

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

AUGUSTO CÉSAR MIRANDA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE LUMINÁRIA
DE EMERGÊNCIA COM TECNOLOGIA LED**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

AUGUSTO CÉSAR MIRANDA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE LUMINÁRIA
DE EMERGÊNCIA COM TECNOLOGIA LED**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Vargas

PATO BRANCO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE LUMINÁRIA DE EMERGÊNCIA COM TECNOLOGIA LED**, do aluno **AUGUSTO CÉSAR MIRANDA** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **149** de 2017.

Fizeram parte da banca os professores:

Everton Luiz Aguiar

Tiago Lukasiewicz

Diogo Vargas

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais pelo apoio incondicional em toda minha caminhada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, aos meus pais Paulo e Rosana e irmão Vinícius pelo apoio em todos os momentos necessários, a minha namorada Barbara pela ajuda e compreensão nos momentos difíceis.

Agradeço também ao meu orientador Diogo Vargas pela oportunidade de aprendizado, parceria e suporte.

Por último agradeço a todos os amigos que de alguma forma contribuíram nessa minha jornada.

EPÍGRAFE

“Acomoda o gesto à palavra e a palavra ao gesto, tendo sempre em mira não ultrapassar a modéstia da natureza”.

(WILLIAM SHAKESPEARE)

RESUMO

MIRANDA, Augusto César Desenvolvimento de um protótipo de luminária de emergência não permanente com tecnologia LED. 2017. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Este trabalho apresenta o projeto e implementação de um protótipo de luminária de emergência não permanente de potência de 5W utilizando LEDs. Uma revisão sobre LEDs foi realizada, discutindo suas características físicas e elétricas e apresentando alguns conceitos básicos sobre luminotécnica. Discutiu-se a utilização dos LEDs na iluminação de emergência e realizada uma revisão da norma NBR 10898/1999 para conhecimento acerca dos requisitos mínimos exigidos para aplicação da iluminação de emergência. Os blocos que compõem uma luminária e seus objetivos foram apresentados, como também os circuitos de acionamento para LEDs e uma breve revisão sobre conversores básicos não isolados. A modelagem do conversor *boost* foi realizada demonstrando as equações que resultam nos valores dos componentes utilizados para implementação. Os demais blocos como o carregador de baterias e o sensor de energia foram projetados e implementados. Por final foi efetuada uma comparação entre o protótipo e uma luminária comercial aferindo seus respectivos fluxos luminosos, a autonomia da bateria do protótipo e a perda de luminosidade do protótipo no período de tempo mínimo de autonomia exigido por norma, a fim de validar o projeto executado.

Palavras-chave: Conversor, Iluminação de emergência, LED.

ABSTRACT

This work presents the design and implementation of a 5W non-permanent emergency luminaire prototype using LEDs. A review of LEDs was carried out, discussing their physical and electrical characteristics and presenting some basic concepts about lighting technician. The use of the LEDs in the emergency lighting was discussed and a revision of the norm NBR 10898/1999 was made to know about the minimum requirements required for the application of emergency lighting. The blocks that make up a luminaire and its objectives was presented, as well as the drive circuits for LEDs and a brief review on non-isolated basic converters. The boost converter modeling was performed demonstrating the equations that result in the values of the components used for implementation. The other blocks, such as the battery charger and the power sensor, was designed and implemented. Finally, a comparison was made between the prototype and a commercial luminaire assessing its respective luminous fluxes, the autonomy of the battery of the prototype and the loss of luminosity of the prototype in the minimum period of autonomy required by norm, in order to validate the executed project.

Keywords: Converter, Emergency lighting, LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento do LED.	19
Figura 2 – Diferentes LEDs segundo comprimento de onda.	20
Figura 3 – Tipos de LEDs.	21
Figura 4 – Intensidade relativa luminosa conforme ângulo de abertura.	22
Figura 5 – Fluxo luminoso segundo corrente aplicada.	23
Figura 6 – Fluxo luminoso para duas temperaturas distintas.	24
Figura 7 – Modelo equivalente elétrico do LED.	25
Figura 8 Luminárias do tipo autônomas.	28
Figura 9 – Iluminação centralizada com baterias.	29
Figura 10 – Diagrama de blocos básico.	30
Figura 11 – Conversor <i>buck</i>	35
Figura 12 – Conversor <i>boost</i>	36
Figura 13 – Conversor <i>buck-boost</i>	37
Figura 14 – Conversor <i>boost</i>	38
Figura 15 – Etapa chave fechada.	39
Figura 16 – Etapa chave aberta.	39
Figura 17 – Curvas conversor <i>boost</i>	40
Figura 18 – Curva Tensão X Corrente LED.	45
Figura 19 – Circuito <i>boost</i> para simulação.	48
Figura 20 – Corrente no indutor.	49
Figura 21 – Tensão de saída.	49
Figura 22 – Corrente na chave.	50
Figura 23 – Tensão na chave.	50
Figura 24 – Corrente no diodo.	51
Figura 25 – Tensão no diodo.	51
Figura 26 – Circuito SG3524.	53
Figura 27 – Circuito de chaveamento do MOSFET.	53
Figura 28 – Circuito carregador da bateria.	54
Figura 29 – Carregador da bateria.	56
Figura 30 – Carregador da bateria.	57
Figura 31 – Sensor de tensão.	58
Figura 32 – Circuito interligado.	59
Figura 33 – (A) conversor, (B) <i>Push-Pull</i> e (C) circuito SG.	61
Figura 34 – Ciclo de trabalho e frequência de chaveamento.	62
Figura 35 – Forma de onda da corrente no indutor.	62
Figura 36 – Tensão na saída do conversor.	63
Figura 37 – <i>Ripple</i> de tensão na saída.	64
Figura 38 – Forma de onda da corrente no diodo e sinal PWM.	64
Figura 39 – PCI sensor de tensão.	65
Figura 40 – Tempo de chaveamento do relé.	66
Figura 41 – PCI carregador de baterias.	66
Figura 42 – <i>Ripple</i> de tensão na saída do conversor.	67
Figura 43 – Luminária de emergência Segurimax.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações para projeto do conversor <i>Boost</i>	46
Tabela 2 – Especificações para simulação do conversor <i>boost</i>	48
Tabela 3 – Comparação luminária comercial e protótipo com relação a luminosidade.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	<i>Light Emitting Diode</i> - Diodo Emissor de Luz
GaAsP	Fosforeto Arsenieto de Gálio
GaN	Nitreto de gálio
AlGaInP	Alumínio Gálio Índio Fósforo
InGan	Índio Gálio Nitrogênio
RGB	<i>Red, Green, Blue</i> – Vermelho, Verde, Azul
lm	Lúmen
Cd	Candela
lx	Lux
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> - Transistor de Efeito de Campo
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> - Transistor Bipolar de Porta Isolada
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> - Modulação por largura de Pulso
NA/NF	Normalmente Aberto/ Normalmente Fechado

-

LISTA DE SÍMBOLOS

V_{LED}	Tensão direta
n	Fator de idealidade
T_K	Temperatura em kelvin
q	Carga do elétron
R_S	Resistência série
I_{LED}	Corrente direta
I_{SAT}	Corrente de saturação
V_0	Tensão de saída
V_i	Tensão de entrada
V_L	Tensão indutor
D	Ciclo de trabalho
T_{ON}	Período de chave fechada
T_{OFF}	Período de chave aberta
T	Período
G	Ganho estático
P_i	Potência de entrada
P_o	Potência de saída
R	Resistencia de carga
I_i	Corrente de entrada
I_{max}	Corrente máxima
I_{min}	Corrente mínima
L	Indutância do conversor
ΔI	Variação de corrente
f	Frequência de chaveamento
I_o	Corrente de saída
L_{crit}	Indutância crítica do conversor
C	Capacitância do conversor
ΔV_c	Variação de tensão no capacitor
f_c	Frequência sinal do SG 3524
R_T	Resistencia externa do SG 3524

C_T	Capacitância externa do SG 3524
V_P	Tensão de pico
V_R	Tensão de <i>ripple</i>
f_r	Frequência de <i>ripple</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	19
2.1 LED	19
2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO LED	23
2.3 MODELO EQUIVALENTE ELÉTRICO	24
2.4 CONCEITOS BÁSICOS DE LUMINOTÉCNICA.....	25
2.4.1 Fluxo Luminoso.....	25
2.4.2 Eficácia Luminosa.....	26
2.4.3 Intensidade luminosa	26
2.4.4 Iluminância ou iluminamento.....	26
3 ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA	27
3.1 INTRODUÇÃO	27
3.1.1 Iluminação Autônoma	28
3.1.2 Iluminação centralizada com baterias	28
3.1.3 Iluminação centralizada com grupo moto gerador.....	29
3.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA EMPREGANDO LEDS	29
3.2.1 Carregador de Baterias.....	30
3.2.2 Bateria	31
3.2.3 Sensor de falta de energia	32
3.2.4 Circuito de acionamento	32
4 CIRCUITOS DE ACIONAMENTOS PARA LEDS.....	33
4.1 TOPOLOGIAS PASSIVAS.....	33
4.2 TOPOLOGIAS ATIVAS.....	34
4.2.1 Conversores CC-CC.....	34
4.2.1.1 Conversor <i>buck</i>	35
4.2.2.2 Conversor <i>boost</i>	36
4.2.2.3 Conversor <i>buck-boost</i>	36
5 PRINCIPIO DE OPERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO CONVERSOR BOOST	38
5.1 ETAPAS DE FUNCIONAMENTO	38
6 PROJETO DOS BLOCOS DA LUMINÁRIA	45
6.1 PROJETO CONVERSOR <i>BOOST</i>	46
6.1.1 Simulação conversor <i>Boost</i>	48
6.2 DRIVER DE ACIONAMENTO DO CONVERSOR	52
6.3 CARREGADOR DE BATERIAS.....	54
6.3.1 Simulação do Carregador	56

6.4 SENSOR DE TENSÃO	57
6.5 CIRCUITO COMPLETO	58
7 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS.....	61
7.1 CONVERSOR BOOST E CIRCUITO DE ACIONAMENTO	61
7.2 SENSOR DE TENSÃO	65
7.3 CARREGADOR DA BATERIA	66
7.4 COMPARAÇÃO COM LUMINÁRIA DE EMERGÊNCIA COMERCIAL.....	67
8 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A verticalização das cidades se tornou comum entre as médias e grandes cidades, concentrando um grande número de pessoas em um espaço reduzido (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Com isso, a preocupação com a segurança da população dentro de prédios e nos locais públicos tornou-se um assunto recorrente.

Uma edificação deve conter alguns recursos para que seus moradores e frequentadores tenham o mínimo de condição de se protegerem, combater e evacuem os locais em caso de acidentes, como a falta de energia elétrica devido a um curto circuito na instalação elétrica ou até mesmo um incêndio.

Um dos principais itens que auxilia na evacuação de ambientes e na localização de pessoas é a iluminação de emergência. Sua principal função é viabilizar a evacuação dos locais que proporcionam circulação horizontal ou vertical, além de também sinalizar as mudanças de direção e obstáculos que existem na rota de fuga. Seu emprego é de extrema importância e é exigido pelo Corpo de Bombeiros na vistoria para aprovação da edificação ou local de uso comum (CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ, 2015).

Nesse sentido há um constante estudo para melhorar e otimizar os sistemas de iluminação de emergência. Há uma preocupação em desenvolver sistemas mais compactos e que emitirem luminosidade suficiente nos locais de aplicação. O sistema de iluminação que tem se desenvolvido com mais frequência são os não permanentes, os quais só entram em operação quando há falta de energia da rede elétrica, do tipo autônomos, que possuem em um único invólucro seu sistema de acionamento e fonte de energia alternativa.

A tecnologia aplicada a esses sistemas tem evoluído. Inicialmente eram utilizadas lâmpadas fluorescentes; no entanto nas luminárias recentes o emprego do LED auto brilho ou até mesmo de potência está se tornando cada vez mais frequente (CARDESÍN, *et al.*, 2009).

O LED surge como uma alternativa mais eficiente aos demais tipos de lâmpada, apresentando melhor eficácia luminosa e com uma vida útil elevada, comparado com os demais tipos de lâmpadas. Estudos apontam que a substituição das lâmpadas tradicionais por LEDs, acarretaria em uma redução de

aproximadamente 50% no gasto com energia elétrica utilizada na iluminação (DIAS, 2012).

O emprego do LED contribui para a diminuição do tamanho físico dos sistemas, pois como apresentam maior eficácia luminosa necessitam de uma fonte de energia com menor potência. Favorecem na elevação da vida útil do sistema e segurança, por não apresentar sistemas de ignição para partida das lâmpadas e não conter gases (PINTO, 2008).

Para o presente trabalho será abordado o projeto e implementação de uma luminária de emergência não permanente autônoma utilizando tecnologia LED, observando os requisitos exigidos por norma, adequando o projeto para atendê-los.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é projetar e implementar o protótipo de uma luminária de emergência com aplicação não permanente, atendendo aos requisitos na norma NBR 10898/1999.

Os objetivos específicos a seguir devem ser satisfeitos, para que o objetivo principal ser alcançado.

- i. Estudar o funcionamento e principais características dos LEDs;
- ii. Estudar métodos de sensoriar a falta de energia da rede, teoria sobre baterias e controladores de carga;
- iii. Projetar, simular e implementar o sensor de falta de energia e controlador de comutação rede-bateria;
- iv. Realizar revisão teórica sobre conversores não isolados e circuitos de carga para baterias;
- v. Projetar, simular e implementar o conversor e o circuito de carga das baterias;
- vi. Implementar o protótipo da luminária e retirar resultados para validar o projeto.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 será realizado um estudo teórico sobre LEDs, incluindo suas características elétricas e seu modelo equivalente elétrico e uma breve revisão dos conceitos básicos de luminotécnica.

No capítulo 3 serão abordados os conceitos de iluminação de emergência, tais como as características, tipos, exigências de norma e aplicação do LED nos sistemas.

No capítulo 4 será discutida a teoria de conversores básicos não isolados, topologias, formas de onda.

No capítulo 5 serão abordados os princípios de operação e características do conversor *boost*, bem como sua modelagem.

No capítulo 6 será realizado o projeto e simulação dos blocos que compõem a luminária.

No capítulo 7 os resultados da implementação serão apresentados e será feita uma comparação com as simulações para validar o projeto

No capítulo 8 serão abordadas as conclusões a respeito do trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 LED

Os diodos emissores de luz (LEDs) surgiram inicialmente por volta da década de 60, no entanto eram restritos a aplicações do tipo indicação, por possuir baixa potência e emitirem luminosidade apenas em determinadas cores, como a cor vermelha baseada em camadas GaAsP. Nos anos 90 foi desenvolvido o LED azul, baseado na estrutura molecular de GaN. Posteriormente a criação do LED azul foi possível construir os conjuntos RGB (“Red”, “Green”, “Blue”), tornando possível a emissão de luminosidade na cor branca e demais cores (SCHUBERT, 2003) (ZUKAUSKAS; SHUR; CASKA, 2002).

O LED é um semicondutor semelhante a um diodo ideal, que conduz corrente elétrica apenas em um sentido. É formado por uma junção P-N, em que o lado N da junção é composto por portadores minoritários, ou seja, com excesso de elétrons e o lado P composto por portadores majoritários, denominados como ausência de elétrons, formando lacunas.

Quando uma diferença de potencial é aplicada na junção polarizando-a diretamente, as lacunas e elétrons se movimentam em direção a junção e se combinam ocorrendo a emissão de fótons, dando origem a luminosidade (SCHUBERT, 2003). A Figura 1 evidencia o funcionamento do LED.

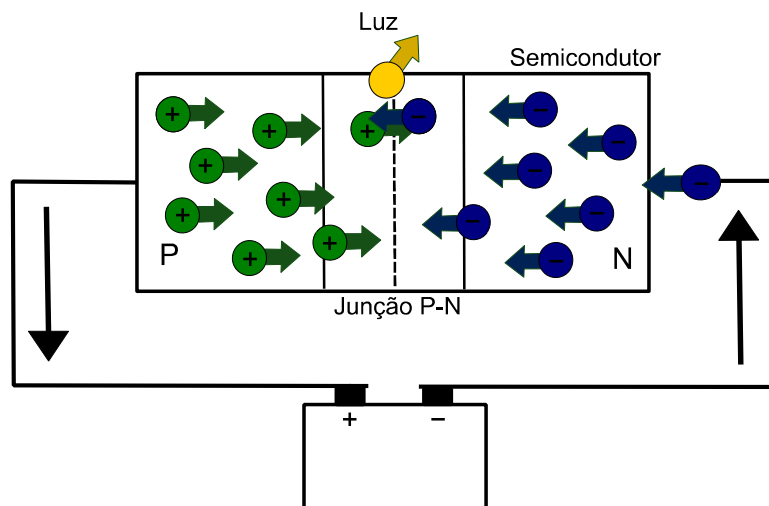


Figura 1 – Funcionamento do LED.
Fonte: Autoria própria.

A luz emitida pelo LED é monocromática e depende do tipo de material utilizado na dopagem do semicondutor, o qual define o comprimento de onda emitido. O semicondutor pode ser dopado com alumínio, arsênio, fósforo, índio, nitrogênio e gálio. Combinando esses elementos é possível emitir luz em uma grande faixa do espectro (SCHUBERT, 2003). A Figura 2 mostra diferentes modelos de LEDs quanto ao comprimento de onda emitido.

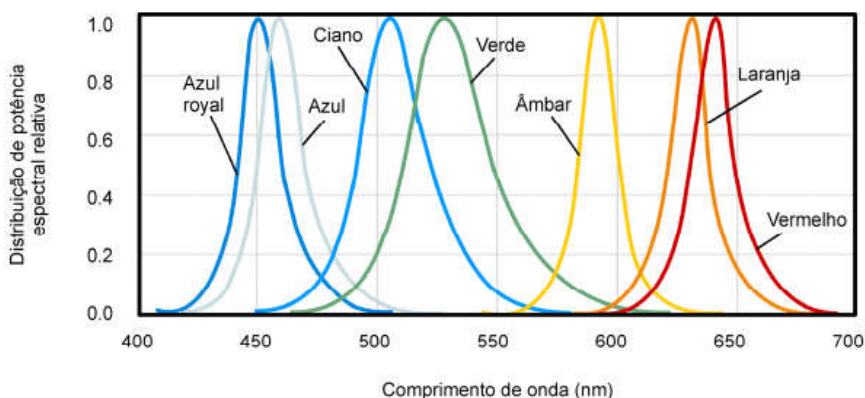


Figura 2 – Diferentes LEDs segundo comprimento de onda.
Fonte: Pinto (2008).

A emissão de luz nas cores vermelha, amarela, laranja é decorrente da utilização do composto AlGaInP, e as cores verdes e azuis pela utilização do composto InGan (SCHUBERT, 2003).

Para se obter a luz branca alguns métodos são utilizados, dentre eles o emprego de uma camada de fósforo na superfície de um LED azul, a combinação de LEDs coloridos ou um LED RGB, o qual possui três tonalidades (vermelha, verde, azul) em um mesmo componente. Nos casos da utilização de LEDs coloridos e do LED RGB é possível obter tonalidades intermediárias as três cores alterando a intensidade de cada LED colorido (CERVI, 2005).

Os LEDs podem ser classificados em três categorias: LEDs indicadores, LEDs de auto brilho e LEDs de potência. Os LEDs indicadores são utilizados apenas como sinalização de funcionamento de aparelhos eletroeletrônicos, como ligado ou desligado. Esse o tipo de LED que iniciou a gama de LEDs existentes hoje. Nesse tipo de LED o que define sua coloração é a cor da lente utilizada no seu encapsulamento

e sua potência e eficácia luminosa são baixas, impedindo-o de ser utilizados em sistemas de iluminação em geral.

Os LEDs de alto brilho por outro lado apresentam uma maior eficácia luminosa (lúmen/Watts) e luminosidade emitida. Não possuem lente colorida, sendo que a luminosidade já é emitida com comprimento de onda específico da coloração desejada. São largamente utilizados em lâmpadas de menor potência (até 30W), sinalização de trânsito, lanternas portáteis, letreiros e faróis automobilísticos.

Com potências mais elevadas, os LEDs de potência se destacam com a elevada eficácia luminosa, superior aos LEDs indicadores e de auto brilho. Esses LEDs são capazes de suportar potências superiores a 1W, trabalhando com correntes superiores a 300mA. Sua utilização é na iluminação residencial, comercial, industrial, decoração arquitetônica entre outros. A Figura 3 ilustra os três tipos de LEDs citados anteriormente, em que o primeiro é o LED indicador, o segundo de auto brilho e o terceiro de potência (DIAS, 2012).



Figura 3 – Tipos de LEDs.
Fonte: Dias (2012).

Uma peculiaridade que os LEDs apresentam é o feixe de luz direcionado, sendo nos LEDs de auto brilho e indicador de aproximadamente 25° e nos LEDs de potência em torno de 150°. Assim o LED não emite luminosidade em todas as direções, o que se torna uma vantagem quando utilizado na iluminação. A Figura 4 mostra a intensidade relativa luminosa conforme o ângulo de abertura da emissão da luminosidade.

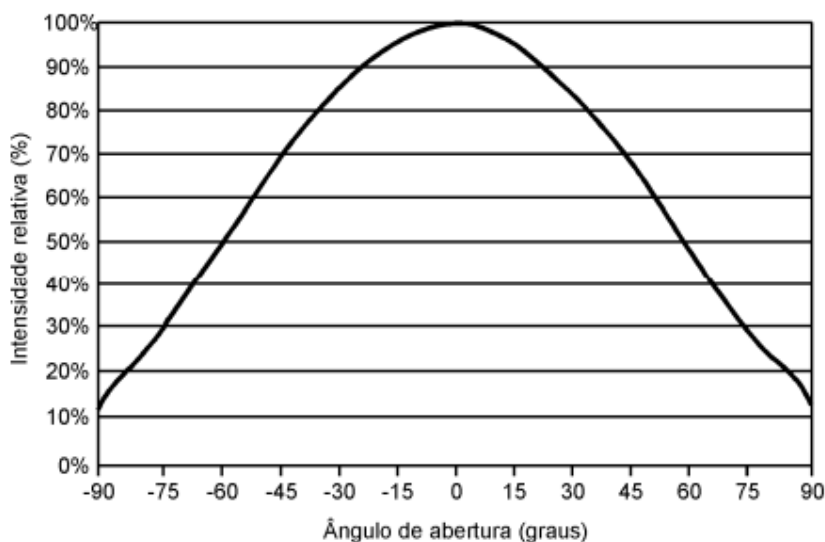


Figura 4 – Intensidade relativa luminosa conforme ângulo de abertura.
Fonte: Luxeon (2008).

As principais vantagens que o LED tem comparado aos outros tipos de lâmpada são: a elevada vida útil, superior a 50.000 horas, maior resistência mecânica, simplicidade de acionamento, elevada eficácia luminosa, podendo ser encontrados LEDs de até 205lm/W e possibilidade de controle do nível da luminosidade (AMARAL, 2011). A principal desvantagem é o custo de produção, que no entanto tem-se diminuído com o aumento de pesquisas voltadas para diminuição do custo da tecnologia (REVIEW LED PROFESSIONAL, 2009) (XIAOYUN; XIAOJIAN; YAN, 2009).

Como os LEDs operam com tensões e correntes contínuas (CC), não podem ser alimentados diretamente pela rede elétrica. Assim, é necessário adequar os valores de tensão e corrente alternadas (CA) da rede elétrica para os níveis de corrente e tensão contínuas. Com esse objetivo é utilizado um dispositivo entre a rede e os LEDs, denominado *driver*, que se consiste em um circuito de acionamento (CAMPONOGARA, 2015).

2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO LED

Os LEDs são dispositivos que apresentam uma baixa tensão de condução, compreendida entre 2V a 4V e operam em corrente contínua. Para os LEDs indicadores e de alto brilho a corrente varia de 1mA a 50mA, enquanto os LEDs de potência possuem correntes de centenas de mili amperes (BULLOUGH, 2003).

O fluxo luminoso emitido é diretamente proporcional à corrente direta aplicada na junção, no entanto para corrente acima das nominais exigidas pelo LED há um aquecimento excessivo da junção P-N, podendo causar danos, impactando diretamente na vida útil. A Figura 5 mostra o aumento do fluxo luminoso devido ao aumento da corrente aplicada.

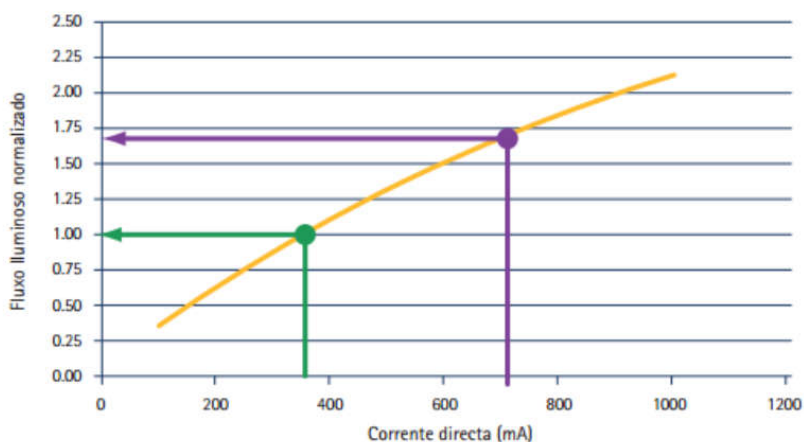


Figura 5 – Fluxo luminoso segundo corrente aplicada.
Fonte: ETAP (2012).

A Figura 6 mostra a diminuição do fluxo luminoso em função do tempo em dois LEDs iguais operando com uma diferença de 11°C de temperatura de junção (T_j).

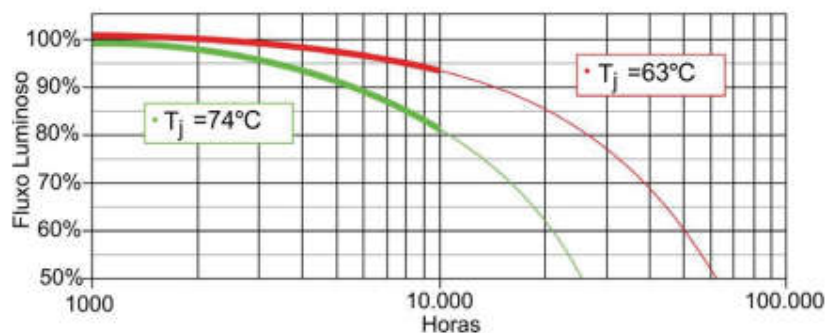


Figura 6 – Fluxo luminoso para duas temperaturas distintas.
Fonte: Dias (2012).

2.3 MODELO EQUIVALENTE ELÉTRICO

O modelo elétrico do LED pode ser construído por meio da Equação 1 denominada equação de Shockley modificada, a qual leva em conta a resistência série do LED (SCHUBERT, 2006).

$$V_{LED} = \frac{nKT_K}{q} \ln\left(\frac{I_{LED}}{I_{SAT}}\right) + R_S I_{LED} \quad (1)$$

Em que,

V_{LED} - tensão direta;

n - fator de idealidade;

T_K - temperatura em kelvin;

q - carga do elétron;

R_S - resistência série;

I_{LED} – corrente direta;

I_{SAT} – corrente de saturação

Levando em consideração que o LED está em ponto de operação permanente, ou seja, sua temperatura e corrente são aproximadamente as nominais, a equação pode ser reduzida para a Equação 2.

$$V_{LED} = V_0 + R_S I_{LED} \quad (2)$$

Por meio da Equação 2 um modelo elétrico simplificado pode ser criado, apresentando um diodo ideal, uma fonte de tensão constante e uma resistência, todos em série como mostra a Figura 7.

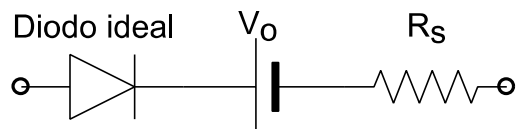


Figura 7 – Modelo equivalente elétrico do LED.
Fonte: Autoria própria.

Para obter os parâmetros do modelo citado, pode-se obter a curva tensãoXcorrente do LED para uma temperatura de junção constante. Posteriormente aplicando uma regressão linear na curva obtém-se o coeficiente angular que corresponde a resistência R_S e o coeficiente linear que corresponde a tensão V_0 .

2.4 CONCEITOS BÁSICOS DE LUMINOTÉCNICA

Nesta seção serão abordados os conceitos básicos sobre luminotécnica, segundo Ascurra (2013).

2.4.1 Fluxo Luminoso

O Fluxo luminoso é definido como sendo a potência de radiação total emitida por uma fonte luminosa percebida pelo olho humano. Sua unidade de medida chama-se lúmen (lm).

2.4.2 Eficácia Luminosa

Eficácia Luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e sua potência elétrica. É comumente medido em lúmens/Watts.

2.4.3 Intensidade luminosa

Denominada como a intensidade do fluxo luminoso projetado em uma direção específica. É expressa em candelas (cd).

2.4.4 Iluminância ou iluminamento

Fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a uma determinada distância da fonte luminosa, por unidade de área. É medida em lúmens/m² ou lux (lx).

3 ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

3.1 INTRODUÇÃO

A iluminação de emergência é um dos principais mecanismos de auxílio a evacuação de locais públicos com aglomeração e alto fluxo de pessoas. Sua principal função é de fornecer iluminação em locais considerados de risco, evitando acidentes e preservando a vida das pessoas. Esse tipo de iluminação é aplicado também em áreas hospitalares e técnicas, nas quais há necessidade de manter os sistemas funcionando por algum tempo, bem como na ajuda ao trabalho de socorristas em encontrar pessoas feridas (ABNT, 1999).

É importante que os sistemas de iluminação de emergência sejam bem planejados, proporcionando condições visuais suficientes às pessoas, para mantê-las em segurança ou oferecer uma rota de fuga eficiente, nos casos de incêndios ou acidentes (SEITO, *et al.*, 2008).

A regulamentação para a iluminação de emergência no Brasil é feita por meio da NBR10898/1999. Alguns dos principais requisitos exigidos pela norma NBR10898/1999 para uma iluminação de emergência eficiente são:

- i. Garantia de iluminamento mínimo de 5 lux nos locais contendo escadas e obstáculos e 3 lux em locais planos como corredores, halls e outros;
- ii. Autonomia de pelo menos 1 hora de iluminação com perda menor que 10% de sua luminosidade inicial;
- iii. Tempo de comutação do estado de vigia para o de emergência (fonte alternativa) deve ser de no máximo 5 segundos.

Segundo a norma os sistemas podem atuar de duas formas: permanentes ou não permanentes. Nos sistemas permanentes, as lâmpadas são alimentadas diretamente pela rede elétrica, operando como iluminação convencional. Quando há interrupção no fornecimento de energia elétrica, o circuito é comutado e as lâmpadas são alimentadas pela bateria. Após o reestabelecimento da rede elétrica, as lâmpadas voltam ao estado de iluminação convencional e a bateria é carregada pelo circuito do carregador conectado à rede elétrica (ABNT, 1999).

Já os sistemas não permanentes entram em funcionamento apenas quando é detectada falta de energia elétrica da rede. Nesse momento as lâmpadas são acionadas pela energia armazenada nas baterias. No instante em que a rede elétrica volta às condições normais, as lâmpadas cessam o funcionamento e a bateria é carregada pelo circuito do carregador conectado à rede (ABNT, 1999).

A iluminação de emergência pode ser classificada de três maneiras, autônoma, centralizada com baterias ou centralizada com grupo moto gerador.

3.1.1 Iluminação Autônoma

A iluminação autônoma é constituída de um único invólucro, contendo as lâmpadas, fonte de energia com carregador, controlador de carga da bateria, bateria e sensor de falha da rede (ALONSO, *et al.*, 1993). A Figura 8 apresenta exemplos comerciais de iluminações do tipo autônoma.



Figura 8 - Luminárias do tipo autônomas.
Fonte: www.aecweb.com.br

3.1.2 Iluminação centralizada com baterias

A iluminação centralizada com baterias é entendida como contendo várias lâmpadas distribuídas, porém conectadas a uma central de controle, onde se encontram as baterias e os circuitos auxiliares (ALONSO, *et al.*, 1993). A Figura 9 apresenta um exemplo deste tipo de iluminação.

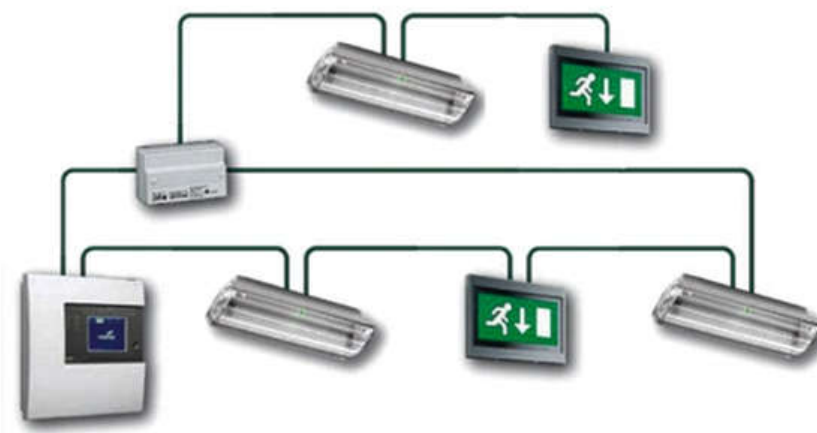


Figura 9 –Iluminação centralizada com baterias.
Fonte: www.projettaconsultoria.com.

3.1.3 Iluminação centralizada com grupo moto gerador

É composta por um grupo moto gerador com acionamento automático quando percebido falha na rede de alimentação (ALONSO, et al., 1993). É normalmente empregada onde existem sistemas de iluminação de emergência de grande potência. Sua constituição é semelhante a centralizada com baterias, porém a fonte de energia alternativa é vinda do grupo moto gerador.

3.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA EMPREGANDO LEDS

As tecnologias aplicadas a esses sistemas de iluminação têm evoluído consideravelmente, desde a utilização de lâmpadas fluorescente até o emprego de LED de alto brilho e potência (OLIVEIRA, et al., 2007).

A utilização dos LEDs se tornou atrativa devido as características de eficácia luminosa, sendo em alguns casos superior a 150lm/W (OSRAM, 2007), vida

útil superior a 50 mil horas, tamanho físico e peso reduzido (CARDESÍN, *et al.*, 2009) (SECADES, *et al.*, 2005).

Outras vantagens são, acionamento em corrente contínua, possuir uma baixa tensão de condução, não necessitarem de sistemas de ignição para partida e como possuem uma alta eficácia luminosa, favorecem a utilização de baterias em sistemas autônomos.

Comumente as baterias utilizadas são de tamanhos reduzidos comparadas às baterias utilizadas em sistemas com outros tipos de lâmpadas, visto que como possuem uma eficácia luminosa superior aos demais tipos de lâmpada, a densidade de potência necessária das baterias é reduzida, reduzindo diretamente o seu tamanho físico (CARDESÍN, *et al.*, 2009) (OLIVEIRA, *et al.*, 2007).

Um sistema básico de iluminação de emergência não permanente e autônomo é apresentado na Figura 10.

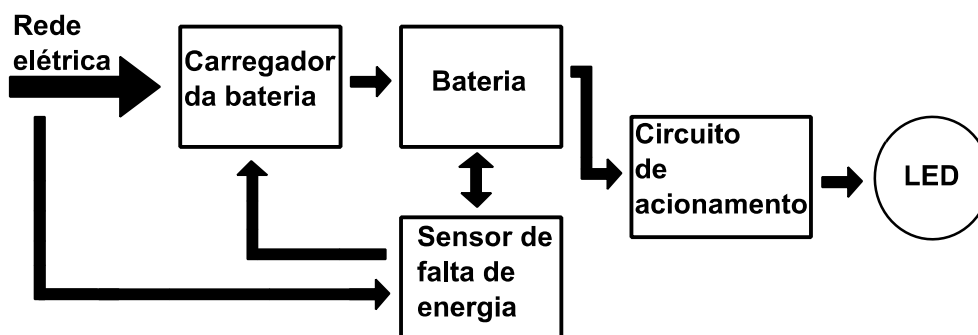


Figura 10 – Diagrama de blocos básico.
Fonte: Autoria própria.

O sistema de iluminação pode ser descrito pelos blocos: sensor de tensão da rede (sensor e chave comutação rede-baterias), carregador de bateria (carregador e controlador de carga), bateria, circuito de acionamento e LED.

3.2.1 Carregador de Baterias

O carregador de baterias tem como função carregar e manter o grupo de baterias com nível adequado de tensão para utilização quando necessário. O circuito

é conectado diretamente a rede elétrica e alimenta as baterias conectadas a ele caracterizam como sendo sua carga.

Os circuitos carregadores podem ser divididos basicamente em dois grupos, os de tensão constante e os de corrente constante.

Nos carregadores de tensão constante o circuito mantém a tensão aplicada a bateria sem oscilações, conforme a bateria adquire carga. Nos circuitos de corrente constante, é inserida na bateria uma corrente controlada, no entanto a tensão pode sofrer alterações mediante o aumento da carga adquirida pela bateria.

Existem vários modelos de carregadores de baterias, que variam com o tipo de bateria, quantidade de energia e o tempo de carga necessário. Comumente a vida útil da maioria dos tipos de baterias da bateria está relacionada com o tempo de carga da bateria. Cargas rápidas desgastam com maior velocidade os compostos presentes na bateria, pois promovem uma maior absorção de carga em um espaço de tempo reduzido, aquecendo excessivamente a bateria (STA ELETRÔNICA, 2014).

3.2.2 Bateria

A bateria é caracterizada como sendo uma fonte de energia de grande confiabilidade para situações de emergência ou que operem em modo de espera, aguardando a necessidade de fornecimento de energia (AMARAL, 2011).

Existem diversos tipos de baterias, tais como as de Níquel Cádmio, utilizadas em ferramentas elétricas, Chumbo-ácida, presentes nos automóveis, Lítio-íon, utilizadas em aparelhos móveis. Assim para cada aplicação necessita-se de um tipo mais adequado de bateria. Para as aplicações de emergência, como se necessita de um tempo considerável de fornecimento de energia, faz necessário baterias com densidade de potência compatível com as especificações de autonomia necessária e se possível com tamanho reduzido, tornando os módulos menores e de mais fácil instalação.

As baterias são caracterizadas principalmente por sua capacidade de carga, medida em ampere/hora (Ah). A corrente de descarga e carga da bateria é medida em taxa C, ou seja, uma descarga de 1C extrai uma corrente igual a capacidade máxima da bateria. Uma bateria de 2000mAh fornece 1000mAh por duas

horas se descarregada com uma taxa C de 0,5, mas, se descarregada a uma taxa igual a $1C$, fornecerá 2000mAh por uma hora. O conceito da taxa C se aplica da mesma forma a carga das baterias. Seu tempo de carga total depende da taxa C de carga. Se a bateria tem capacidade de 3000mAh, sendo carregada com uma corrente de 1A levará aproximadamente 3 horas para adquirir carga completa (STA ELETRÔNICA, 2014).

Uma outra característica importante acerca de bateria é a profundidade de descarga ou tensão de fundo de carga. Esse valor de tensão indica que a partir daquele instante a bateria não tem capacidade de continuar fornecendo energia ou não deve ser descarregada abaixo desse valor, evitando danos.

3.2.3 Sensor de falta de energia

Tem por objetivo perceber a falta de energia elétrica da rede e acionar a etapa de potência do circuito, que se consiste no acionamento das lâmpadas por meio das baterias. O circuito pode ser construído utilizando um diodo *zener*, chave semicondutora, relé ou até mesmo um micro controlador (ALONSO, *et al.*, 1993).

3.2.4 Circuito de acionamento

Tem por finalidade conduzir a energia armazenada na bateria até o sistema de lâmpadas, adequando o nível de tensão e corrente para as necessidades de funcionamento das lâmpadas. O circuito é acionado e desligado pelo sensor de falta de energia, no entanto permanece conectado as baterias constantemente (AMARAL, 2011).

4 CIRCUITOS DE ACIONAMENTOS PARA LEDS

Como mencionado no capítulo anterior, os LEDs operam com tensões e correntes contínuas, necessitando de um circuito entre a rede e os LEDs, que faça a adequação da rede elétrica ou fonte de energia alternativa para seu funcionamento. Esse circuito é comumente denominado de *driver*. O *driver* pode ser construído com diversas topologias, sendo basicamente divididas entre topologias passivas e topologias ativas de acionamento. Nesta seção será apresentado os tipos de topologias mais comuns para os conversores não isolados.

4.1 TOPOLOGIAS PASSIVAS

São denominadas topologias passivas as topologias que não contêm interruptores ativos no circuito, como MOSFETs, IGBTs entre outros. Essas topologias são empregadas em casos nos quais não é necessário um controle preciso da corrente, pois existe dificuldade em manter correntes constantes. Esses circuitos são alternativas quando o projeto deve ter custo reduzido e o fator de potência não precisa ser corrigido por consequência dos valores baixos da potência resultante do conjunto de LEDs utilizado.

O circuito não apresenta etapa de retificação, sendo conectado diretamente a rede elétrica. Um resistor limita a corrente que circula pelo circuito e dois LEDs são utilizados, um que é acionado no semicírculo positivo da corrente e o outro para o semicírculo negativo.

Outra topologia empregada, utiliza uma etapa de retificação com filtro capacitivo, que por sua vez elimina a componente CA da tensão transformando-a em um sinal aproximadamente contínuo (CAMPONOGARA, 2015).

Uma outra opção utilizada é introduzir um regulador linear de tensão, configurado como fonte constante de corrente após o filtro capacitivo. No entanto o

fator de potência e a baixa eficiência ainda apresentam-se como desvantagens significativas.

4.2 TOPOLOGIAS ATIVAS

São denominadas topologias ativas as que contêm chaves comutadoras no circuito, as quais são acionadas por um circuito auxiliar. Por meio das chaves e do arranjo do circuito é possível controlar a potência fornecida a carga, variando a tensão e corrente como necessário. Nessas topologias é possível obter uma eficiência elevada quando comparada às topologias passivas. Na prática a eficiência pode variar de 70% a 98%, dependendo das variáveis de projeto como tensão, corrente, frequência de chaveamento e das topologias utilizadas (BARBI, 2006).

Os conversores CC-CC são as topologias ativas mais comuns e utilizadas. Com os conversores é possível reduzir a tensão aplicada na carga ou aumentar a tensão, dependendo da necessidade do projeto, tornando possível alimentar diferentes tipos de cargas por diferentes fontes.

4.2.1 Conversores CC-CC

Os conversores CC-CC são sistemas constituídos por elementos passivos, comumente capacitores e indutores e por semicondutores de potência atuando como chaves. Tem como função controlar o fluxo de potência que flui de uma fonte de entrada para uma carga de saída (PETRY, 2001).

O princípio de funcionamento desses conversores se baseia na obtenção de uma tensão CC variável a partir de uma fonte constante na entrada. O valor médio da tensão na saída altera quando muda-se a razão de tempo ao qual a entrada está conectada a saída (AHMED, 2000).

A conversão é possível com a utilização de um indutor juntamente com um capacitor e uma chave de estado sólido, que trabalha em modo de chaveamento em alta frequência. É utilizada a técnica de chaveamento por modulação PWM (*Pulse-*

Width Modulation- Modulação por Largura de Pulso) para comutar a chave de estado sólido.

Há três topologias básicas de conversores CC-CC, o conversor abaixador *buck*, elevador *boost* e abaixador e elevador *buck-boost*. A seguir serão apresentados conceitos gerais sobre os conversores citados, operando em modo de condução contínua.

4.2.1.1 Conversor *buck*

O conversor *buck* é um conversor abaixador de tensão, em que a tensão de saída é inferior a tensão de entrada e possui característica de fonte de corrente, a qual possui uma ondulação baixa na saída. Essa característica é proveniente do capacitor de saída, que realiza uma ação de filtragem eficaz, fazendo com que a corrente pela carga possua ondulação baixa. Sua topologia é apresentada na Figura 11.

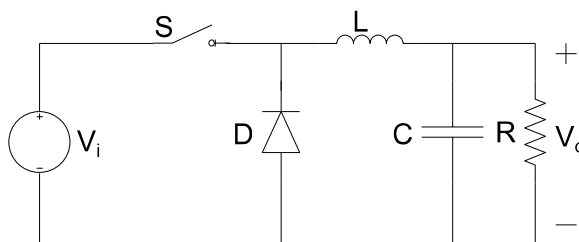


Figura 11 –Conversor *buck*.
Fonte: Autoria própria.

O seu funcionamento se resume em duas etapas: Chave aberta e chave fechada. Quando a chave está conduzindo, a entrada transfere energia da fonte para o indutor e capacitor. Dessa forma a corrente pelo indutor cresce e o diodo está bloqueado.

Quando a chave entra em corte, o diodo conduz, fechando o circuito entre indutor e carga. A energia anteriormente armazenada no indutor é entregue ao capacitor e a carga. Enquanto a corrente instantânea do indutor for superior a corrente de carga, a diferença de corrente é a que carrega o capacitor e posteriormente quando essa corrente diminui o capacitor se descarrega, mantendo constante a corrente na

carga, supondo a tensão de carga constante. Os esforços de tensão feitos pela chave e pelo diodo tem valor igual a tensão de entrada do conversor.

4.2.2.2 Conversor *boost*

O conversor *boost* é um conversor elevador de tensão, em que a tensão de saída é superior a tensão de entrada. A corrente de saída apresenta ondulação considerável, com isso é caracterizado por entrada em corrente e saída em tensão. Sua topologia é apresentada na Figura 12.

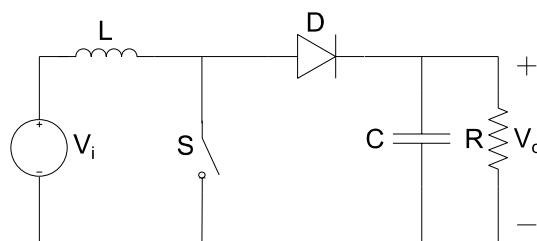


Figura 12 – Conversor *boost*.
Fonte: Autoria própria.

Seu funcionamento também se caracteriza por duas etapas. Quando a chave encontra-se fechada, o diodo está bloqueado e o indutor está conectado diretamente à fonte de alimentação. A corrente no indutor cresce linearmente armazenando energia em seu campo magnético e a tensão é igual a tensão de entrada. No instante de chave aberta o diodo polariza diretamente, a tensão induzida no indutor se soma a tensão da fonte e é fornecida a carga. Os esforços de tensão na chave e no diodo são iguais a tensão de saída.

4.2.2.3 Conversor *buck-boost*

O conversor *Buck-Boost* pode operar como abaixador ou elevador de tensão. Sua tensão de saída apresenta polaridade inversa a tensão de entrada. Como no conversor *Boost*, apresenta característica de entrada de fonte de corrente e saída de fonte de tensão. Sua topologia é apresentada na Figura 13.

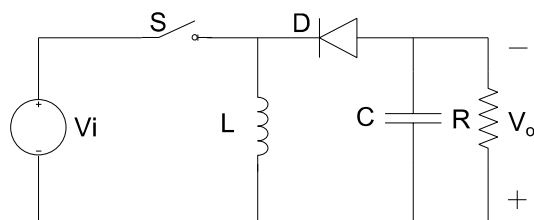


Figura 13 – Conversor *buck-boost*.
Fonte: Autoria própria.

As etapas de funcionamento se resumem nos instantes de chave aberta e fechada. Quando a chave encontra-se fechada, o diodo está bloqueado e a tensão de entrada é aplicada diretamente sobre o indutor, assim o indutor armazena energia no campo magnético.

Quando a chave é aberta o diodo entra em condução e a energia armazenada no indutor é entregue ao capacitor e a carga. Os esforços de tensão sobre a chave e o diodo é a soma das tensões de entrada e saída do conversor.

5 PRINCIPIO DE OPERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO CONVERSOR *BOOST*

O conversor *boost* foi escolhido para utilização devido a necessidade de elevar a tensão da bateria para alimentar os LEDs da luminária. Como sua topologia é simples e apresenta poucos componentes, esse conversor torna-se vantajoso para o presente projeto. Neste capítulo será feita uma abordagem mais específica a respeito das etapas de funcionamento do conversor e descrito as principais equações pertinentes ao projeto que será realizado no capítulo 6. A análise realizada leva em consideração que todos os componentes são ideais e o conversor está operando em modo de condução contínua.

5.1 ETAPAS DE FUNCIONAMENTO

A estrutura básica do conversor é apresentada na Figura 14.

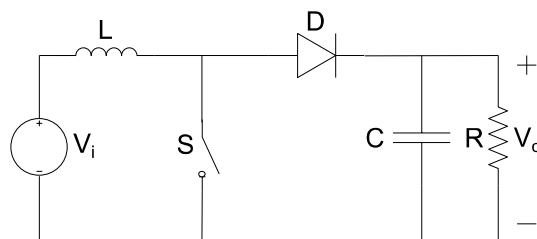


Figura 14 – Conversor *boost*.
Fonte: Autoria própria.

A quantidade de componentes utilizadas no conversor *boost* é semelhante a do conversor *buck*, no entanto com topologia diferente. Com a indutância em série com a fonte, a entrada apresenta característica de fonte de corrente, e assim obrigatoriamente a saída deve se comportar como fonte de tensão.

A seguir suas duas etapas de operação serão apresentadas de forma sucinta.

1ª ETAPA (Chave fechada) : O circuito resultante desta etapa é apresentado na Figura 15:

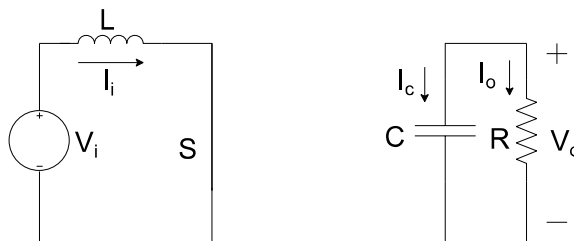


Figura 15 – Etapa chave fechada
Fonte: Autoria própria.

A chave é fechada. Com isso o diodo é polarizado inversamente, bloqueando a circulação de corrente da fonte para a carga. Nesse instante a corrente média no indutor é a mesma corrente que circula pela chave. O capacitor alimenta a carga, sendo a corrente média na carga igual a corrente I_c .

2ª ETAPA (Chave Aberta): Nesta etapa a chave encontra-se aberta e o circuito resultante é apresentado na Figura 16.

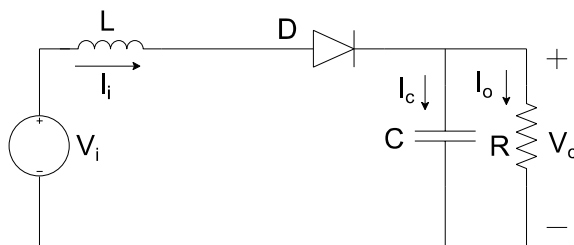


Figura 16 – Etapa chave aberta.
Fonte: Autoria própria.

No momento em que a chave é aberta a tensão induzida do indutor muda de polaridade e se soma com a tensão da fonte, fornecendo energia a carga. A corrente média I_i se divide entre o capacitor e a fonte até o momento em que o capacitor se carrega completamente. A partir desse momento a corrente I_i passa a ser igual a corrente média de carga.

A tensão na carga é dada por:

$$V_0 = V_i + V_L \quad (3)$$

Em que:

V_0 : é a tensão de saída do conversor;

V_i : a tensão de entrada;

V_L : a tensão no indutor.

A tensão V_0 será sempre maior ou igual V_i , levando em consideração que a polaridade de V_L é sempre igual a V_i . Na Figura 17 são evidenciadas as formas de onda das tensões e correntes para uma razão cíclica (D) igual a 0,5.

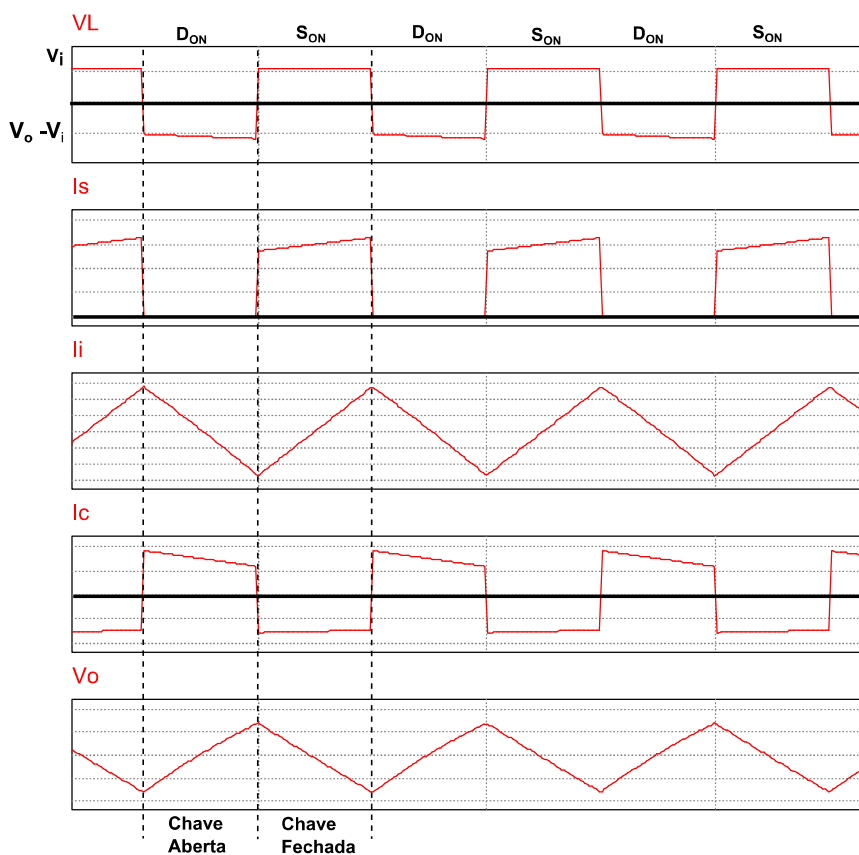


Figura 17 – Curvas conversor *boost*.
Fonte: Autoria própria.

A corrente no diodo é pulsada. Se a indutância L for muito grande, a ondulação na corrente do indutor é muito pequena aproximando-se de um sinal contínuo. Da mesma forma se o capacitor for grande suficientemente, a ondulação de tensão na saída se torna muito pequena e pode ser considerada como constante.

Partindo de que:

$$V_0 = V_i + V_i \frac{T_{ON}}{T_{OFF}} \quad (4)$$

Em que

T_{ON} : é o tempo de chave fechada;

T_{OFF} : tempo de chave aberta.

$$V_0 = V_i \left(1 + \frac{T_{ON}}{T_{OFF}} \right) \quad (5)$$

$$V_0 = V_i \left(\frac{T_{ON} + T_{OFF}}{T_{OFF}} \right) \quad (6)$$

$$V_0 = V_i \frac{T}{T_{OFF}} \quad (7)$$

Sabendo que,

$$T = T_{ON} + T_{OFF} \quad (8)$$

$$V_0 = V_i \left(\frac{T}{T - T_{OFF}} \right) \quad (9)$$

Dessa forma obtendo-se o ganho estático (G) do conversor, em função do ciclo de trabalho D .

$$G = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{1 - D} \quad (10)$$

Desprezando as perdas do conversor, a potência de entrada (P_i) é igual a potência de saída (P_o), assim

$$P_i = P_o \quad (11)$$

$$V_i I_i = \frac{V_o^2}{R} \quad (12)$$

Em que:

R : é a resistência de carga do conversor.

Dessa forma obtém-se a corrente de entrada,

$$I_i = \frac{V_o^2}{V_i R} \quad (13)$$

A corrente média na saída (I_o) é dada por,

$$I_o = I_i \frac{T_{OFF}}{T} = I_i (1 - D) = \frac{V_o}{R} \quad (14)$$

Ao final da 1ª etapa, $T = T_{ON}$ e a corrente no indutor é igual a corrente máxima. Assim podemos descrever a corrente máxima como sendo a soma da corrente mínima mais o resultante da integral da corrente no indutor, como mostra a Equação 15.

$$I_{max} = I_{min} + \left[\frac{V_i}{L} DT \right] \quad (15)$$

Em que $T = \frac{1}{f}$

Uma vez que,

$$\Delta I = I_{max} - I_{min} \quad (16)$$

E substituindo a Equação 15 na Equação 16, tem-se:

$$\Delta I = \frac{V_i}{L_f} D \quad (17)$$

Pode-se determinar o valor do indutor isolando a indutância na Equação 17 e considerando uma variação de corrente máxima no induto, como mostra a Equação 18.

$$L = \frac{V_i}{\Delta I_{\max} f} D \quad (18)$$

A partir da Equação 18, obtém-se as correntes máximas e mínimas no indutor,

$$I_{\max} = I_i + \frac{\Delta I}{2} \quad (19)$$

$$I_{\min} = I_i - \frac{\Delta I}{2} \quad (20)$$

Para garantir que o conversor opere em condução contínua, o valor mínimo da corrente no indutor deve ser maior do que zero. Pode-se calcular a indutância mínima para satisfazer essa condição, igualando a corrente mínima igual a zero.

$$I_{\min} = I_i - \frac{\Delta I}{2} = 0 \quad (21)$$

$$L \geq L_{\text{crit}} = \frac{V_i(1-D)}{2fI_o} D \quad (22)$$

A ondulação da tensão no capacitor ΔV_c é igual à ondulação da tensão de saída ΔV_o . Durante a primeira etapa o capacitor está sendo descarregado pela ação da corrente de carga (I_o). Assim:

$$I_o = C \frac{\Delta V_c}{T_{\text{ON}}} \quad (23)$$

Dessa forma, pode-se determinar o valor do capacitor como:

$$C = \frac{I_o D}{\Delta V_c f} \quad (24)$$

Com as equações definidas anteriormente é possível realizar o projeto do conversor, que será abordado no próximo capítulo.

6 PROJETO DOS BLOCOS DA LUMINÁRIA

Nesta seção serão realizados os projetos dos blocos que compõem a luminária como também a simulação do conversor *boost* e do carregador de bateria.

O bloco de iluminação se consiste de seis LEDs de 1W cada, ligados em série. Um ensaio foi realizado com os LEDs e se consistiu em aplicar tensão crescente de 0,5V em 0,5V partindo da tensão de 17V até a tensão de 19,5V, medindo a corrente fornecida em cada nível de tensão. Com o ensaio foi possível identificar a tensão de polarização real em que os LEDs apresentavam aproximadamente a corrente máxima de 300mA.

A Figura 18 evidencia os dados do ensaio.

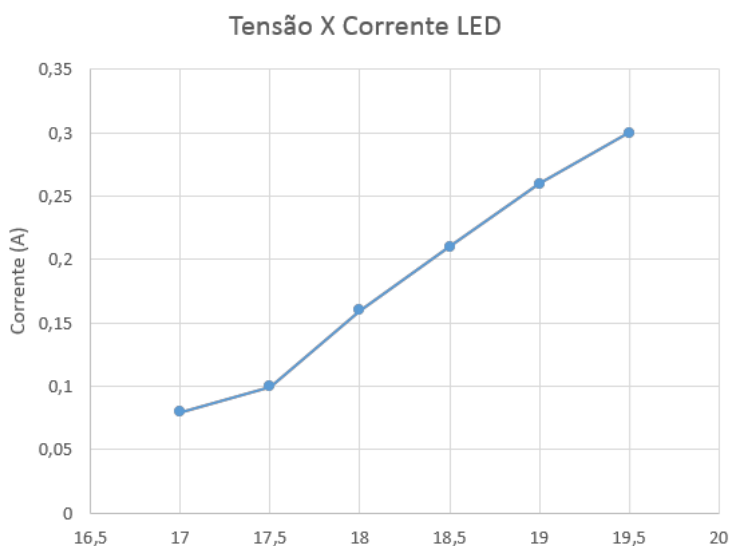


Figura 18 – Curva Tensão X Corrente LED.
Fonte: Autoria própria.

A partir do ensaio estipulou-se à tensão de 19V como tensão de saída do conversor, para que os LEDs operassem com corrente cerca de 13% abaixo da corrente máxima, prevenindo-os da queima devido a algum problema na fonte de alimentação ou até mesmo ao aumento excessivo da temperatura.

O bloco é conectado diretamente a rede elétrica 127V, e o grupo de baterias tem tensão de aproximadamente 11V. As especificações gerais de projetos são:

- i. Tensão de entrada (rede elétrica): 127VRMS/60Hz.
- ii. Tensão de saída do conversor *boost*: 19 VDC
- iii. Potência de saída do conversor *boost*: 5W
- iv. Corrente de saída do conversor *boost*: 260mA
- v. Tensão de entrada do conversor *boost*: 11V

Com os dados citados anteriormente será realizado o projeto do bloco, separando-o em alguns blocos menores, sendo: conversor *boost*, driver para chaveamento do conversor, carregador de baterias e sensor de tensão.

6.1 PROJETO CONVERSOR BOOST

Para o projeto de conversor foram utilizadas as seguintes especificações:

Tabela 1 – Especificações para projeto do conversor Boost

Especificação	Valor
Tensão entrada(V_i)	11V
Tensão saída(V_0)	19V
Corrente de saída (I_o)	260mA
Ondulação tensão no capacitor (ΔV_c)	10%
Ondulação de corrente no indutor (ΔI_{max})	20%
Frequência de chaveamento(f)	50kHz
Resistencia equivalente dos LEDs(R)	73 Ω

Fonte: Aatoria própria.

A resistência equivalente do LEDs foi obtida de maneira direta dividindo a tensão de saída pela corrente de saída do conversor.

Por meio da Equação 10 é possível encontrar o ciclo de trabalho (D), o qual o conversor irá ser submetido. Assim tem-se:

$$D = \frac{V_0 - V_i}{V_0} \cong 0,42$$

Para calcular o valor da indutância do conversor, primeiro é necessário obter o valor da ondulação de corrente no indutor. Por meio da Equação 13 é possível encontrar o valor da corrente de entrada do conversor, a qual é igual a corrente que passa pelo indutor. Têm-se:

$$I_i = \frac{V_o^2}{V_i R} = 450 \text{ mA}$$

Dessa forma, a ondulação de corrente no indutor é igual a 20% da corrente de entrada, resultando em aproximadamente 90mA. Com os respectivos valores calculados para D e ΔI_{max} , a indutância é obtida pela Equação 18,

$$L = \frac{V_i}{\Delta I_{max} f} D \cong 1 \text{ mH}$$

Os valores de corrente máximo e mínimo podem ser encontrados por meio das equações 19 e 20. Seus respectivos valores são,

$$I_{max} = I_i + \frac{\Delta I}{2} = 494 \text{ mA}$$

$$I_{min} = I_i - \frac{\Delta I}{2} = 404 \text{ mA}$$

Para o valor da capacitância de saída do conversor, primeiro calcula-se a ondulação de tensão no capacitor, a qual é 10% da tensão de saída do conversor. Posteriormente por meio da Equação 24 é possível obter o valor do capacitor necessário.

$$C = \frac{I_o D}{\Delta V_c f} \cong 1,16 \text{ uF}$$

Com os valores anteriormente calculados e algumas especificações do projeto, foi construída a Tabela 2 que agrupa os valores aplicados ao conversor, os quais serão utilizados para as simulações posteriormente. O valor do capacitor utilizado foi superior ao calculado devido a disponibilidade dos valores comerciais a serem utilizados, com isso utilizou-se uma associação para se obter 2uF.

Tabela 2 – Especificações para simulação do conversor <i>boost</i>	
Especificação	Valor
Tensão entrada	11V
Tensão saída	19V
Valor do indutor	1mH
Valor de capacitor	2uF
Resistência equivalente dos LEDs	73Ω

Fonte: Autoria própria.

6.1.1 Simulação conversor *Boost*

A simulação foi realizada no *software* Psim 9.0 versão livre. O circuito da Figura 19 foi desenhado para que fossem realizadas as medições necessárias.

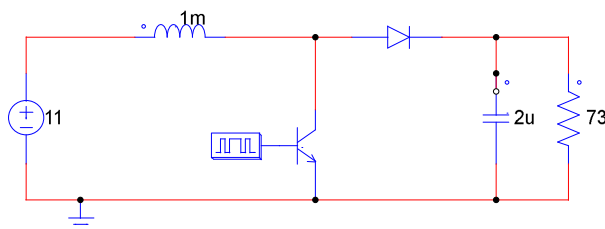


Figura 19 – Circuito *boost* para simulação.
Fonte: Autoria própria.

Por meio do circuito obteve-se a corrente de entrada do conversor, a qual é igual a corrente que passa pelo indutor. Seu valor médio simulado foi de 45mA, valor igual ao teórico calculado. Sua forma de onda é apresentada na Figura 20. Os

valores máximos e mínimos simulados foram respectivamente 495mA e 403mA, diferindo em 1mA em ambos os casos dos valores calculados.

A diferença entre os valores teóricos e simulados se dá pelos arredondamentos realizados nos resultados.

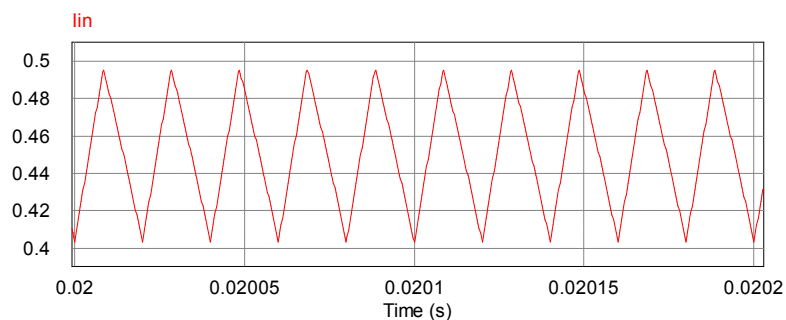


Figura 20 – Corrente no indutor.
Fonte: Autoria própria.

A tensão de saída é evidenciada na Figura 21.

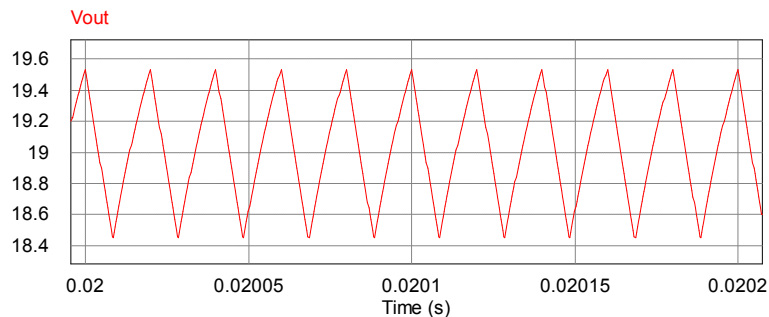


Figura 21 – Tensão de saída.
Fonte: Autoria própria.

Seu valor médio como projetado é de 19 V, com um *ripple* de amplitude 1,08V. O valor do *ripple* considerado no projeto foi de 10% da tensão sobre o capacitor, sendo a tensão de saída, no entanto o valor utilizado para o capacitor foi de 2uF. Recalculando o valor do *ripple*, temos 1,09V, valor muito próximo do simulado.

Para que se possa especificar a chave necessária para o conversor é preciso conhecer os esforços de corrente e tensão no semicondutor. A Figuras 22 e

23 apresentam a corrente e a tensão aplicadas na chave quando o conversor encontra-se em operação.

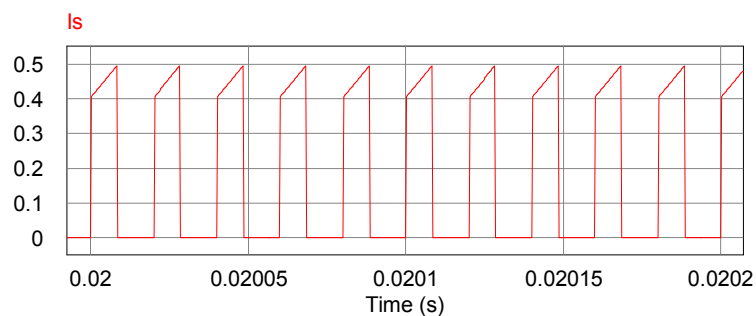


Figura 22 – Corrente na chave.
Fonte: Autoria própria

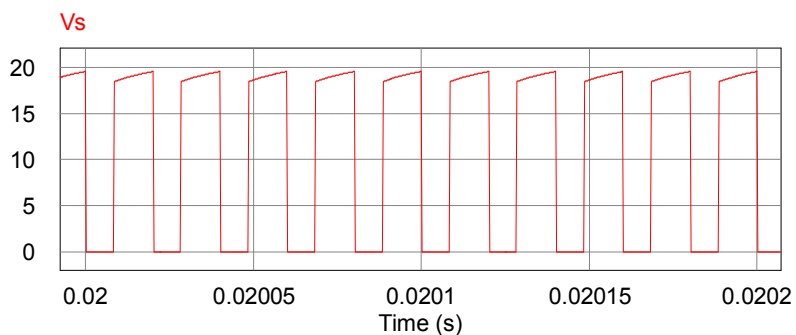


Figura 23 – Tensão na chave.
Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto, a máxima corrente que passa pela chave é de aproximadamente 494mA, e a tensão é igual a tensão de saída do conversor. Com esses valores, especificou-se a chave MOSFET IRF640, por possuir os limites máximos de tensão dreno-source de 200V e corrente direta de 16A, superiores aos limites calculados e simulados

Do mesmo modo, para o diodo de saída do conversor é necessário conhecer seus esforços de corrente e tensão. As Figuras 24 e 25 apresentam as formas de onda simuladas para a corrente e tensão.

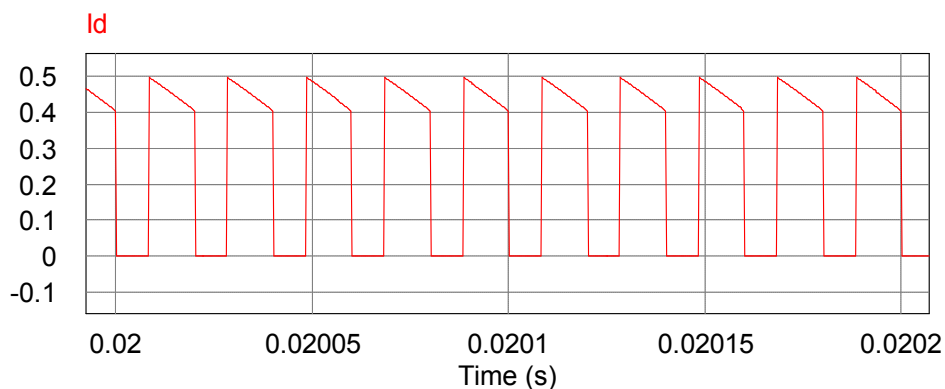


Figura 24 – Corrente no diodo.
Fonte: Autoria própria.

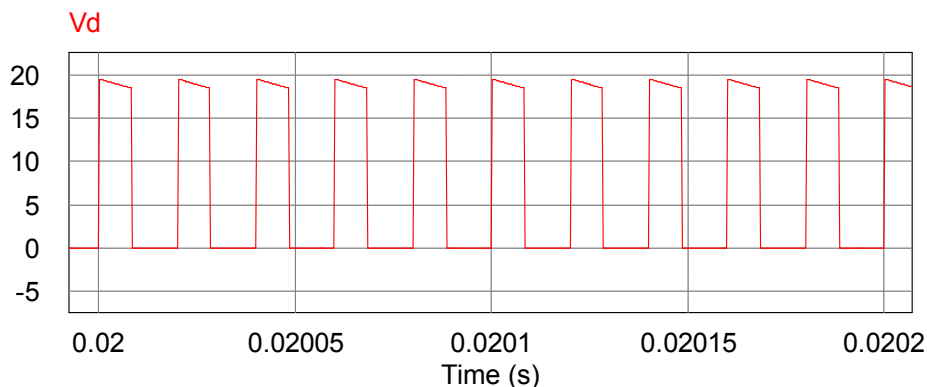


Figura 25 – Tensão no diodo.
Fonte: Autoria própria.

Sua forma de onda de corrente é complementar a forma de onda de corrente da chave, uma vez que no instante em que a chave conduz o diodo encontra-se bloqueado e quando o diodo está diretamente polarizado e conduzindo a chave encontra-se aberta. Com isso seu valor de máxima corrente é igual a máxima corrente da chave, sendo de 494mA. O mesmo acontece para a tensão, sua forma de onda é complementar a tensão sobre a chave, sendo de 19V a tensão média e pico de 19,54V.

Assim especificou-se o diodo rápido BYT 11-600, que possui limites de tensão reversa de pico de 600V e corrente direta de 1A, os quais atendem as necessidades do projeto.

6.2 DRIVER DE ACIONAMENTO DO CONVERSOR

Para chavear o conversor é necessário utilizar um circuito que gere uma onda quadrada de amplitude, frequência e largura de pulso necessárias para aplicação, denominada PWM. As maneiras mais comuns e citadas na literatura são com Circuitos Integrados(CI), que a partir da combinação de um circuito RC (resistivo-capacitivo), gera em sua saída uma onda PWM. No mercado estão disponíveis uma gama muito alta de CI's destinados a geração de PWM. Como esses componentes possuem uma lógica embarcada, necessitam de poucos componentes externos para operação.

Com intuito de simplificar o circuito, foi utilizado o CI SG3524, um regulador modulador de largura de pulso, da fabricante TEXAS INSTRUMENTS. O CI é largamente utilizado em de fontes chaveadas. Sua vantagem é a necessidade de poucos componentes externos comparados a outros tipos de CI. A frequência do sinal de saída é dada por:

$$f_c = \frac{1.3}{R_T C_T} \quad (25)$$

Em que R_T e C_T são os valores do resistor e capacitor necessários. Como a frequência de chaveamento foi preestabelecida em 50Khz, pode-se considerar um valor de capacitância comercial e encontrar uma resistência. Utilizando uma capacitância de 10nF, obteve-se uma resistência de 2,6kΩ. O circuito utilizado é descrito na Figura 26.

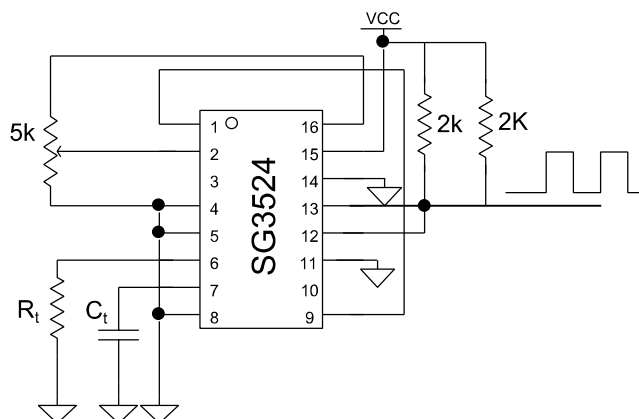


Figura 26 – Circuito SG3524.
Fonte: Autoria própria.

O PWM gerado pelo circuito indicado na Figura 26 tem amplitude da tensão de alimentação do CI, no entanto a corrente é baixa, insuficiente para chavear o MOSFET. Com isso é necessário um circuito intermediário entre a fonte do PWM e o MOSFET, para que se tenha um ganho de corrente e permita o funcionamento satisfatório da chave. O circuito utilizado é apresentado na Figura 27, juntamente com o circuito de geração de PWM.

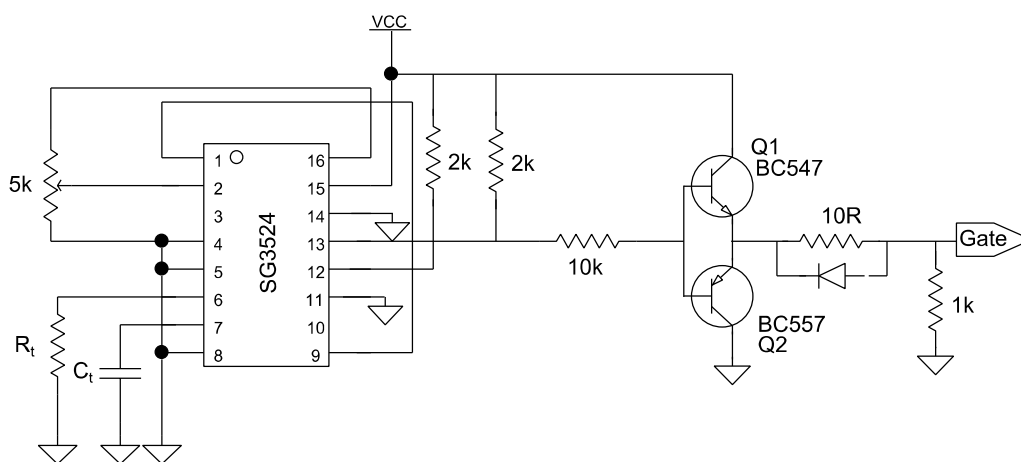


Figura 27 – Circuito de chaveamento do MOSFET.
Fonte: Autoria própria.

Quando o sinal de entrada é alto, Q1 conduz, polarizando o *gate* do MOSFET positivamente, colocando-o em condução. No instante em que o sinal de

entrada é baixo, Q1 entra em corte e Q2 conduz, fazendo com que uma tensão negativa seja aplicada ao *gate*. Isso faz com que o canal do MOSFET feixe mais rapidamente, e que sua capacitância parasita seja descarregada por meio do diodo. Um resistor de *pull down* é utilizado para evitar oscilações no *gate* do MOSFET quando o sistema estiver desligado.

6.3 CARREGADOR DE BATERIAS

A função do carregador é de carregar o grupo de baterias até apresentar a tensão nominal de funcionamento e após isso sessar a corrente de carga. O modelo escolhido para projeto é do tipo carga lenta com tensão constante. O circuito carrega continuamente as baterias, ou seja, assim que a tensão das baterias estiver abaixo da tensão nominal de 11V o carregador inicia a carga, sessando quando a tensão nominal é atingida. Esse modelo foi adotado para que se garanta carga completa nas baterias em todo o período que o sistema não estiver em funcionamento. Com isso toda vez que o modulo entrar em funcionamento as baterias estarão com carga nominal. O circuito utilizado é apresentado na Figura 28.

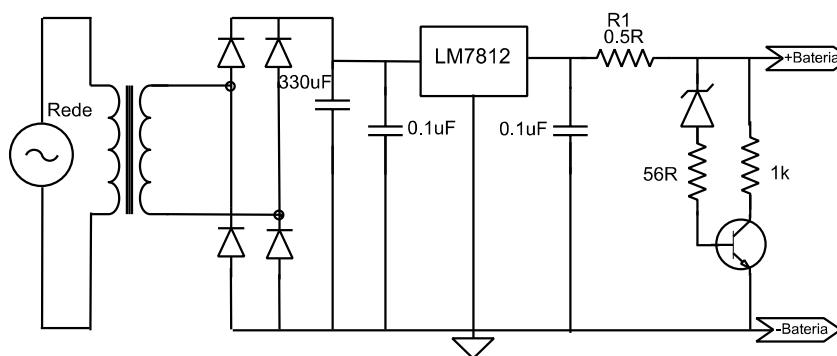


Figura 28 – Circuito carregador da bateria.
Fonte: Autoria própria.

Um transformador com relação de transformação 10:1 é utilizado para reduzir a tensão da rede. Essa tensão é retificada por um retificador de onda completa

com filtro capacitivo, a fim de obter-se uma tensão com baixa ondulação, aproximando-se de um sinal contínuo.

O valor do capacitor é definido pela Equação 26 (SEABRA, 2013),

$$C = \frac{V_P}{2f_r R V_R} \quad (26)$$

Em que :

V_P : valor de pico da tensão,

f_r : frequência do *ripple*, R a resistência de carga e

V_R : tensão de *ripple*.

Para o projeto foi considerado um capacitor de valor comercial de 330uF, resistência de carga de 900Ω. Com isso , o *ripple* de tensão calculado resultante foi de aproximadamente 437mV.

O regulador de tensão mantém em sua saída aproximadamente 12V. Quando a tensão da bateria é inferior a 11V uma corrente é drenada do regulador. Essa corrente é limitada pelo resistor R1.

Para que fosse possível determinar o valor da resistência R1, foi medida a resistência de fundo de carga com a bateria descarregada e posteriormente a resistência de carga nominal. Assim foi possível estimar as resistências de bateria descarregada e de bateria carregada, podendo então, determinar a corrente máxima e mínima através de R1. Os valores das resistências são respectivamente 110Ω e 1kΩ.

No instante em que a tensão da bateria tende a ultrapassar os 11V, o diodo *zener* é polarizado e faz com que o transistor conduza, oferecendo caminho a corrente. Com isso a corrente drenada diminui até que a bateria volte a ser descarregada e inicia um novo ciclo de carga. Um diodo é utilizado em série com a bateria, impedindo que a bateria forneça corrente inversa ao carregador se sua tensão ultrapassar a tensão de carga. O carregador foi projetado para fornecer uma corrente aproximada de 100mA quando a bateria estiver com tensão de 8V. Essa corrente sofre decréscimo mediante o aumento da tensão da bateria, até que o valor de corrente seja muito pequeno. Para o projeto, com a tensão de 11V a corrente fornecida é de

aproximadamente 10mA. A baixa corrente de carga faz com que a vida útil da bateria seja maior. Como o sistema não entrará em funcionamento constantemente, o mínimo intervalo entre acionamento para que a luminária funcione com luminosidade suficiente é de 4 horas.

6.3.1 Simulação do Carregador

A simulação do circuito de carga da bateria foi realizada no *software* Multisim, versão grátis de avaliação, obtida no site da *National Instruments*. Optou-se por utilizar este *software* para que fosse possível fazer uma simulação dinâmica, variando parâmetros como a resistência de carga com a simulação ativa e observar o comportamento do circuito.

De maneira simplificada foi utilizado uma resistência variável para simular a bateria no intuito apenas de medir as correntes máximas e mínimas considerando as resistências de fundo de carga e carga nominal.

A Figura 29 apresenta o circuito simulado com a corrente medida para a resistência de fundo de carga e a Figura 30, para a resistência de tensão nominal.

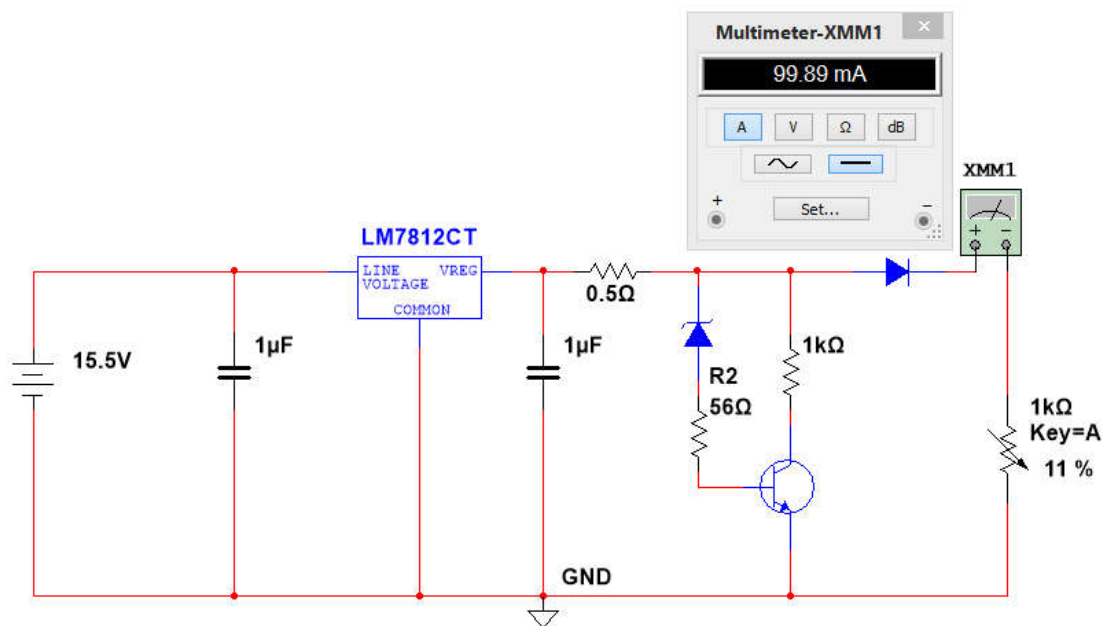


Figura 29 – Carregador da bateria.
Fonte: Autoria própria.

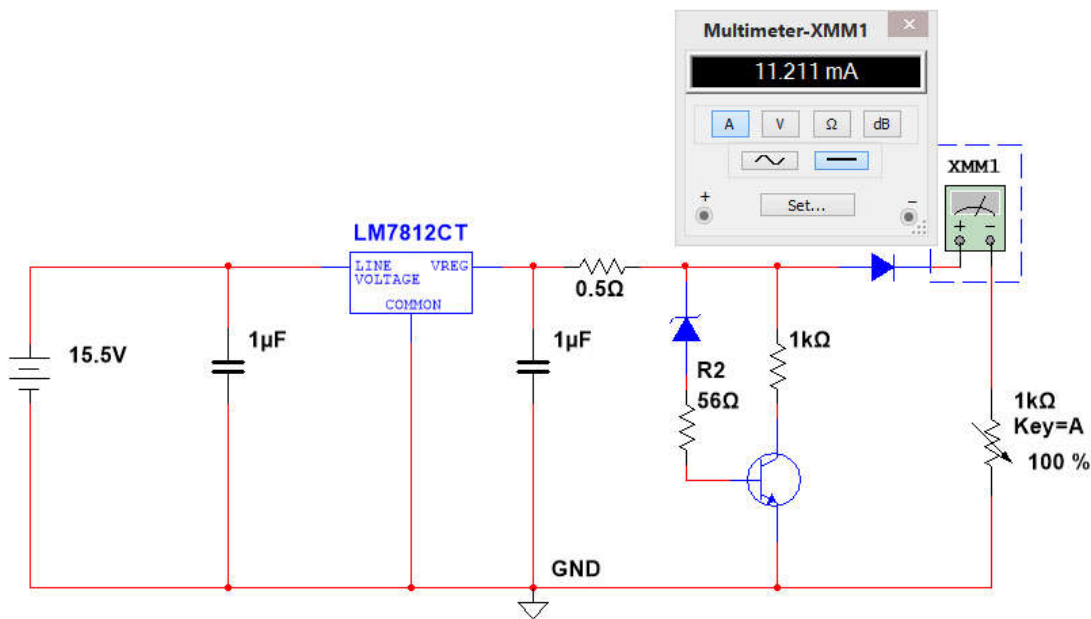


Figura 30 – Carregador da bateria.
Fonte: Autoria própria.

6.4 SENSOR DE TENSÃO

O sensor de tensão tem o objetivo de colocar o bloco em funcionamento quando é detectado a falta de energia na rede elétrica. Algumas técnicas podem ser utilizadas, como a utilização de um diodo *zener*, o qual é polarizado com a tensão da rede elétrica e quando não há tensão o diodo abre e fornece caminho de corrente para ativar o bloco. Outra técnica é a utilização de um relé NA/NF, o qual encontra-se na posição aberto quando energizado e fecha seus contatos quando a bobina para de ser alimentada. A potência consumida pela sua bobina é menor comparada a potência consumida por um diodo *zener*.

Uma desvantagem é apresentar partes mecânicas móveis; no entanto relés comerciais com tensão de polarização da bobina de 12V, apresentam, segundo seus

datasheets vida útil mecânica de 10.000.000 ciclos de chaveamento, o que é suficiente para não afetar na vida útil do bloco. Com isso decidiu-se utilizar um circuito sensor com relé, o qual é apresentado na Figura 31.

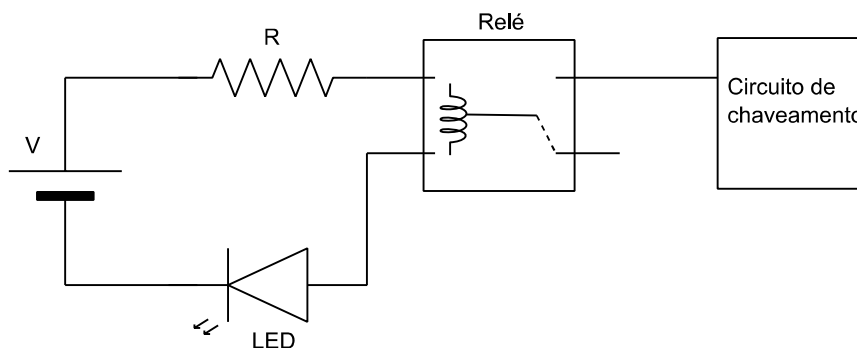


Figura 31 – Sensor de tensão.
Fonte: Autoria própria.

O relé é alimentado diretamente do retificador. Um resistor e um LED indicador são utilizados em série com a bobina do relé com a função de controlar a corrente e indicar que o sistema está em descanso, porem energizado. No momento em que a falta de energia elétrica acontece, a bobina é desenergizada e os contatos vão para a posição de normalmente fechado (NF) do relé. Assim o circuito de chaveamento do conversor é acionado, colocando o bloco em funcionamento. Quando a rede elétrica voltar as condições normais de fornecimento o relé é novamente aberto, desativando o circuito de chaveamento do conversor, cessando o funcionamento do bloco.

6.5 CIRCUITO COMPLETO

A seguir na Figura 32 será apresentado um diagrama contendo o circuito interligado para que se possa observar as conexões entre os blocos anteriormente descritos.

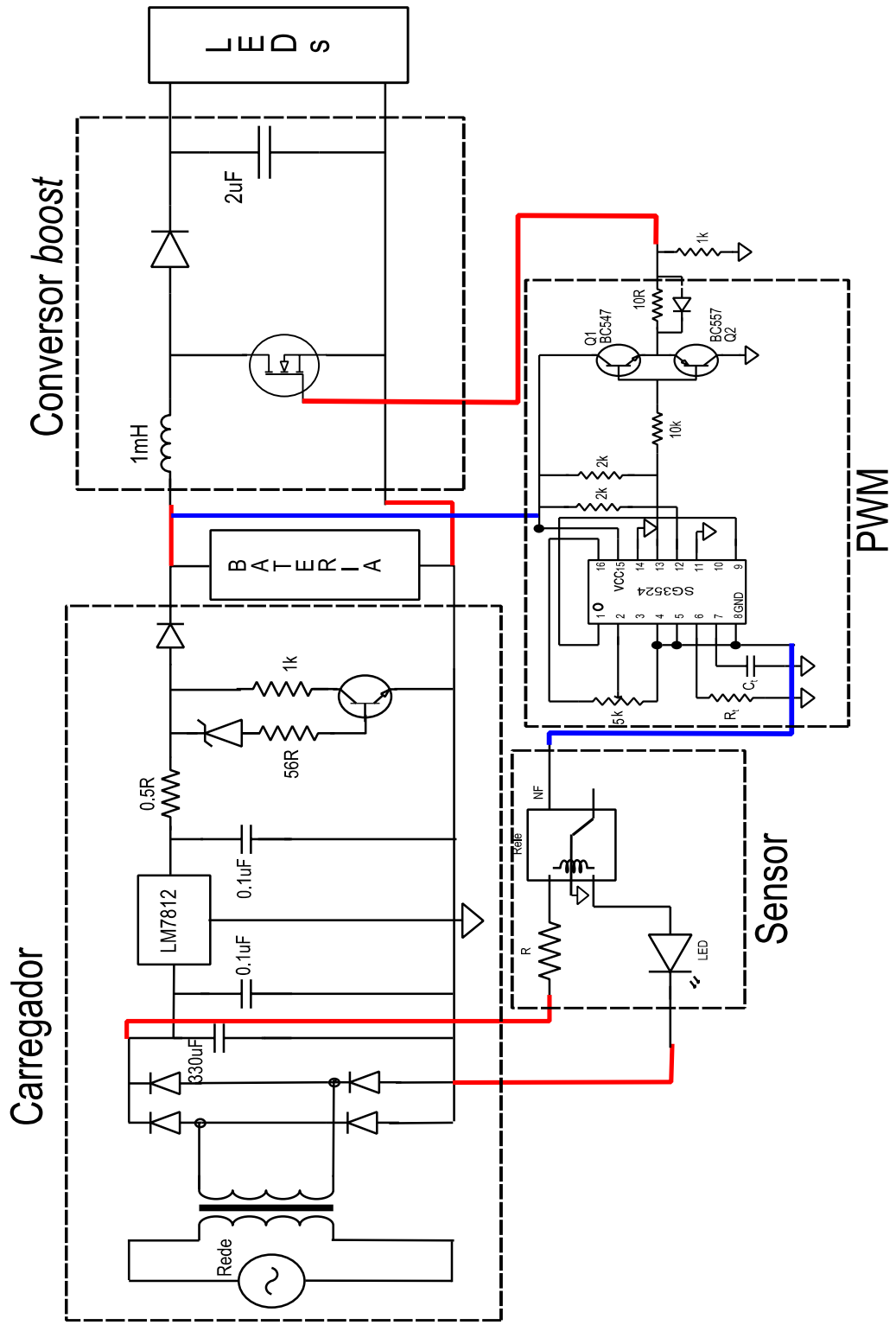


Figura 32 – Circuito interligado
 Fonte: Autoria própria.

Destacado em vermelho estão as conexões entre o carregador e conversor, bem como entre o carregador e o sensor. Da mesma forma em azul está destacado a conexão entre o sensor e o circuito de chaveamento.

7 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo será descrito o processo de implementação da luminária e os resultados obtidos, bem como uma comparação da luminária com um modelo comercial equivalente. Para o projeto físico dos blocos da luminária foram utilizados os valores dos componentes evidenciados no Capítulo 6. Os desenhos das PCIs (Placa de Circuito Impresso) foram realizados no *software* livre KICAD.

7.1 CONVERSOR BOOST E CIRCUITO DE ACIONAMENTO

Como início foi confeccionada a PCI do conversor *boost*. O indutor utilizado de 1mH foi projetado considerando a metodologia segundo Barbi (2002). Para seu acionamento foi confeccionada uma PCI com o circuito de PWM. A Figura 33 mostra a PCI do conversor e PWM.

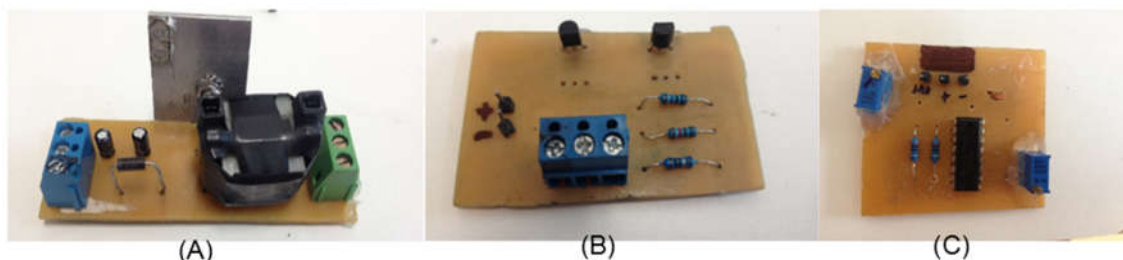


Figura 33 – (A) conversor, (B) *Push-Pull* e (C) circuito SG.
Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio de uma fonte de tensão de bancada, uma tensão de 11V foi colocada na entrada do conversor e alimentando o circuito de chaveamento. Para a medição de corrente no circuito, foi utilizada a técnica de adicionar um resistor de baixa resistência em série com o ponto onde se desejava realizar a medida e posteriormente medir sobre ele a tensão. Assim dividindo os valores de tensão pela resistência utilizada, obtém-se os valores aproximados de corrente. A forma de onda de tensão é igual a forma de onda da corrente, com isso medindo-se a tensão consegue-se evidenciar a forma de onda da corrente, apenas com amplitude diferente.

Inicialmente foi medido o sinal PWM, ajustando a frequência de chaveamento para 50kHz e seu ciclo de trabalho para 0,42, o que resulta em um período de tempo de 8,4 μ s, como pode ser visto na Figura 34.

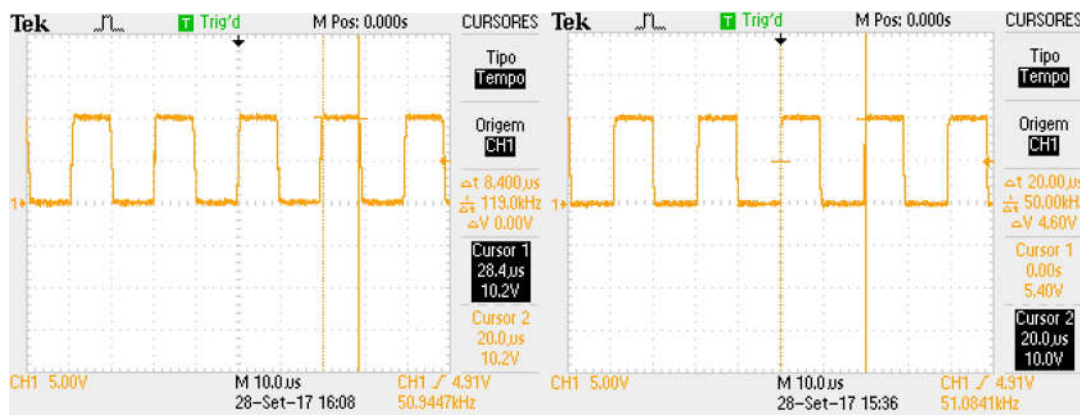


Figura 34 – Ciclo de trabalho e frequência de chaveamento.
Fonte: Autoria própria.

Posteriormente o sinal PWM foi conectado ao conversor e com o auxílio de um resistor de 1,2 Ω colocado em série com o indutor, foi medido a forma de onda da tensão. Uma vez que a forma de onda de corrente é semelhante à da tensão, basta dividi-la pelo valor da resistência utilizada e temos o valor de corrente aproximadamente. A Figura 35 mostra a tensão lida em cima do resistor em série.

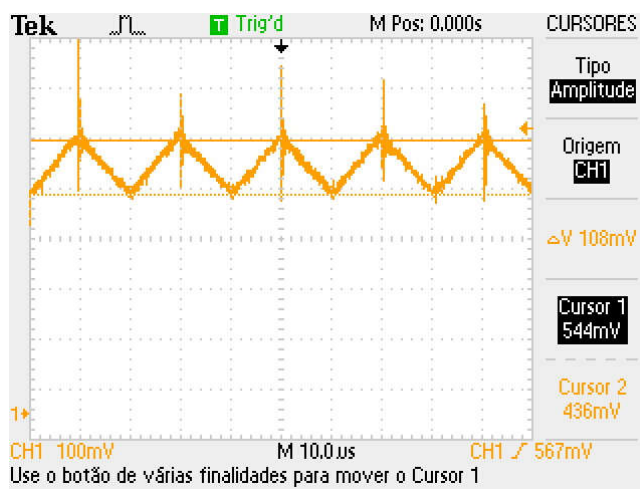


Figura 35 – Forma de onda da corrente no indutor.
Fonte: Autoria própria.

Dividindo os valores de máximo e mínimo pelo valor da resistência utilizada, obtém-se aproximadamente 454mA e 364mA. A diferença entre os valores medidos para os calculados foi de 36mA para corrente máxima e 39mA para corrente mínima, consequência da inserção de uma resistência de entrada, o que causa uma queda de tensão na entrada do conversor. Realizando o mesmo cálculo para encontrar o valor de *ripple* de corrente, obteve-se 90mA. Considerando que o valor estipulado para o projeto foi de 20% da corrente média, sendo 20% de 450mA, o *ripple* medido atende o especificado no projetado. A corrente média foi medida com o auxílio de um multímetro, sem a inserção do resistor, resultando em 440mA. A diferença entre o valor medido e o valor calculado é decorrente da resistência de enrolamento do indutor e a perda na chave. A tensão de saída do conversor foi medida diretamente nos LEDs, e é evidenciada na Figura 36.

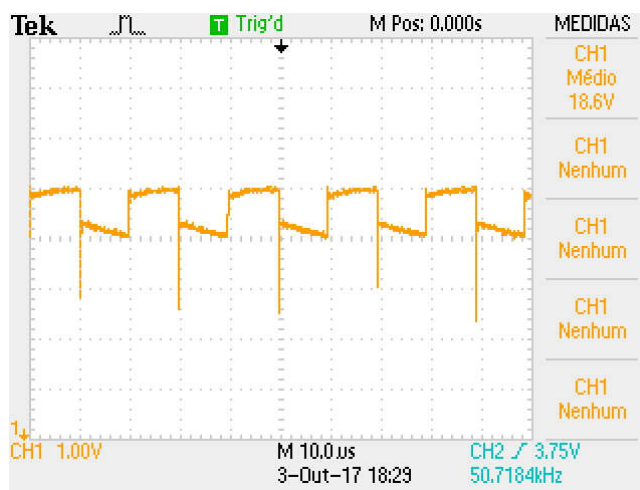


Figura 36 – Tensão na saída do conversor.
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto, o valor médio foi de 18,6V. A diferença se dá pela perda existente no conversor, como já citado anteriormente. O *ripple* de tensão na saída foi de 1V como pode ser visto na Figura 37. Para o valor de capacitância utilizada, a variação calculada foi de 1,09V, sendo assim o *ripple* de tensão atendeu as especificações de projeto. A pequena diferença é consequência de a capacitância real ser superior ao valor do componente, devido a própria precisão do componente.

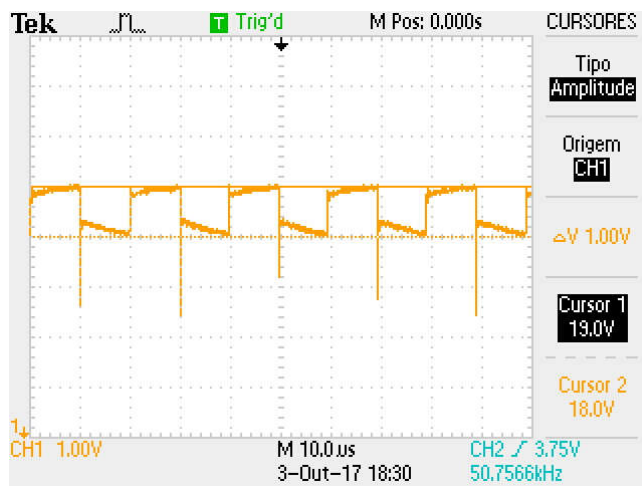


Figura 37 – Ripple de tensão na saída.
 Fonte: Autoria própria.

Por final foi realizada a medição de corrente no diodo, dispondo-se do mesmo modo de um resistor de $1,2\Omega$ em série com o componente. Essa medição não tem por objetivo definir o valor de corrente, mas sim o objetivo de comprovar a operação do conversor em modo de condução contínua, como estipulado no projeto.

A Figura 38 mostra a tensão sobre o resistor em série com o diodo (CH1- laranja) e o sinal PWM na chave (CH2- azul).

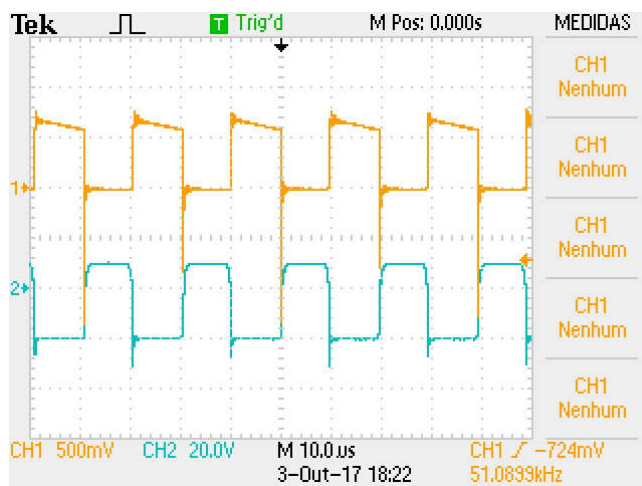


Figura 38 – Forma de onda da corrente no diodo e sinal PWM.
 Fonte: Autoria própria.

Levando em consideração que a forma de onda da corrente seja aproximadamente igual a forma de onda de tensão medida, pode-se observar que a corrente no diodo só chega a zero quando a chave é novamente fechada, e tem seu valor máximo no instante em que a chave abre. Com isso pode-se comprovar que o conversor opera em modo contínuo pois a corrente não chega a zero com a chave fechada, ou seja, só existe dois períodos de tempo na operação, o que caracteriza a operação em modo de condução contínua.

7.2 SENSOR DE TENSÃO

Para o sensor de tensão foi confeccionado uma PCI contendo um relé SRD -12VDC_SL-C, o resistor e o LED indicador em série com a bobina. Os contatos NF do relé foram ligados em série com a alimentação do circuito de PWM. A PCI é evidenciada na Figura 39.

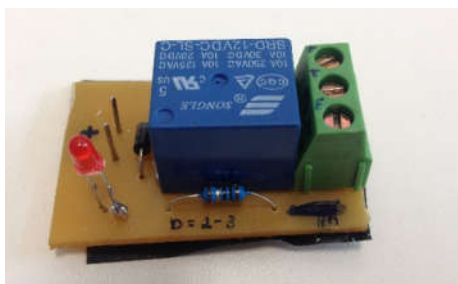


Figura 39 – PCI sensor de tensão.
Fonte: Autoria própria.

Segundo a norma NBR10898/1999, o sistema deve entrar em operação quando percebido a falta de energia em no máximo 5 segundos. Para comprovar a eficiência do sensor, foi medido o tempo de acionamento aproximado em que os contatos do relé mudam de posição e colocam o sistema em funcionamento. A forma de onda pode ser vista na Figura 40.

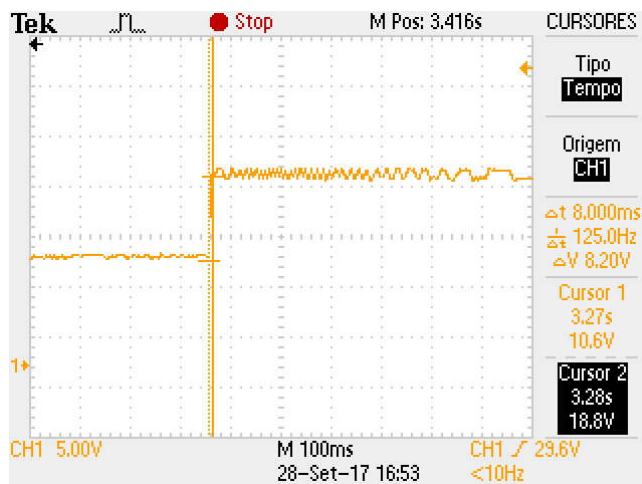


Figura 40 – Tempo de chaveamento do relé.
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto, o sensor coloca o sistema em funcionamento em aproximadamente 8 milissegundos, atendendo as exigências da norma.

7.3 CARREGADOR DA BATERIA

Uma PCI foi confeccionada com o retificador de onda completa, filtro capacitivo e o circuito carregador, como mostra a Figura 41. O transformador não foi afixado na placa, para que se pudesse ter mais flexibilidade de montagem em bancada. A forma de onda depois do filtro capacitivo foi medida e é apresentada na Figura 42.



Figura 41 – PCI carregador de baterias.
Fonte: Autoria própria.

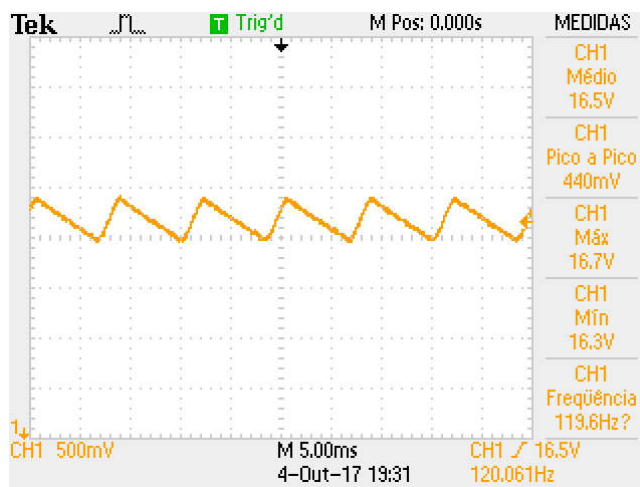


Figura 42 – Ripple de tensão na saída do conversor.
Fonte: Autoria própria.

Por meio da Figura é possível observar que o *ripple* de tensão é de 440mV, valor próximo do calculado de 436mV. Para que fosse evidenciado o funcionamento do carregador, a bateria foi previamente descarregada até a tensão de 8V. Posteriormente conectada ao carregador e carregada até que sua tensão atingisse 11,2 V. O tempo total gasto para obter a tensão de 11,2V foi de 4 horas. Desse modo o carregador manterá a bateria em sua tensão nominal, voltando a carrega-la sempre que a tensão estiver abaixo dos 11,2 V.

7.4 COMPARAÇÃO COM LUMINÁRIA DE EMERGÊNCIA COMERCIAL

Por norma, a iluminação de emergência deve fornecer 5 lux de iluminação mínima, com decréscimo de no máximo 10% de sua luminosidade dentro do período de tempo de 1 hora.

Como a universidade não possui os recursos necessário para realizar um ensaio com o protótipo em uma esfera integradora (equipamento destinado a medição de fluxo luminosos e espectro), decidiu-se realizar uma comparação da luminária

projetada com uma luminária comercial de mesmo uso. A luminária utilizada foi um bloco autônomo Segurimax, 30 LEDs SMD 4,5W, apresentada na Figura 43.



Figura 43 – Luminária de emergência Segurimax.
Fonte: segurimax.com.br.

O teste se consistiu em medir a quantidade de lúmens com o auxílio de um Luxímetro, dentro de um corredor de aproximadamente 20 m², com a luminária posicionada a 1,5m do piso. A distância de medição foi de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7m da luminária. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3 – Comparação luminária comercial e protótipo com relação a luminosidade.

Distância (m)	Luminária Segurimax (lm)	Protótipo (lm)
1	13	30
2	5	15
3	3	9
4	2	7
5	2	5
6	1	4
7	1	3

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado, a luminária projetada apresentou uma maior quantidade de lumens em todas as distâncias de medição em relação a comercial.

Desse modo acredita-se que a luminária esteja dentro dos padrões exigidos de luminosidade.

Para o ensaio de perda de luminosidade no período de 1 hora, o sensor foi afixado a uma distância de 1,2m da luminária. Inicialmente foi medido 30 lúmens e ao final do período a luminária apresentava 28 lúmens. Foi constatado que a luminária apresentou redução de aproximadamente 7% do fluxo luminoso inicial, atendendo ao requisito da norma.

8 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi de realizar o projeto e simulação de uma luminária LED de emergência. Por meio de uma revisão da norma de iluminação de emergência NBR 10898/1999 foi possível analisar os requisitos mínimos que são exigidos para implantação de iluminação de emergência.

O projeto se consistiu de quatro blocos: sensor de energia, carregador de baterias, conversor chaveado *boost* e circuito de acionamento para o conversor. A simulação para o conversor *boost* evidenciou seu funcionamento e confirmou os resultados do projeto teórico. Pequenas discrepâncias foram evidenciadas devido aos arredondamentos dos resultados teóricos comparados aos resultados obtidos na simulação.

O conversor depois de implementado, apresentou resultado satisfatório, desempenhando uma potência de aproximadamente 4,84W na saída. O erro entre a potência especificada em projeto e a medida foi de 3,2%.

O circuito de carga das baterias foi capaz de carregar a bateria em aproximadamente 4 horas, com carga lenta e tensão constante. O *ripple* de tensão do filtro capacitivo para a entrada do carregador apresentou valor próximo do calculado, atendendo ao projeto.

O sensor de energia efetuou o acionamento da luminária em 8ms, tempo abaixo do exigido por norma de 5 segundos, assegurando que a luminária será ativada poucos instantes após a falta de energia.

O teste de comparação com a luminária comercial evidenciou que o protótipo apresentou uma luminosidade média superior a comercial em 2,7 vezes. Quanto ao teste de perda de luminosidade, o qual aferiu a diminuição da luminosidade no período de 1 hora, o protótipo atendeu a norma com perda de 7% do fluxo luminoso, enquanto a norma exige no máximo 10%. Sendo assim, acredita-se que o protótipo de luminária atendeu aos requisitos exigidos por norma, bem como aos requisitos de projeto efetuadas ao longo do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 10898 - Sistemas de iluminação de Emergência, p. 24, 01 Novembro 1999.
- AHMED, A. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- ALONSO, J. et al. A smart lighting Emergency system for fluorescent lamps. **IEEE**, v. 3, n. Power Electronics and Applications, 1993., Fifth European Conference on, p. 6, Setembro 1993.
- AMARAL, H. H. Conversor boost ZCZVT aplicado em um sistema de iluminação de emergência LED, Pato Branco, 2011.
- BARBI, I. **Projeto físico de indutores e transformadores**. Florianópolis: [s.n.], 2002.
- BARBI, I. **Eletrônica de potência: conversores CC-CC básicos não isolados**. 2ª. ed. Florianópolis: [s.n.], 2006.
- BULLOUGH, D. Lighting answers: LED lighting Systems. **Lighting Research Center**, Maio 2003. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/searchpublications.asp>>. Acesso em: 20 Março 2017.
- CAMPONOGARA, D. Desenvolvimento de topologias com redução de processamento redundante de energia para acionamento de LEDs, Santa Maria, p. 218, 2015.
- CARDESÍN, J. et al. LED Permanent Emergency Lighting System Based on a Single Magnetic Component. **IEEE**, v. 24, n. IEEE Transactions on Power Electronics, p. 8, Maio 2009.
- CERVI, M. Rede de Iluminação Semicondutora para Aplicação Automotiva, Santa Maria, 2005.
- CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ. **Procedimentos administrativos. Parte 2 - Plano de Segurança contra incêndio e Pânico- PSCIP**. Corpo de Bombeiros do Paraná. [S.I.]: [s.n.], 2015. 39 p.
- DIAS, M. P. avaliação do emprego de um pré-regulador boost de baixa frequência no acionamento de LEDs de iluminação, Juíz de Fora, 2012.
- ETAP. Dossier LED: iluminação com uma nova fonte de luz, n. 3ª, 2012.
- LUXEON. Power light source Luxeon III Emitter, 2008. Disponível em: <<http://www.luxeon.com/pdfs/DS56.pdf>>. Acesso em: 17 Agosto 2017.
- O ESTADO DE SÃO PAULO. **Zap em Casa**. Disponível em: <<https://revista.zapimoveis.com.br/verticalizacao-atinge-todo-o-pais-e-1-em-cada-10-brasileiros-ja-mora-em-predios/>>. Acesso em: 18 out. 2017.
- OLIVEIRA, A.A. et al. Distributed Emergency Lighting System LEDs Driven by Two Integrated Flyback Converters. **IEEE**, p. 6, 15 Outubro 2007.

- OLIVEIRA, A.A. et al. Distributed Emergency Lighting System LEDs Driven by Two Integrated Flyback Converters, 2007.
- OSRAM. Conhecimento Profissional. **Osram**, 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/cc5KO2>>. Acesso em: 20 Março 2017.
- PETRY, C. A. Introdução aos Conversores CC-CC , Florianópolis, 2001.
- PINTO, R. A. Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz(LEDs), Santa Maria, 2008.
- REVIEW LED PROFESSIONAL. LED electronics, 2009.
- SCHUBERT, E. F. Light-Emitting Diodes. **Cambridge: Cambridge University**, 2003.
- SEABRA, A. C. **Filtros para retificadores**. São Paulo: PSI/EPUUSP, 2013.
- SECADES, M. et al. Evaluation of a low-cost permanent emergency lighting system based on high-efficiency LEDs. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS**, setembro 2005.
- SEITO, A. et al. **A segurança contra incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- SILVA, J. P. **Apostila de Eletrônica de Potência**. [S.l.]: [s.n.], 2013.
- SOMABRASIL. Disponível em: <<http://www.somabrasil.com.br/transformadores>>. Acesso em: Outubro 2016.
- STA ELETRÔNICA. Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e Carregadores, 2014.
- XIAOYUN, F.; XIAOJIAN, L.; YAN, W. Research And Analysis Of The Design Development And Perspective Technology For Led Lighting Products, 2009.
- ZUKAUSKAS, A.; SHUR, M. S.; CASKA, R. Introduction to Solid-State Light. , n. 1ª, 2002.