aplicada
Tensão de teste	2,50 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.9 - Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.10 - Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.3.11 - Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

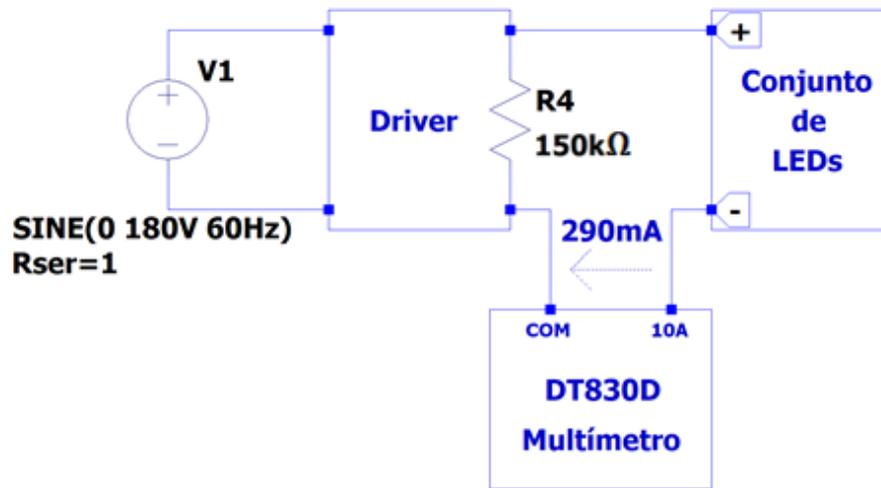
Portanto, com os testes realizados anteriormente, chegou-se na configuração de 12 conjuntos em série de 5 LEDs em paralelo.

Tendo-se encontrada uma tensão no terminal C.C. do driver (V_{T1}) de 37,20 V, a tensão implementada em cada LED separadamente, assumindo que todos possuam as mesmas características, e tenham o mesmo comportamento, é igual à tensão V_{T1} dividida pelo número de conjuntos paralelos presentes, dada pela expressão que se segue:

$$V_{LED} = \frac{37,20 \text{ V}}{12} = 3,10 \text{ V} \quad (9)$$

A corrente aproximada que circula em cada arranjo de LEDs foi também aferida, esse processo foi realizado isolando-se o terminal negativo que conecta o driver ao conjunto de LEDs, e inserindo os terminais do multímetro nos terminais que foram descontinuados, conforme ilustra a Figura 4.3.12, ela foi aferida para posteriormente ser comparada à corrente informada pelo fabricante, fornecida na saída do driver. Já o valor da corrente que circula em cada LED foi obtido por meio do divisor de corrente presente no arranjo de 5 LEDs, de tal forma que se dividiu a corrente que circula em cada arranjo pelo número de LEDs em paralelo presentes em cada arranjo, mostrado na Tabela 4.13.

Figura 4.3.12 – Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ω

Tabela 4.13 – Valores da corrente fornecida aos LEDs da luminária.

Nomenclatura	Corrente aferida	Corrente informada pelo fabricante
I_T	290,00 mA	290,00 mA
$I_{LED} = \frac{I_T}{5}$	$\frac{290 \text{ mA}}{5} = 58,00 \text{ mA}$	$\frac{290 \text{ mA}}{5} = 58,00 \text{ mA}$

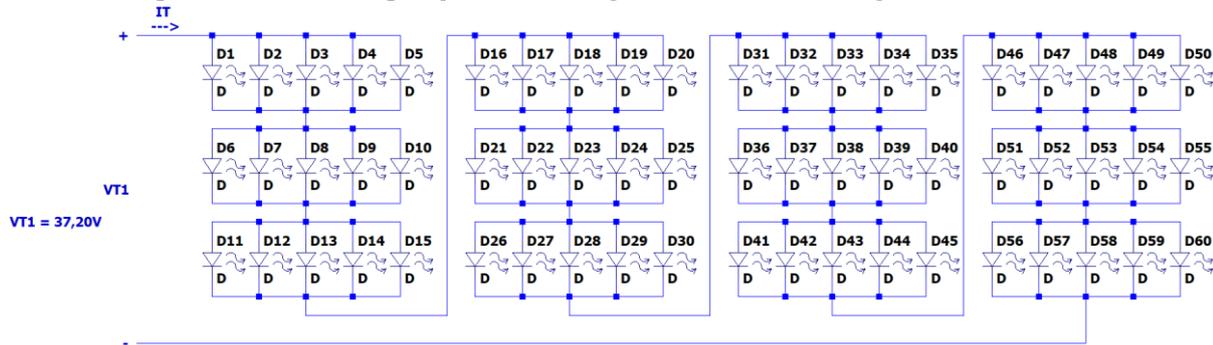
Fonte: Elaborado pelo autor.

A potência consumida pelos LEDs pôde ser calculada por meio dos valores de tensão e corrente obtidos anteriormente, conforme a equação (10).

$$\begin{aligned}
 P_{LED} &= V_{T1} \times I_T = 37,20 \text{ V} \times 290 \text{ mA} \\
 &= 10,79 \text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

O valor da tensão aproximada em cada LED presente na luminária, e o aspecto dos LEDs no interior da luminária, permitem se chegar à conclusão de que o tipo de LED utilizado pelo fabricante é SMD, cuja configuração é ilustrada pela Figura 4.3.13.

Figura 4.3.13 – Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 LÂMPADA BULBO LED KIAN

O modelo em análise trata-se de uma lâmpada bulbo LED da empresa Kian, empresa na qual foram disponibilizadas informações a seu respeito no início da seção 4.3.

A fim de analisar este modelo de lâmpada, primeiramente foi necessária sua desmontagem, que se iniciou com a remoção do difusor semiesférico do restante do corpo, tarefa essa relativamente difícil, pois ela só se tornou possível por meio da utilização de uma lâmina de espessura bastante reduzida, sendo utilizada para a remoção da cola existente entre o corpo e o difusor. Posteriormente, para se obter acesso ao circuito de acionamento do módulo óptico (driver), circuito esse que se encontra acoplado ao próprio módulo óptico, foi preciso desprender o conjunto formado pelo driver e módulo óptico do corpo, sendo que para tal tarefa foi necessária novamente a remoção da cola que une esse conjunto ao corpo, foi necessária também a remoção do pino metálico (conector), que se encontrava na extremidade inferior da lâmpada, oposta à extremidade na qual se encontra o difusor, também acoplado ao corpo, ilustrado no canto inferior esquerdo da Figura 4.4.1.

4.4.1 Análise construtiva

O modelo é formado por um corpo internamente constituído de alumínio, externamente de plástico, com o soquete metálico do tipo E27 envolto ao corpo externamente, que é responsável pela conexão a um dos polos da rede elétrica, e o pino metálico, sendo esse o meio de conexão ao outro polo da rede (Figura 4.4.1). É formado por um difusor de plástico de aspecto translúcido, que se comparado com modelos predecessores de lâmpada de bulbo que eram de vidro, têm a grande vantagem de não se quebrarem facilmente. É constituído por um circuito de acionamento (Figura 4.4.2) relativamente simples, que se encontra no interior do

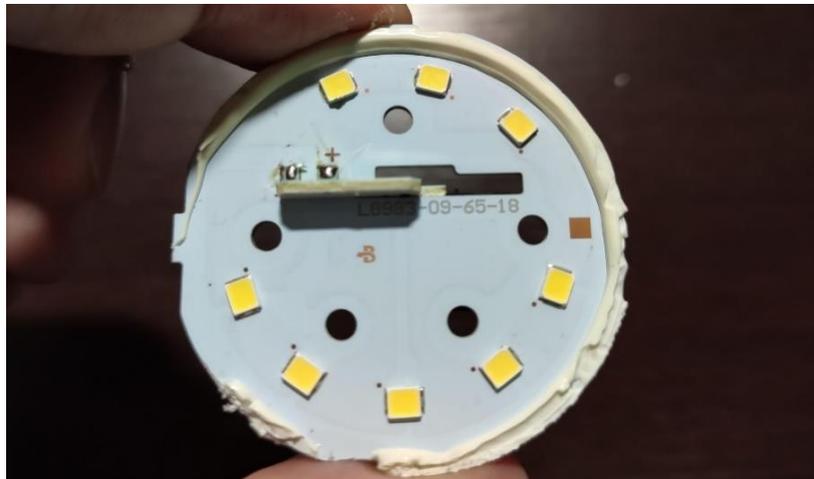
corpo, e que está unido ao módulo óptico (Figura 4.4.3), sendo esse módulo composto por uma estrutura circular metálica, para fins de dissipação do calor produzido pelos LEDs, e que é revestida de um material isolante para que não ocorram curtos nas trilhas que conectam os LEDs ao redor do módulo óptico, LEDs esses que estão presentes em uma quantidade total de oito.

Figura 4.4.1 – Conjunto básico da lâmpada, constituído por corpo (parte plástica revestida internamente por material metálico, e com o soquete presente em sua extremidade), difusor (estrutura plástica de aspecto translúcido), módulo óptico (conjunto de LEDs ao redor da estrutura circular metálica), driver (no interior da estrutura de alumínio), e pino metálico (na extremidade).



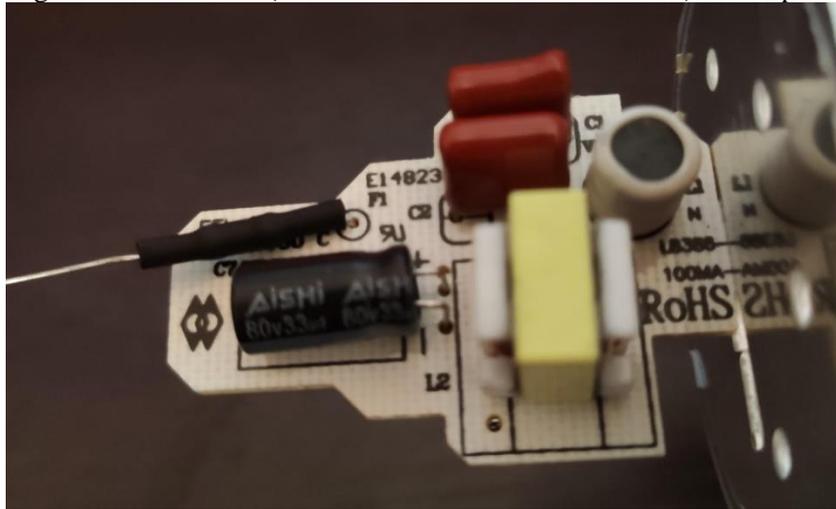
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4.2 - Visão do interior da lâmpada, com enfoque no conjunto de LEDs soldados a estrutura circular de alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4.3 – Driver (circuito de acionamento dos LEDs) da lâmpada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, encontra-se o levantamento das principais dimensões das partes da lâmpada, mostrado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Principais dimensões das partes da lâmpada.

	Comprimento	Largura	Altura	Diâmetro
Dimensões gerais	–	–	102 mm	56 mm (maior diâmetro)
Dimensões do corpo	–	–	62 mm	55 mm (maior diâmetro)
Dimensões do bulbo	–	–	41 mm	56 mm
Dimensões da estrutura metálica de fixação dos LEDs	–	–	–	46 mm
Dimensões do pino metálico	–	–	–	9 mm
Dimensões do soquete E27	–	–	22 mm	25 mm
Dimensões do driver (PCB)	44 mm	25 mm	–	–

Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguem abaixo as informações técnicas disponibilizadas pelo fabricante tanto na embalagem do produto, quanto na própria lâmpada, representadas nas Figuras 4.4.4, 4.4.5 e 4.4.6.

Figura 4.4.4 – Especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.



Figura 4.4.5 – Demais especificações técnicas encontradas na embalagem da lâmpada.



Figura 4.4.6 - Especificações técnicas encontradas no selo da lâmpada.



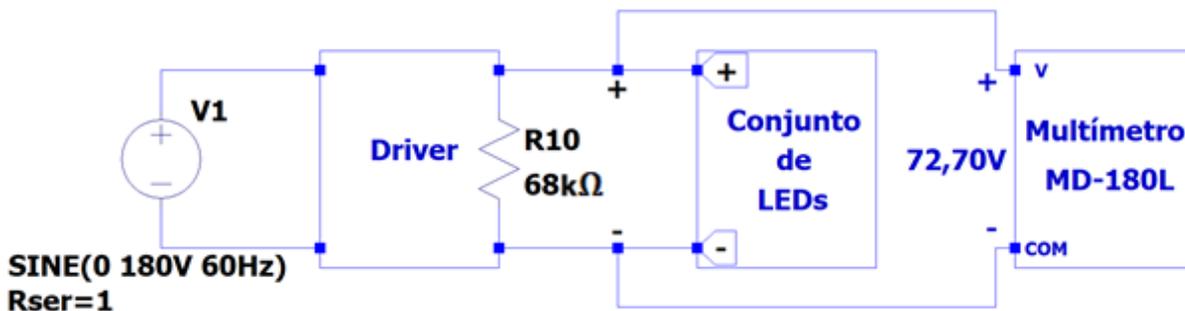
4.4.2 Análise do módulo óptico

A análise do módulo óptico da lâmpada bulbo LED da Kian se iniciou com a aferição da tensão no terminal C.C. do driver (Tabela 4.15), sendo essa a tensão entre os terminais que envolvem todo o conjunto de LEDs, ilustrado na Figura 4.4.7. Após a obtenção do valor da tensão referida, foi aplicada uma tensão de teste em diferentes posições ao longo de toda a extensão do módulo óptico, posições representadas nas Figuras 4.4.8, 4.4.9 e 4.4.10, tensão essa ligeiramente inferior à tensão nominal dos LEDs (em torno de 3V), para que assim não

ocorresse o risco de algum LED se queimar. Aplicando a tensão referida anteriormente foi possível notar que nenhum LED se acendeu, e dessa forma, foi inferido que a região quadrada de cor amarela no módulo óptico em análise na verdade tratava-se de um COB LED, com mais de 1 LED em seu encapsulamento, sendo assim, aplicou-se uma tensão ligeiramente inferior a de um COB LED com 2 LEDs em seu encapsulamento, ao redor de 6V, notando-se também que nenhum LED se acendeu e portanto, novamente aplicou-se uma tensão ligeiramente inferior a de um COB LED com 3 LEDs em seu interior, abaixo de 9V (os valores dessas tensões aplicadas se encontram na Tabela 4.16), e por fim observou-se que uma região quadrada de cor amarela se acendeu, sendo identificado portando que se tratava de um COB LED com 3 LEDs em seu interior, e sendo assim foi possível inferir o tipo de configuração, a disposição dos LEDs ali presente.

Com o auxílio do multímetro MD-180L da fabricante Exbom, foi realizada a aferição da tensão no terminal C.C. do driver, denominada de V_{T1} e da corrente que circula nos LEDs, denominada I_T . Ela foi aferida entre os terminais positivo e negativo da fita de LEDs, conforme ilustra a Figura 4.4.7.

Figura 4.4.7 - Método empregado para aferição de tensão entre os terminais do conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.15 – Valor de tensão aferido no terminal C.C da lâmpada.

Nomenclatura	Tensão aferida
V_{T1}	72,70 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

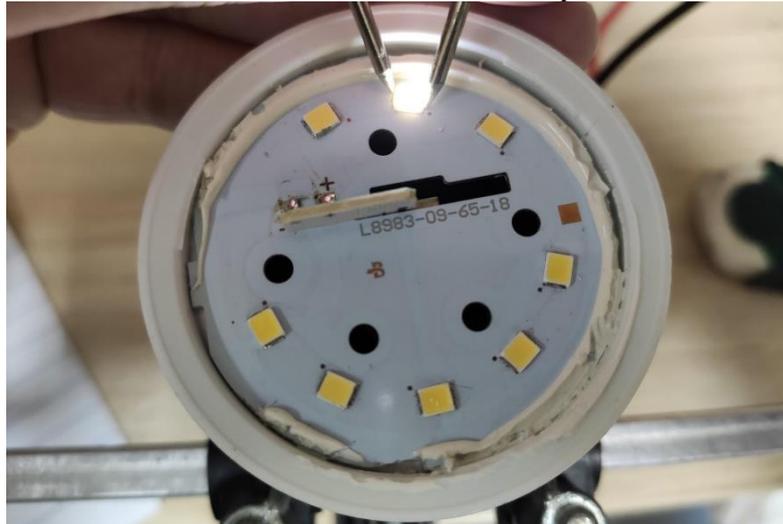
Conforme mencionado anteriormente, aplicou-se tensões de teste sobre os LEDs, na qual foi utilizada a fonte de alimentação C.C. de modelo FA-3003 da fabricante Instrutherm para que essas tensões fossem fornecidas de forma adequada.

Tabela 4.16 – Valor das tensões de teste aplicadas sobre os LEDs da lâmpada.

Nomenclatura	Tensão aplicada
Tensão de teste 1	2,50 V
Tensão de teste 2	5,50 V
Tensão de teste 3	7,50 V

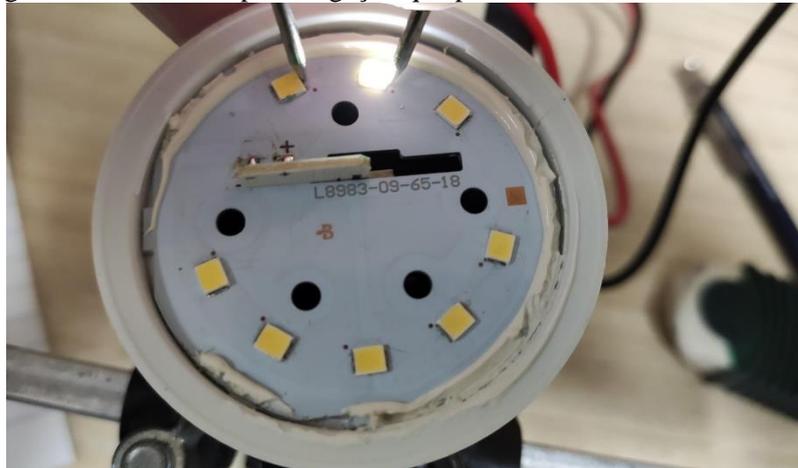
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4.8 - Acionamento do LED com a tensão especificada anteriormente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4.9 - Outro tipo de ligação que permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4.10 - Outro tipo de ligação que também permite o acionamento do LED.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a tensão no terminal C.C. do driver (V_{T1}) encontrada foi de 72,70 V, a tensão implementada em cada COB LED separadamente, assumindo que todos possuam as mesmas características, e tenham o mesmo comportamento, é igual à tensão V_{T1} dividida pelo número de COB LEDs em série presentes, dada pela expressão que se segue.

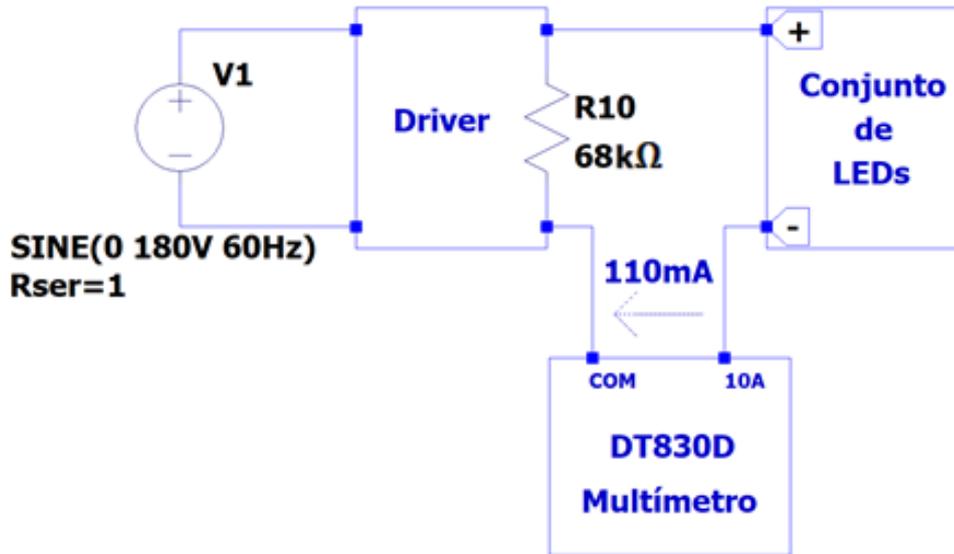
$$V_{COB\ LED} = \frac{72,70\ V}{8} = 9,09\ V \quad (11)$$

E, portanto, a tensão em cada LED contido dentro de um COB LED é dada pela seguinte expressão:

$$V_{LED} = \frac{9,09\ V}{3} = 3,03\ V \quad (12)$$

Já a corrente aproximada que circula em cada arranjo de LEDs foi também aferida, esse processo foi realizado interrompendo a conexão entre o resistor na saída e o polo negativo de alimentação dos LEDs, inserindo os terminais do multímetro nos terminais que foram descontinuados, conforme ilustra a Figura 4.4.11. Ela foi aferida para posteriormente ser comparada à corrente informada pelo fabricante, fornecida na saída do driver. O valor da corrente que circula em cada COB LED foi obtido diretamente, tendo em vista que todos os COB LEDs estão conectados em série, não havendo um divisor de corrente, conforme mostra a Tabela 4.17.

Figura 4.4.11 – Método empregado para aferição da corrente que circula pelo conjunto de LEDs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.17 – Valores da corrente fornecida aos LEDs da lâmpada.

Nomenclatura	Corrente aferida	Corrente informada pelo fabricante
$I_T = I_{COB\ LED}$	110,00 mA	N.D.

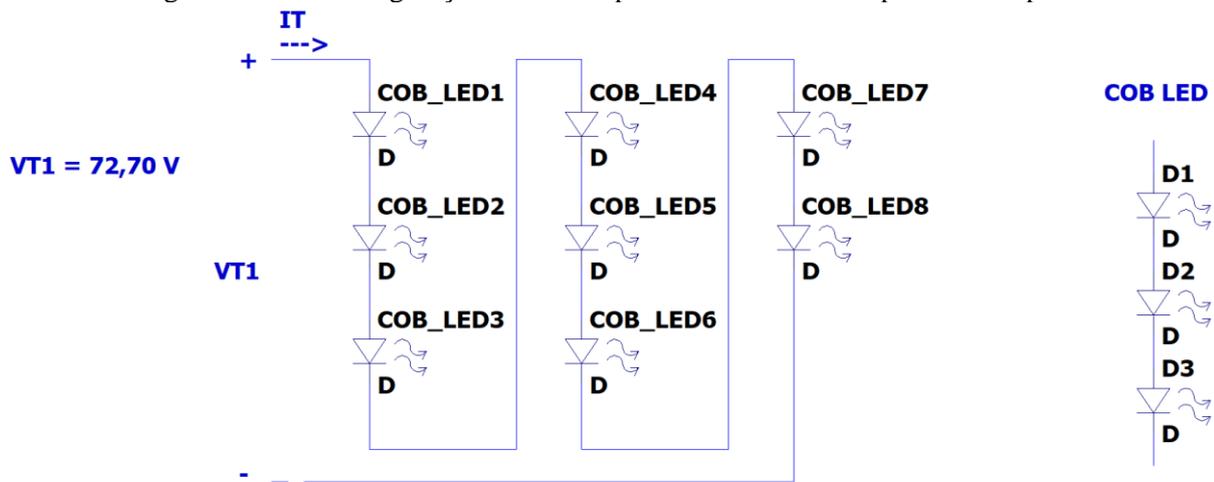
Fonte: Elaborado pelo autor.

A potência consumida pelos LEDs pôde ser calculada por meio dos valores de tensão e corrente obtidos anteriormente, conforme a equação (13).

$$\begin{aligned}
 P_{LED} &= V_{T1} \times I_T = 72,70\text{ V} \times 110\text{ mA} \\
 &= 8,00\text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Portanto, com os testes anteriormente realizados, chegou-se na configuração de 8 COB LEDs em série, ilustrada na Figura 4.4.12.

Figura 4.4.12 - Configuração dos LEDs presentes no módulo óptico da lâmpada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

Foi desenvolvida ao longo deste capítulo a análise construtiva e elétrica dos modelos comerciais adquiridos, sendo expostas características construtivas desses modelos, tais como materiais empregados e dimensões, bem como a obtenção de grandezas e características elétricas presentes cada um deles, obtendo-se valores de tensão e corrente, o tipo de disposição de LED utilizado, e também o tipo de LED empregado.

5 ANÁLISE ELETROELETRÔNICA DOS CIRCUITOS DE ACIONAMENTO

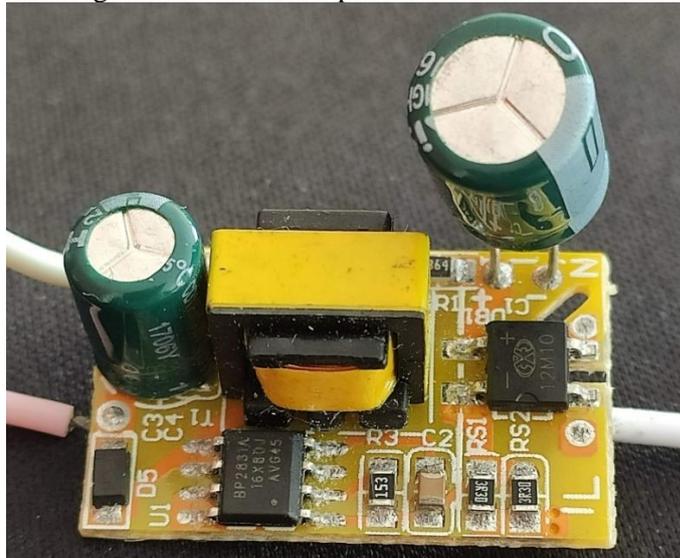
Nesta seção foram levantados os circuitos de acionamento dos LEDs de todos os modelos adquiridos, explicitando os componentes ali presentes e as ligações existentes entre eles, identificando assim o tipo de circuito conversor utilizado.

Vale ressaltar de antemão que o levantamento dos circuitos foi ligeiramente prejudicado pela relativa complexidade das conexões, pela miniaturização das placas, e dificuldade de identificar a funcionalidade do circuito integrado, que muitas vezes pode ser uma estrutura proprietária do fabricante, e que por esse motivo foi representado como uma caixa nos esquemáticos desenvolvidos dos modelos no qual não foi possível se encontrar o *datasheet* do CI, contendo apenas as ligações externas e os respectivos códigos identificadores de cada um deles.

5.1 LÂMPADA LED TUBULAR JOGOU

Primeiramente foi realizado o levantamento de todos os componentes presentes no circuito (figura 5.1.1), e posteriormente a análise das trilhas e ilhas presentes na PCB (Figura 5.1.2) que com o auxílio de um multímetro (foi utilizado o multímetro cujo modelo é DT830D da fabricante LEE TOOLS), realizou-se a verificação de continuidade entre elas, possibilitando assim a identificação de todas as ligações entre todos os componentes presentes no circuito, obtendo-se o levantamento completo de todo o circuito do driver, em um processo denominado de engenharia reversa, processo no qual foi obtida uma etapa anterior do desenvolvimento do projeto (esquemático do circuito), não disponibilizado pelo fabricante, por meio de uma etapa posterior (circuito físico).

Figura 5.1.1 – Vista superior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.1.2 – Vista inferior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.2 informa a lista de componentes presentes nesse circuito e também as características de cada um deles.

Tabela 5.1 – Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.

Tensão de saída aferida	Corrente informada	Corrente aferida	Potência Informada	Potência Calculada
75,4V	240mA \pm 5%	110mA	9W	8,29W

Fonte: Elaborado pelo autor.

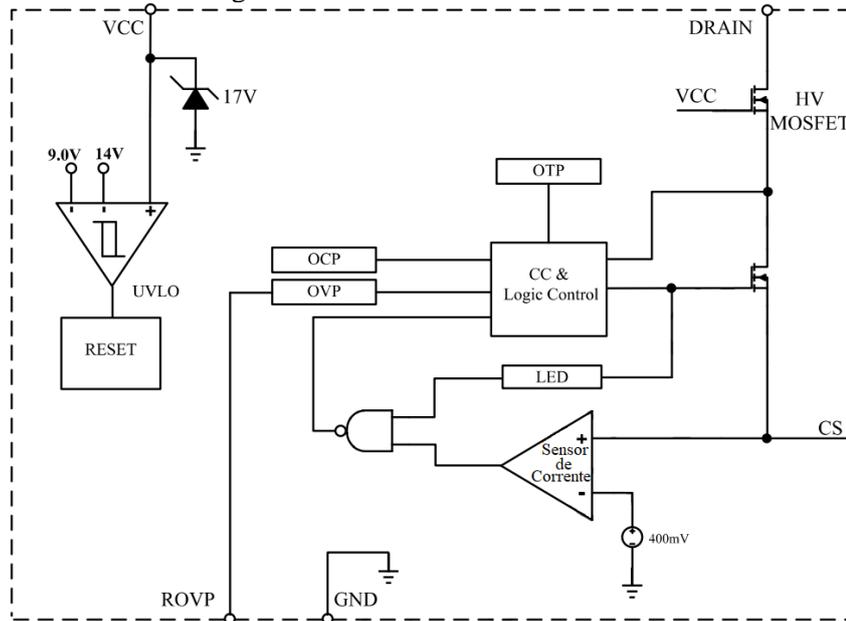
Tabela 5.2 – Levantamento dos componentes presentes no driver da lâmpada.

COMPONENTES PRESENTES NO CIRCUITO DO DRIVER (Lâmpada LED Tubular T8 Jogou)			
Nomenclatura	Nomenclatura no circuito	Função	Valor
12M10	DB1	Ponte Retificadora de diodos	–
ESH	D5	Diodo de recuperação super rápida	–
BP2831A 16X80J AVG45	U1	CI para controle de corrente	–
364	R1	Resistor SMD	360 k Ω
364	R2	Resistor SMD	360 k Ω
153	R3	Resistor SMD	15 k Ω
364	R5	Resistor SMD	360 k Ω
3R30	RS1	Resistor SMD	3,3 Ω
3R30	RS2	Resistor SMD	3,3 Ω
1650Y/400V/6,8 μ F	C1	Capacitor eletrolítico	6,8 μ F
1706Y/400V/2,2 μ F	C3	Capacitor eletrolítico	2,2 μ F
N.D.	C2	Capacitor SMD	N.D.
N.D.	T1	Indutor	N.D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o modelo em análise foi encontrado o *datasheet* do CI, e dessa forma foi possível a obtenção de sua funcionalidade, que se deu por meio do esquemático da estrutura interna do CI ilustrado na Figura 5.1.3, onde é possível identificar a função de cada elemento presente e compreender a relação das ligações externas, aquelas conectadas nos pinos do CI, com as internas, presentes no interior do CI.

Figura 5.1.3 – Estrutura interna do CI.



Fonte: Adaptado de BDS.

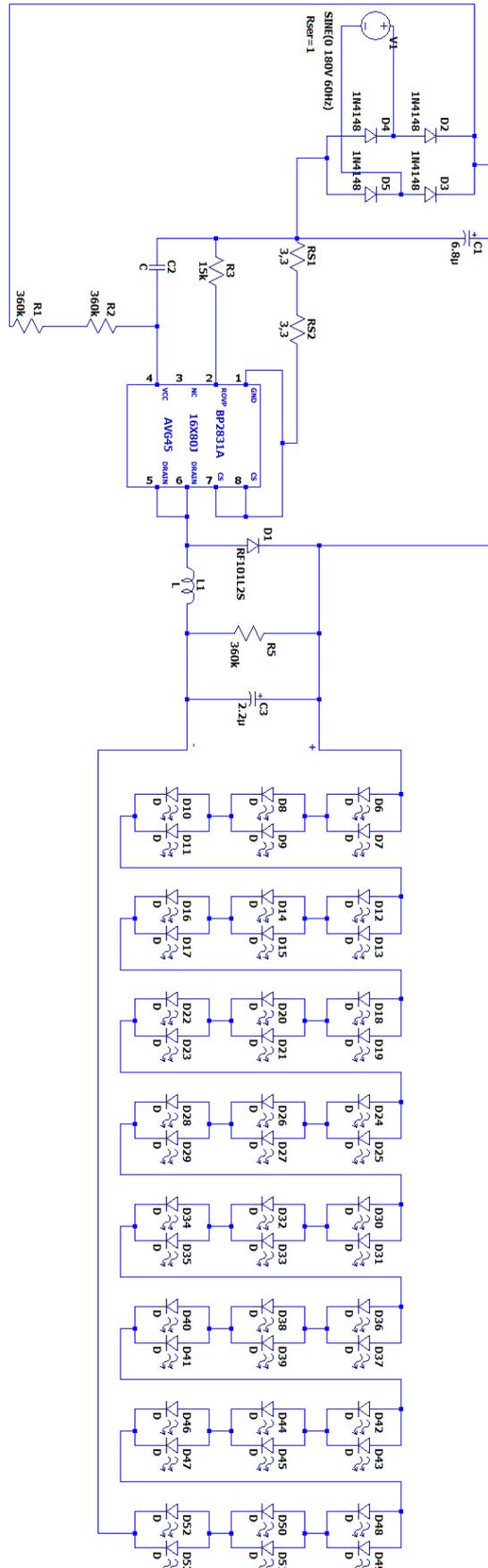
Tabela 5.3 – Atribuições dos pinos presentes no CI.

Número do pino	Nomenclatura	Função
1	GND	Terra
2	ROVP	Pino de proteção contra sobretensão Conecta um resistor ao GND
3	NC	Sem conexão, podendo ser conectado ao GND
4	VCC	Pino de alimentação
5,6	DRAIN	Dreno interno do MOSFET HV Power
7,8	CS	Pino do sensor de corrente Conecta um resistor sensível entre esse pino e o GND

Fonte: Adaptado de BDS.

O processo de análise do circuito empregado, mencionado anteriormente, resultou no esquemático ilustrado na Figura 5.1.4. Analisando-se esse esquemático, percebe-se a presença de um conversor, sendo esse conversor do tipo abaixador C.C.-C.C *buck*, identificado próximo aos LEDs, na saída do circuito, implementado no CI e com elementos auxiliares passivos característicos, tais como o indutor, resistor e o capacitor.

Figura 5.1.4 – Esquemático obtido por meio das análises realizadas na lâmpada.

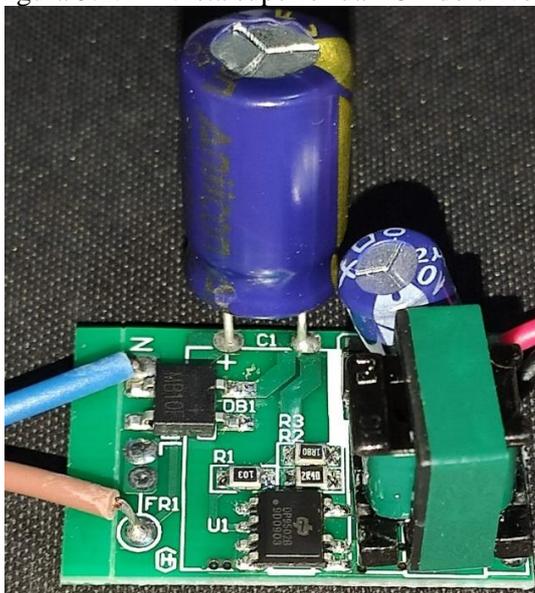


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 LUMINÁRIA LED QUADRADA DE EMBUTIR STARTEC & CO.

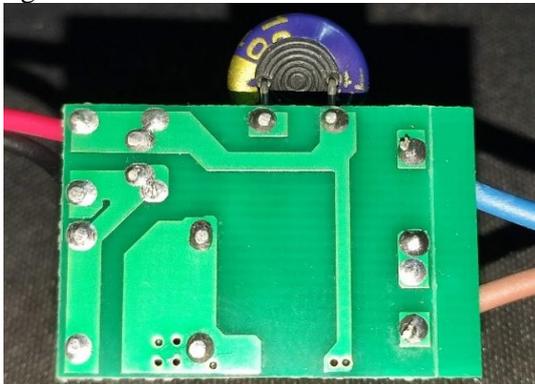
Realizou-se o levantamento de todos os componentes presentes no circuito, dando-se início posteriormente à análise das ilhas e trilhas presentes na PCB que com o auxílio de um multímetro (foi utilizado o multímetro cujo modelo é DT830D da fabricante LEE TOOLS) foi possível verificar a continuidade entre elas, possibilitando assim a identificação de todas as ligações entre todos os componentes presentes no circuito, e com isso levantou-se o circuito completo do driver, em um processo de engenharia reversa, sendo seu conceito já mencionado anteriormente.

Figura 5.2.1 – Vista superior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.2.2 – Vista inferior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo está presente a Tabela 5.4, que retoma as grandezas elétricas relacionadas ao driver, obtidas nas análises anteriores, para esse tipo de luminária.

Tabela 5.4 – Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.

Tensão de saída aferida	Corrente informada	Corrente aferida	Potência Informada	Potência Calculada
37,8V	300mA \pm 5%	280mA	12W	10,58W

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.5 descreve os componentes presentes no circuito, caracterizando-os.

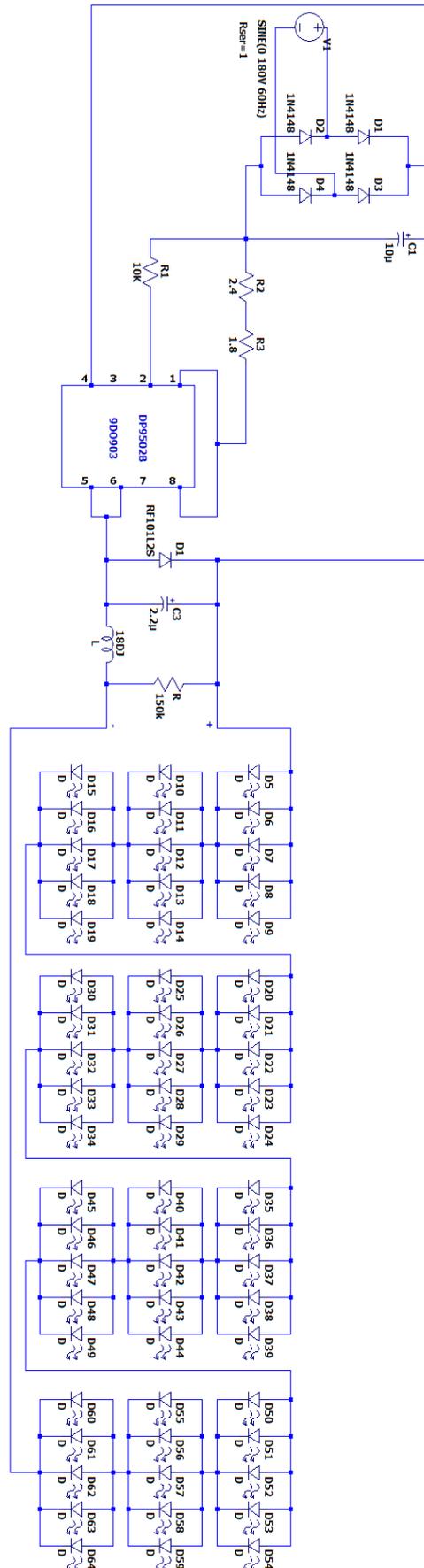
Tabela 5.5 – Levantamento dos componentes presentes no driver da luminária.

LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES PRESENTES NO CIRCUITO DO DRIVER (Luminária quadrada de sobrepor Startec & Co.)			
Nomenclatura	Nomenclatura no circuito	Função	Valor
MB10F	DB1	Ponte Retificadora de diodos	–
ES1J	D1	Diodo de recuperação super rápida	–
DP9502B 9DO903	U1	C.I. para controle de corrente	–
103	R1	Resistor SMD	10 k Ω
2R40	R2	Resistor SMD	2,4 Ω
1R80	R3	Resistor SMD	1,8 Ω
154	N.D.	Resistor SMD	150 k Ω
CD11GH/400V/10 μ F	C1	Capacitor eletrolítico	10 μ F
CD11GH/250V/2,2 μ F	C2	Capacitor eletrolítico	2,2 μ F
18 DJ	N.D.	Indutor	N.D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O esquemático obtido por meio da análise do circuito presente na PCB é ilustrado na Figura 5.2.3. Por meio da análise desse esquemático percebe-se a presença de um conversor, conversor esse que é do tipo abaixador C.C.-C.C *buck*, identificado próximo aos LEDs, na saída do circuito, implementado no CI e com elementos auxiliares passivos, tais como o resistor, capacitor e indutor.

Figura 5.2.3 – Esquemático obtido por meio das análises realizadas na luminária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 LUMINÁRIA LED QUADRADA DE SOBREPOR KIAN

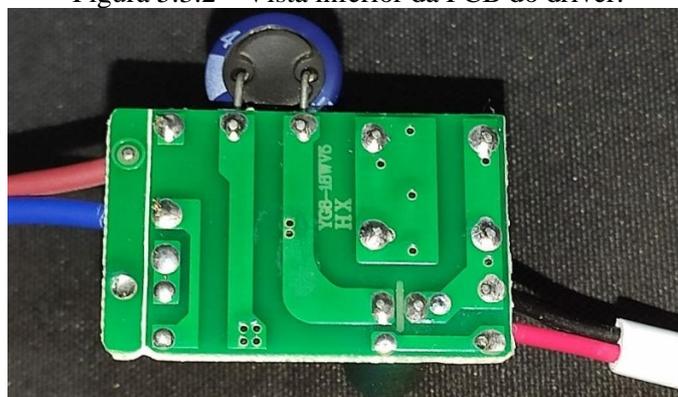
Realizou-se o levantamento de todos os componentes presentes no circuito, e posteriormente a análise das trilhas e ilhas presentes na PCB, verificando-se a continuidade entre elas com o auxílio de um multímetro (foi utilizado o multímetro cujo modelo é DT830D da fabricante LEE TOOLS), possibilitando dessa forma o conhecimento sobre a ligação entre todos os componentes presentes no circuito, obtendo-se assim o levantamento completo de todo o circuito do driver, caracterizando um processo de engenharia reversa, cujo conceito é mencionado no início deste capítulo.

Figura 5.3.1 – Vista superior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.3.2 – Vista inferior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.6 retoma as grandezas elétricas relacionadas ao driver, obtidas nas análises anteriores, para esse tipo de luminária.

Tabela 5.6 – Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.

Tensão de saída aferida	Corrente informada	Corrente aferida	Potência Informada	Potência Calculada
37,2V	290mA	290mA	12W	10,79W

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.7 contém o levantamento dos componentes do circuito, apresentando as características de cada um deles.

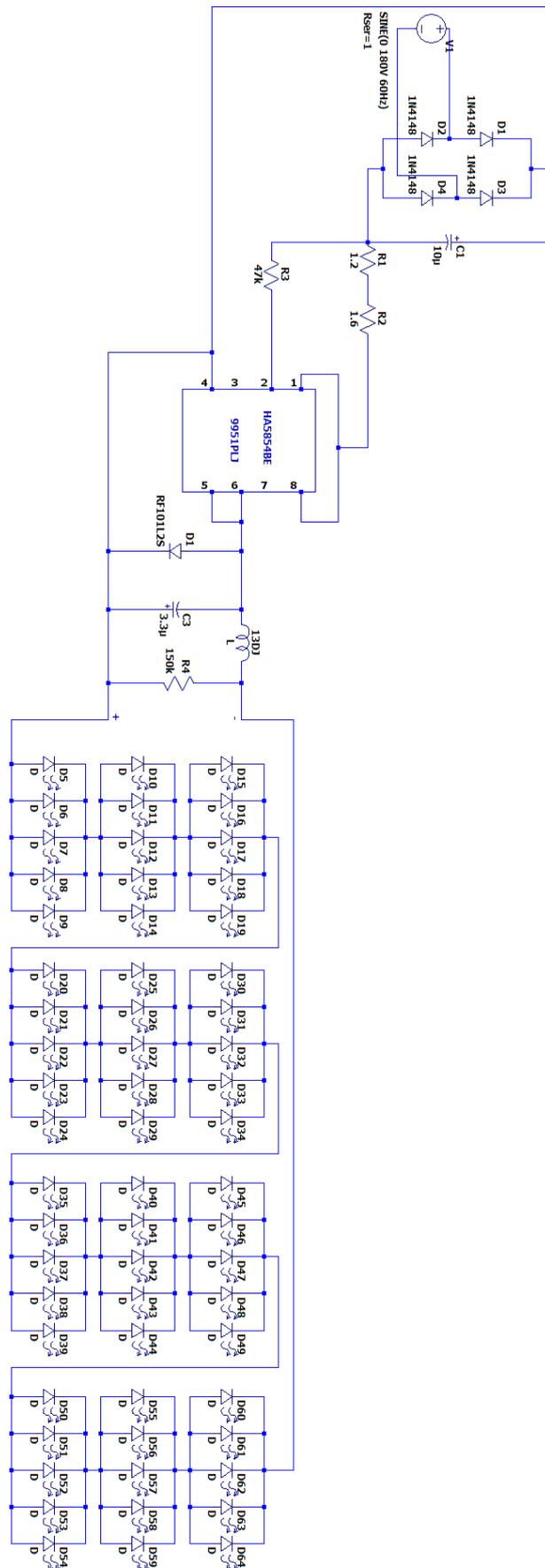
Tabela 5.7 – Levantamento dos componentes presentes no driver da luminária.

LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES PRESENTES NO CIRCUITO DO DRIVER (Luminária quadrada de embutir Kian)			
Nomenclatura	Nomenclatura no circuito	Função	Valor
MB10F T/6D	–	Ponte Retificadora de diodos	–
ES1J T/6D	D1	Diodo de recuperação super rápida	–
HA5854BE 9951PLJ	N.D.	CI para controle de corrente	–
1R20	R1	Resistor SMD	1,2 Ω
1R60	R2	Resistor SMD	1,6 Ω
473	R3	Resistor SMD	47 k Ω
154	R4	Resistor SMD	150 k Ω
1930Z/400V/10 μ F	C1	Capacitor eletrolítico	10 μ F
CD11G/250V/3,3 μ F	C2	Capacitor eletrolítico	3,3 μ F
13 DJ	N.D.	Indutor	N.D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5.3.3 ilustrada abaixo é o resultado do processo de análise realizado nas etapas anteriores, ela representa o esquemático do circuito presente no driver da luminária. A análise desse esquemático permite observar a presença de um conversor, sendo esse do tipo abaixador C.C.-C.C *buck*, localizado próximo aos LEDs, na saída do circuito, implementado no CI e com elementos auxiliares passivos característicos, tais como o capacitor, resistor e o indutor.

Figura 5.3.3 – Esquemático obtido por meio das análises realizadas na luminária.

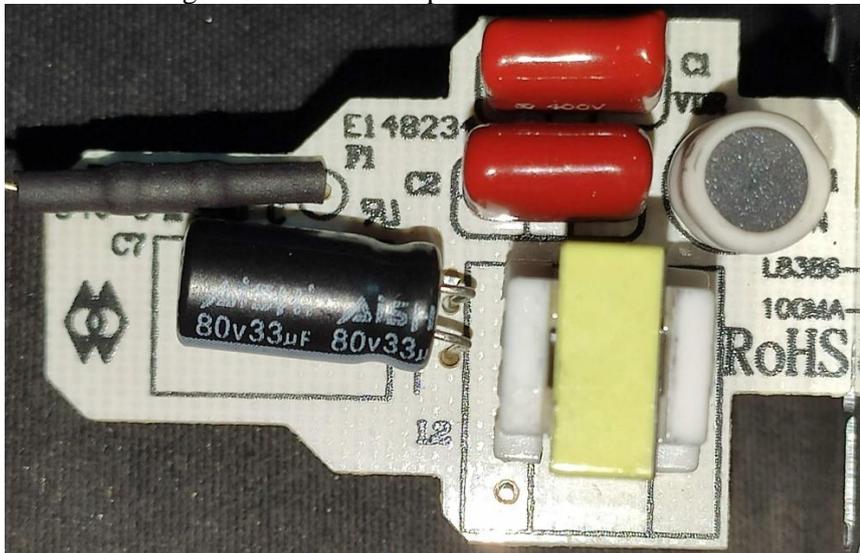


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 LÂMPADA BULBO LED KIAN

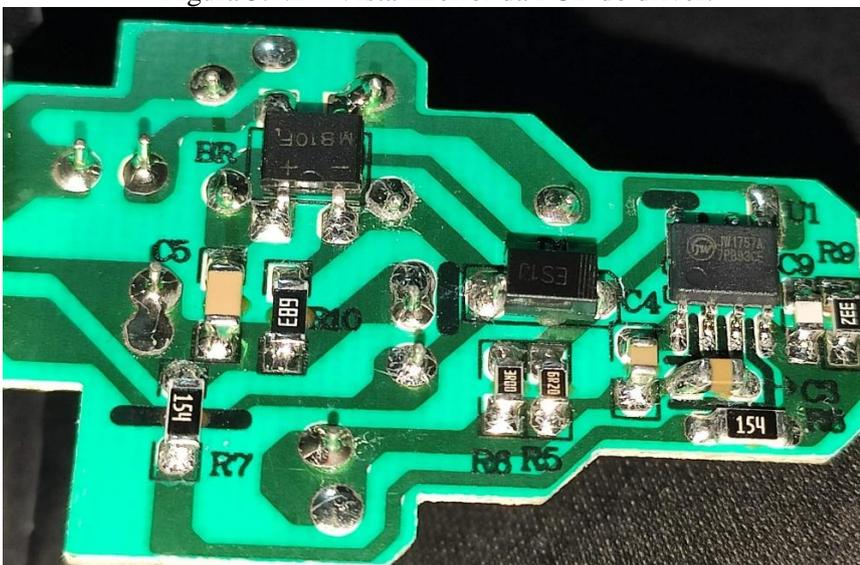
Foi realizado o levantamento de todos os componentes presentes no circuito, e posteriormente a análise das trilhas e ilhas presentes na PCB, verificando-se a continuidade delas com o auxílio de um multímetro (foi utilizado o multímetro cujo modelo é DT830D da fabricante LEE TOOLS), identificando assim todas as ligações entre todos os componentes presentes no circuito, fato que resultou no levantamento completo de todo o circuito do driver, em um processo denominado de engenharia reversa, cujo conceito já foi mencionado nas seções anteriores.

Figura 5.4.1 – Vista superior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.4.2 – Vista inferior da PCB do driver.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.8 reúne as grandezas elétricas relacionadas ao driver, obtidas nas análises anteriores, para esse tipo de lâmpada. Por outro lado, a Tabela 5.9 apresenta todos os componentes presentes no circuito, expondo as características de cada um deles.

Tabela 5.8 – Grandezas elétricas obtidas anteriormente relacionadas ao driver.

Tensão de saída aferida	Corrente informada	Corrente aferida	Potência Informada	Potência Calculada
72,7V	N.D.	110mA	9W	8,00W

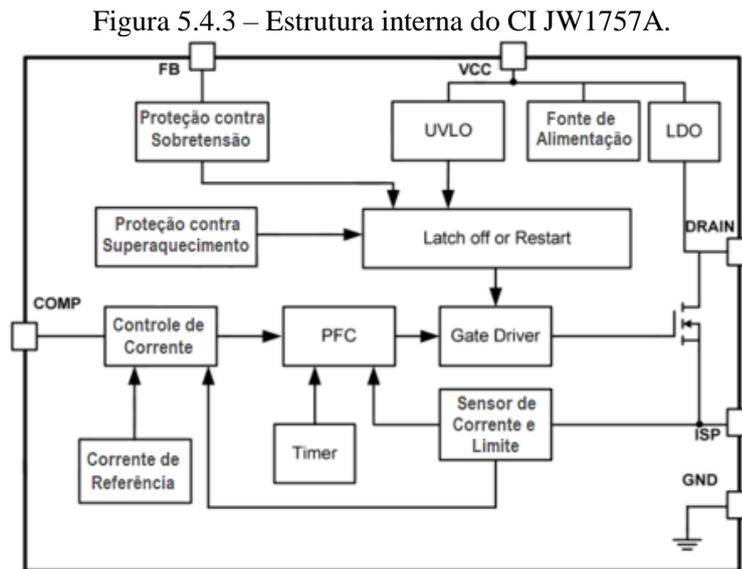
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.9 – Levantamento dos componentes presentes no driver da lâmpada.

LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES PRESENTES NO CIRCUITO DO DRIVER (Bulbo LED Kian)			
Nomenclatura	Nomenclatura no circuito	Função	Valor
MB10F	BR	Ponte Retificadora de diodos	–
ES1J	D1	Diodo de recuperação super rápida	–
JW1757A 7BP93CE	U1	CI para controle de corrente	–
6R20	R5	Resistor SMD	6,2 Ω
3R00	R6	Resistor SMD	3 Ω
154	R7	Resistor SMD	150 k Ω
154	R8	Resistor SMD	150 k Ω
332	R9	Resistor SMD	3,3 k Ω
683	R10	Resistor SMD	68 k Ω
B154J/400V	C1	Capacitor poliéster	150 nF
B154J/400V	C2	Capacitor poliéster	150 nF
1726J/80V/33 μ F	C7	Capacitor eletrolítico	33 μ F
N.D.	C3	Capacitor SMD	N.D.
N.D.	C4	Capacitor SMD	N.D.
N.D.	C5	Capacitor SMD	N.D.
N.D.	C9	Capacitor SMD	N.D.
N.D.	L1	Indutor	N.D.
XY25	L2	Indutor	N.D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi encontrado o *datasheet* do CI no modelo em análise, permitindo a obtenção de sua funcionalidade, que se deu por meio do esquemático da estrutura interna do CI ilustrado na Figura 5.4.3, identificando assim a função de cada elemento presente e compreendendo a relação das ligações externas, aquelas conectadas nos pinos do CI, com as internas, presentes no interior do CI.



Fonte: Adaptado de JWJOULWATT.

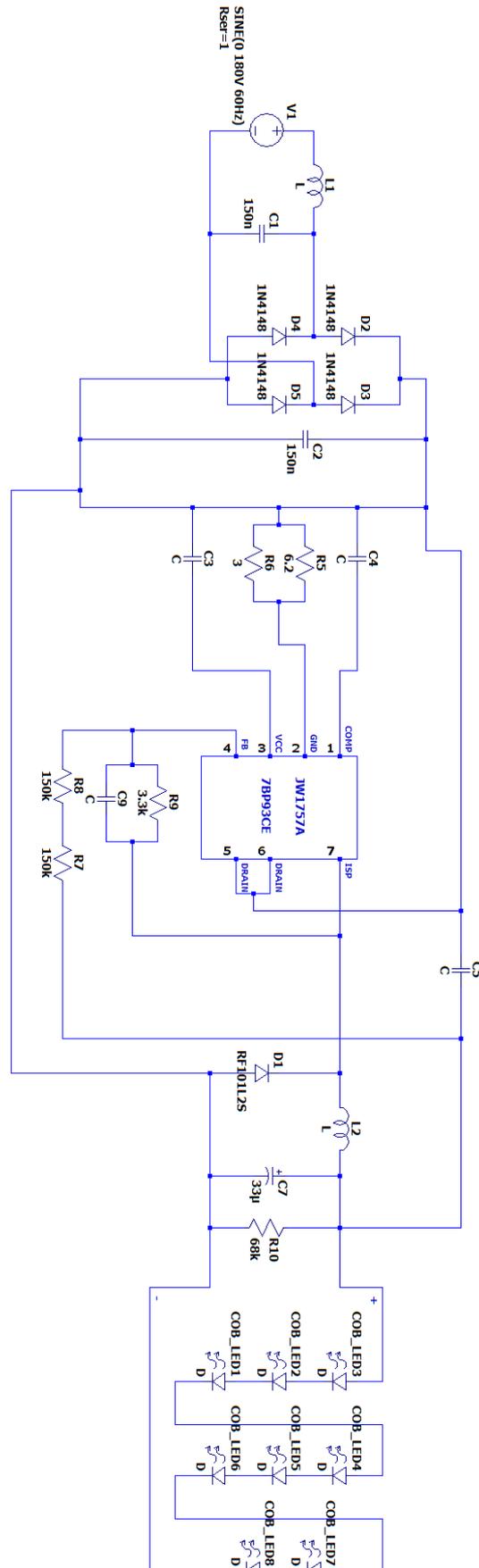
Tabela 5.10 – Atribuições dos pinos presentes no CI.

Pinagem	Nomenclatura	Função
1	COMP	Pino de compensação para erro interno do amplificador Conecta um capacitor entre esse pino e o GND para compensar loop do feedback interno
2	GND	Terra
3	VCC	Pino de alimentação
4	FB	Pino de feedback de tensão de saída
5,6	DRAIN	Dreno do MOSFET
7	ISP	Pino da saída do sensor de corrente

Fonte: Adaptado de JWJOULWATT.

A análise do circuito do driver, mencionada anteriormente, resultou no esquemático ilustrado na Figura 5.4.4. Um conversor pode ser identificado por meio desse esquemático obtido, sendo esse conversor do tipo abaixador C.C.-C.C *buck*, sendo ele localizado próximo aos LEDs, na saída do circuito, implementado no CI e com elementos auxiliares passivos característicos, tais como o indutor, capacitor e o resistor.

Figura 5.4.4 – Esquemático obtido por meio das análises realizadas na lâmpada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi desenvolvida a análise do circuito de acionamento dos modelos adquiridos, na qual foram obtidas informações sobre todos os componentes presentes em cada circuito, e também informações sobre as ligações entre esses componentes, desmistificando dessa forma, o esquemático do projeto de cada um deles, sendo de fundamental importância no entendimento da funcionalidade de cada circuito, bem como na identificação do tipo de conversor que foi utilizado.

6 DISCUSSÃO GERAL

6.1 AVALIAÇÃO CRÍTICA

Inicia-se neste capítulo as principais discussões sobre os modelos adquiridos, podendo ser divididas em dois aspectos, sendo eles os aspectos construtivos e os aspectos elétricos.

Aspectos construtivos:

- Os materiais de maneira geral, utilizados na construção de cada um deles são similares;
- As dimensões dos modelos de luminária possuem valores muito próximos;
- Constatou-se a presença de alumínio em todos, o que ajuda principalmente na dissipação de calor;
- São utilizados difusores idênticos nas luminárias de mesma categoria, e nas lâmpadas ocorre o emprego de um mesmo material plástico nos produtos;
- Quanto à localização do driver, constatou-se que eles são dissociados dos módulos ópticos nas luminárias tubulares e de painel, mas são normalmente integrados aos modelos bulbo, apresentando difícil remoção ou reparo.

Aspectos eletroeletrônicos:

- São utilizados LEDs do tipo SMD em todos os modelos com exceção do bulbo LED da Kian;
- São utilizados LEDs do tipo COB no bulbo LED Kian;
- Constatou-se uma mesma quantidade e mesma disposição (tipo de configuração) de LEDs no módulo óptico das luminárias de mesmo grupo;
- Constatou-se uma pequena quantidade de elementos emissores de luz no modelo bulbo pelo fato de empregarem o tipo LED COB (chip on board), alcançando assim um brilho muito superior ao dos demais modelos (tubular e painel) que, por sua vez, adotam um sistema de associação série-paralelo de LEDs de baixa potência (reduzida corrente de alimentação e fluxo luminoso reduzido);
- Nos modelos que empregam LEDs de baixa potência foi constatada uma quantidade mais significativa de unidades luminosas;

- A forma de disposição das unidades LEDs nos módulos ópticos se mostrou diversa, com variados arranjos de configuração série-paralelo, com exceção das luminárias painéis que utilizam uma associação de 12 conjuntos em série de 5 LEDs em paralelo;
- Verificou-se que as tensões fornecidas ao conjunto de LEDs possuem valores relativamente próximos nas lâmpadas e valores bastante próximos nas luminárias, devido à configuração dos LEDs implementada em cada tipo de modelo;
- Os valores de tensão e corrente obtidos com os instrumentos utilizados (multímetros digitais simples para uso residencial
- Constatou-se uma possível irregularidade no fator de potência e na corrente fornecida pelo driver informados pelo fabricante de marca Jogou, em que a corrente aferida é mais de duas vezes menor que a informada. A irregularidade no valor da corrente pode ser sustentada ao se calcular o valor da potência consumida pelos LEDs, em que por meio da corrente informada pelo fabricante, e com o valor de tensão entre os terminais C.C. aferido anteriormente, estaria sendo consumida pelos LEDs uma potência elevada, cerca de 50% superior à informada, fato que possivelmente trata-se de um equívoco do fabricante, que muito provavelmente inseriu a informação de outro tipo de luminária de potência mais elevada. Já a irregularidade no fator de potência pode ser sustentada pelo fato de o circuito não apresentar algum tipo de correção de fator de potência para que o mesmo seja tão elevado assim, sendo maior do que 0,9;
- A potência consumida pelos LEDs, calculada em todos os modelos foi bastante próxima à potência informada pelos fabricantes;
- Com relação aos drivers dos modelos, destaca-se a similaridade entre as luminárias, tendo em vista que as conexões entre os componentes são as mesmas, alterando-se apenas pequenas características do projeto por meio dos valores de alguns componentes.
- Todos os drivers implementam a topologia do conversor abaixador C.C.-C.C. *buck* localizado próximo aos terminais de saída;
- O driver presente na lâmpada LED tubular apresenta conexões entre seus componentes muito similares às presentes nas luminárias, com apenas a adição de um capacitor e dois resistores, conectados à ponte retificadora;
- O driver presente na lâmpada bulbo LED apresenta algumas conexões em comum com os demais modelos adquiridos, porém com uma maior complexidade, apresentando correção de fator de potência, com um maior número de componentes, e devido ao fato

da miniaturização desses, foi impedida muitas vezes a obtenção de informações cruciais a respeito de cada um deles;

- Houve uma dificuldade de se identificar a funcionalidade de cada circuito integrado presente nos drivers de todos os modelos, pois não foi possível a obtenção de informações técnicas em *datasheets*, por exemplo, tendo em vista que muitas vezes esses circuitos integrados podem ser uma estrutura proprietária do fabricante;
- O levantamento do circuito presente nos drivers dos modelos foi ligeiramente prejudicado pela miniaturização das PCBs, impedindo assim a obtenção de informações de alguns componentes, pois elas não estão disponíveis no próprio componente, devido a essa miniaturização mencionada.

6.2 ANÁLISE DE EMPREGO NA TECNOLOGIA VLC

Na análise de adequação dos modelos à tecnologia de comunicação de dados por luz visível (VLC) tem-se uma notável vantagem nos modelos de luminária, tendo em vista o maior espaço interno e a localização externa de seus drivers, pois dessa forma é facilitada alguma possível intervenção nesses modelos. Já nos modelos de lâmpada, tanto a tubular quanto a bulbo, torna-se mais dificultada essa possibilidade de intervenção, pois ambas possuem driver localizado internamente e pouco espaço interno, porém, apesar de ser dificultada a intervenção nesses modelos, não se torna impossível sua realização, já que a miniaturização das placas de circuito impresso presente nos dias atuais vem se desenvolvendo de forma surpreendente, possibilitando assim a inserção de circuitos impressos em locais antes inimagináveis.

6.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

Foram apresentadas neste capítulo as discussões relacionadas aos capítulos anteriores. Foram relatadas as semelhanças e diferenças entre os modelos, bem como características específicas de cada um deles, tanto no que se diz respeito ao aspecto construtivo quanto no eletroeletrônico. Foi discutido também neste capítulo a adequação dos modelos ao serem empregados em tecnologias que necessitam de algum tipo de intervenção, como a exemplo da comunicação de dados por luz visível (VLC).

7 CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES FINAIS

Foi apresentada a dependência do ser humano com a iluminação, de tal forma que ele buscou formas para suprir essa necessidade nos momentos em que ela não se encontrava presente, e dessa maneira, usando uma característica que o diferencia dos demais animais, criou diferentes tipos de artifícios para a realização de tal tarefa, dando origem a todo o sistema de iluminação artificial, presente inclusive nos dias de hoje.

O tipo de iluminação artificial mais utilizado nos dias de hoje sem sombra de dúvidas é aquele que se baseia em diodos emissores de luz, tecnologia conhecida por sua sigla proveniente do inglês LED, em uma iluminação denominada de iluminação de estado sólido, que também provém do inglês e é mais conhecida por sua sigla SSL. Com relação aos LEDs empregados no contexto da iluminação artificial cabe citar que eles são divididos em três tipos principais, e que foram desenvolvidos segundo uma ordem cronológica na qual é seguida a seguinte sequência: DIP LED, SMD LED, COB LED.

A metodologia empregada na seleção e aquisição de amostras visou alcançar os modelos mais utilizados no que se diz respeito à iluminação residencial de interiores, delimitando-se aspectos construtivos, elétricos, e fotométricos para tal finalidade. No aspecto construtivo foi especificado o tipo de modelo adquirido, de acordo com suas características construtivas, no aspecto elétrico foi delimitada uma faixa de potência, e no aspecto fotométrico uma faixa de temperatura de cor. Todas as amostras foram adquiridas no comércio local da cidade de Juiz de Fora – MG.

Os modelos comerciais adquiridos possuem muitas semelhanças e diferenças entre si, o que só foi possível de se constatar por meio das análises construtivas e eletroeletrônicas realizadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Essas análises foram realizadas em um ambiente doméstico por conta das circunstâncias vividas no momento de desenvolvimento deste trabalho, pandemia global ocasionada pela COVID-19, impossibilitando assim a utilização de um laboratório mais adequado para a realização de tais análises, porém, mesmo frente a esse cenário de impossibilidade, pode-se dizer que por meio do esforço, de muitas tentativas, e da força de vontade frente às adversidades, foi possível a obtenção de muitas informações por meio das análises realizadas, fato que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho e o preencheu de forma muito enriquecedora. Apesar de terem sido obtidas muitas informações por meio das análises realizadas, é importante salientar que nem todas as

informações disponibilizadas pelos fabricantes puderam ser aferidas no intuito de se verificar possíveis irregularidades, tendo em vista esse cenário anteriormente relatado, informações que compreendem tanto o âmbito eletroeletrônico quanto o âmbito fotométrico, tais quais: fator de potência, formas de onda das grandezas elétricas, THD, fluxo luminoso, dentre outros. A exemplo da situação mencionada, encontram-se todas as informações elétricas fornecidas pelos fabricantes na Tabela 7.1, em que é possível se notar que nem todas as grandezas puderam ser aferidas.

Tabela 7.1 – Informações elétricas fornecidas pelos fabricantes.

Fabricante	Tipo	Potência	Faixa de Tensão	Corrente na Saída	Fator de Potência
Jogou	LED Tubular	9W	110 - 240V 50/60Hz	240mA \pm 5%	\geq 0,92
Startec	Quadrada Embutir	12W	100 - 240V 50/60Hz	300mA \pm 5%	N.D.
Kian	Quadrada Sobrepor	12W	100 - 240V 50/60Hz	290mA	N.D.
Kian	Bulbo LED	9W	100 - 240V 50/60Hz	N.D.	\geq 0,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa maneira, por meio das análises desenvolvidas foi possível, por exemplo, a identificação de equívocos nas informações fornecidas por parte de algumas marcas em aspectos eletroeletrônicos, a obtenção de uma grande quantidade de outras informações frente àquelas informadas por elas, e também a classificação de cada modelo quanto à adequação no emprego de tecnologias tais como a comunicação de dados por luz visível.

Os objetivos iniciais apresentados foram alcançados, tendo em vista que foram realizadas todas as proposições almejadas, obtendo-se um bom nível de detalhamento por meio

das análises desenvolvidas, e uma grande quantidade de dados levantados, não disponibilizados pelos fabricantes, podendo vir a possibilitar o desenvolvimento de trabalhos futuros.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros propõe-se:

- Análise de outros modelos de lâmpadas e luminárias, bem como estudo comparativo em diversas unidades do mesmo modelo e potência;
- Intervenção, nos modelos analisados, com tecnologias de comunicação de dados por luz visível (VLC), pelo emprego de subsistemas interpostos entre o driver e o módulo óptico;
- Interposição de subsistema de variação de luminosidade (dimerização), acionado por aplicativo com comunicação bluetooth, à semelhança do proposto no item anterior.
- Análise mais aprofundada a respeito do funcionamento do circuito dos drivers, analisando o rendimento de cada driver, por exemplo;
- Realização de outros tipos de testes nos modelos adquiridos, como exemplo: testes fotométricos, térmicos, dentre outros;
- Análise a respeito da qualidade (durabilidade) dos componentes (LEDs, diodos, resistores, capacitores e indutores, dentre outros) utilizados nos modelos adquiridos;
- Analisar cada produto em função das normas vigentes no mercado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. J. C. A Engenharia Elétrica a serviço do meio ambiente - Uso das lâmpadas de LED, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, 2018.

BDS. Endereço na Web contendo o datasheet do CI BP2831A. 2021. Disponível em: <<http://www.chinesechip.com/files/2015-06/c32a77e4-df13-46d4-a004-e50fff461261.pdf>>. Acesso em 28 abr. 2021.

BOUTS, D. D. Economia de energia decorrente da inserção da tecnologia LED na iluminação residencial. Dissertação em Engenharia de Energia - Universidade Federal de Itajubá, 2016.

CARLOS, S. M. Implementação de uma luminária LED com controle de dimerização e temperatura de cor. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná, 2019.

CNPJ.ROCKS. Endereço na Web contendo as principais informações de empresas por meio do CNPJ em todo o território nacional. 2020. Disponível em: <<https://cnpj.rocks/cnpj/05379917000162/star-tecnologia-em-iluminacao-startec-ltda.html>>. Acesso em 15 dez. 2020.

ECONODATA. Endereço na Web contendo as principais informações de empresas por meio do CNPJ em todo o Brasil. 2020. Disponível em: <<https://www.econodata.com.br/lista-empresas/SAO-PAULO/SAO-PAULO/J/26640173000168-JOGOU-IMPORTACAO-E-EXPORTACAO-LTDA>>. Acesso em 12 dez. 2020.

GIRARD, J. C. Le feu avant les allumettes: expérimentation et mythes techniques. Paris: Maison des sciences de l’homme, 1998.

JWJOUWATT. Endereço na Web contendo o datasheet do CI JW1757A, do fabricante JOULWATT. 2021. Disponível em: < https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/JoulWatt-Tech-JW1757C_C186723.pdf>. Acesso em 28 abr. 2021.

KASSAKIAN, J. G. et al. Assessment of Advanced Solid-State Lighting. 1 ed. Washington, D.C. The National Academies Press, 2013.

KIAN ILUMINAÇÃO. Endereço na Web da Kian, empresa brasileira de importação, comercialização e distribuição de produtos de iluminação. 2021. Disponível em: <<https://kian.com.br/empresa/kian-iluminacao>>. Acesso em 09 jan. 2021.

LTSPICE XVII – Software para Simulação de Circuitos Analógicos e Digitais (www.analog.com).

NAKAMURA, S. Background Story of the Invention of Efficient Blue InGaN Light Emitting Diodes, Nobel Lecture, 2014.

PRO PHOTONIX. Página da empresa. Package LED array vs. Chip-On-Board LED Array, 2018. Disponível em: <LED Array - ProPhotonix LED Array Methods | ProPhotonix>. Acesso em: 18 jan. 2021.

PUST, P. et al. A revolution in lighting. Nature materials, Nature Publishing Group, v. 14, n. 5, p. 454, 2015.

SALES, R. M. S. B. Síntese de um conversor flyback com suporte a dimerização e comunicação de dados por luz visível. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.

SEDRA, A. S. et al. Microeletrônica. 5 ed. São Paulo. Prentice Hall, 2007.

THE FRANKLIN INSTITUTE. Artigo contendo informações a respeito da criação e da construção da lâmpada elétrica de Thomas A. Edison. 2020. Disponível em: <<https://www.fi.edu/history-resources/edisons-lightbulb>>. Acesso em 15 mar. 2020.

THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, IET. Perfil do professor e pesquisador Nick Holonyak, Jr. 2020. Disponível em: <<https://www.theiet.org/publishing/library-archives/the-iet-archives/iet-history/history-of-science-abstracts-and-inspec/40-years-of-inspec/ruby-anniversary-authors/nick-holonyak-jr/>>. Acesso em 09 jul. 2020.

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES. Blue LEDs – Filling the world with new light, The Nobel Prize in Physics 2014, The Royal Swedish Academy of Sciences, 2014.

UFMG. Diodo semiconductor. Disponível em: <lilith.fisica.ufmg.br>. Acesso em 17 jan. 2021.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Artigo com informações a respeito da história das lâmpadas fluorescentes. 2013. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-light-bulb>>. Acesso em 16 mar. 2020.

WANDERLEY, T. C. A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos LEDs, Revista Online IPOG Especialize, IPOG, 2014.