

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELÉTRICA

SAMUEL MORAIS CARLOS

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LUMINÁRIA LED COM CONTROLE DE DIMERIZAÇÃO  
E TEMPERATURA DE COR

CURITIBA

2019

SAMUEL MORAIS CARLOS

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LUMINÁRIA LED COM CONTROLE DE DIMERIZAÇÃO  
E TEMPERATURA DE COR

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação apresentado a disciplina TE105, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.  
Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk.

CURITIBA

2019

folhadeaprovaçao

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**SAMUEL MORAIS CARLOS**

### **IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LUMINÁRIA LED COM CONTROLE DE DIMERIZAÇÃO E TEMPERATURA DE COR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, pela seguinte banca examinadora:

---

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

---

Prof. Luiz Antônio Belinaso

---

Prof.  
Ph.D. Henri Frederico Eberspacher

---

Curitiba, 25 de Junho de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois Ele tem guiado meus passos e me proporcionado tudo que alcancei até hoje. Outrossim, sou muito grato ao meu pai Aparecido Carlos Filho que sempre me proveu o que precisava e, apesar de ter falecido há dois anos, suas lembranças permanecem em minha memória todos os dias (sem exceção). Sem dúvida nenhuma eu agradeço a minha mãe Maria de Fatima Morais Carlos que, com muito ânimo, paciência e fé me ensinou a dignidade com que devo levar a vida. Tenho certeza que sem ela jamais teria conquistado o que tenho hoje, pois sempre me apoiou em meus estudos. Agradeço minha esposa (amor da minha vida) Jaqueline Pazetto de Freitas, que com muito amor e companheirismo tem estado ao meu lado sempre que preciso e me ajudado a conquistar meus objetivos. Sou grato ao Programa Bom Aluno, instituição essa que me proporcionou toda a educação e estudo que tenho hoje. Agradeço a Universidade Federal do Paraná e aos professores de Engenharia Elétrica por terem se esforçado em transmitir o conhecimento e contribuir para minha formação acadêmica e profissional. Um agradecimento especial aos meus irmãos, os quais me motivam a continuar lutando diariamente. Sou muito agradecido a toda minha família e a todos os amigos, os quais têm sido como refúgio em momentos de aborrecimento. A todos, muito obrigado! Encerra-se aqui uma longa e árdua jornada acadêmica repleta de lembranças para dar início a uma lida ainda mais desafiadora. Graças a Deus por tudo!

## RESUMO

O presente trabalho se refere ao estudo, projeto e construção de um protótipo de uma luminária LED de alta eficiência com controle de dimerização e temperatura de cor. A luminária foi projetada para apresentar um fluxo luminoso nominal de 2000 lúmens, e sua intensidade será controlada através de um acionamento manual pelo usuário. A interface entre o dispositivo manual e o driver de LED escolhida foi o microcontrolador MSP430G. A aplicação deste protótipo tem como foco principal as luminárias para uso residencial, haja visto que, de acordo com a COPEL, em 2017 somente o Paraná contava com quase 4 milhões de consumidores residenciais. Com a luminária, o usuário poderá selecionar manualmente qual o nível de iluminação ele quer para o ambiente, bem como qual a temperatura de cor mais agradável para a ocasião. A metodologia aplicada no projeto foi dividida entre revisão bibliográfica, definição e dimensionamento dos parâmetros de carga, projeto do driver de LED, aquisição dos materiais, montagem, elaboração do código de programação para o microcontrolador, confecção do protótipo, realização de testes e elaboração do relatório final. O protótipo final foi capaz de controlar a intensidade luminosa dos LEDs, bem como a temperatura de cor desejada pelo usuário.

**Palavras-chave:** Luminária LED, alta eficiência, dimerização, controle de temperatura de cor, microcontrolador, iluminação residencial, driver de LED.

## **ABSTRACT**

The current work refers to the study, project and building of a prototype of a high efficiency LED lamp with dimming and color temperature control. The lamp was projected to present a nominal luminous flux of 2000 lm, and its intensity will be controlled by a manual triggering device by the user. The chosen interface between the device and the LED driver was the MSP430G micro-controller. This prototype application has as main focus the lamps for residential use, since, according to COPEL, in 2017 only Paraná had almost 4 million residential consumers. With this lamp, the user will be able to manually select what is the lighting level he wishes for the place, as well as the most suitable color temperature for each occasion. The methodology applied in the project was divided into bibliographic review, dimensioning and establishment of load parameters, LED driver project, purchase of materials, assembly, programming code elaboration for the micro-controller, confection of the prototype, making tests and typing the final report. The final prototype was able to control the LEDs' luminous intensity, as well as the color temperature wished by the user.

**Key-words:** LED lamp, high efficiency, dimming, color temperature control, residential lighting, LED driver.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 – Esquema do projeto	13
FIGURA 7.1 – Lâmpadas necessárias para fornecer o mesmo fluxo-hora	18
FIGURA 7.2 – Eficiência de um módulo de LED de potência vs corrente direta e temperatura de junção	19
FIGURA 7.3 – Controle de corrente de dimerização	20
FIGURA 7.4 – Fontes LED de diferentes temperaturas de cor	21
FIGURA 7.5 – Modelos de LED com encapsulamento <i>dual in line</i>	22
FIGURA 7.6 – Modelos de LED de Potência	22
FIGURA 7.7 – Modelos de LED SMD	23
FIGURA 7.8 – Modelos de LED COB	23
FIGURA 7.9 – Curva característica de um resistor	25
FIGURA 7.10 – Tipos de resistores	26
FIGURA 7.11 – Circuito simples para carregar um capacitor	27
FIGURA 7.12 – Comportamento de tensão e corrente de um capacitor	27
FIGURA 7.13 – Capacitor eletrolítico	29
FIGURA 7.14 – Exemplos de capacitores de poliéster	29
FIGURA 7.15 – Capacitores cerâmicos	30
FIGURA 7.16 – Capacitores SMD	30
FIGURA 7.17 – Circuito transitório R-L básico	31
FIGURA 7.18 – Comportamento de tensão e corrente de um indutor	32
FIGURA 7.19 – Indutor com núcleo de ar	33
FIGURA 7.20 – Indutor com núcleo ferromagnético	33
FIGURA 7.21 – Conversor CC-CC e sinal de saída	34
FIGURA 7.22 – Conversor Buck	35
FIGURA 7.23 – Conversor Boost	36
FIGURA 7.24 – Conversor Buck-Boost	38
FIGURA 7.25 – Conversor Flyback	39
FIGURA 7.26 – FUSÍVEL: Circuito e exemplos	40
FIGURA 7.27 – Curva de um varistor	40

FIGURA 7.28 – VARISTORES: Circuito e exemplos . . . . .	41
FIGURA 7.29 – TVS: Circuito e exemplos . . . . .	41
FIGURA 7.30 – Amp-Op Inversor . . . . .	42
FIGURA 7.31 – Amp-Op Não Inversor . . . . .	43
FIGURA 7.32 – Amp-Op Somador . . . . .	43
FIGURA 7.33 – Amp-Op Subtrator . . . . .	44
FIGURA 8.1 – Esquema do projeto . . . . .	46
FIGURA 8.2 – Diagrama esquemático do CI XDPL8105 . . . . .	48
FIGURA 8.3 – DRIVER DE POTÊNCIA - VISTA SUPERIOR . . . . .	49
FIGURA 8.4 – DRIVER DE POTÊNCIA - VISTA INFERIOR . . . . .	50
FIGURA 8.5 – MICROCONTROLADOR MSP430G . . . . .	50
FIGURA 8.6 – POTENCIÔMETRO . . . . .	51
FIGURA 8.7 – MÓDULOS DE LED COB . . . . .	51
FIGURA 9.1 – ANALISADORA PARA DRIVERS DE LED EVERFINE . . . . .	52
FIGURA 9.2 – MULTÍMETRO KEYSIGHT . . . . .	53
FIGURA 9.3 – LUXÍMETRO MINIPA . . . . .	53
FIGURA 11.1 – Cronograma de Atividades . . . . .	57

## LISTA DE TABELAS

1	TESTE DOS PARÂMETROS DO DRIVER DE POTÊNCIA . . . .	52
2	TESTE DE LUMINOSIDADE DOS MÓDULOS COB . . . . .	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>3</b>	<b>PÚBLICO ALVO</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>DIFERENCIAL DO TRABALHO</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>RECURSOS NECESSÁRIOS</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
7.1	TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO	18
7.2	DIMERIZAÇÃO	19
7.3	TEMPERATURA DE COR	20
7.4	CLASSIFICAÇÃO DOS LEDS	21
7.4.1	LED COMUM COM ENCAPSULAMENTO <i>DUAL IN LINE</i>	21
7.4.2	LEDS DE POTÊNCIA	22
7.4.3	LEDS SMD ( <i>SURFACE MOUNT DIODE</i> )	23
7.4.4	LEDS COB ( <i>CHIP ON BOARD</i> )	23
7.5	DISPOSITIVO DE CONTROLE E ALIMENTAÇÃO (DRIVER)	24
7.6	COMPORTAMENTO DOS COMPONENTES PASSIVOS DE UM CIRCUITO	25
7.6.1	RESISTOR	25
7.6.1.1	Tipos de resistores	25
7.6.2	CAPACITOR	26
7.6.2.1	Tipos de capacitores	28
7.6.3	INDUTOR	30
7.6.3.1	Tipos de indutores	32

	10
7.7 TOPOLOGIAS DE CONVERSORES CC-CC . . . . .	34
7.7.1 CONVERSOR BUCK . . . . .	35
7.7.2 CONVERSOR BOOST . . . . .	36
7.7.3 CONVERSOR BUCK-BOOST . . . . .	37
7.7.4 CONVERSOR FLYBACK . . . . .	39
7.8 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO DE CIRCUITO . . . . .	39
7.8.1 FUSÍVEL . . . . .	39
7.8.2 VARISTOR . . . . .	40
7.8.3 TVS . . . . .	41
7.9 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS . . . . .	42
7.9.1 AMPLIFICADOR INVERSOR . . . . .	42
7.9.2 AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR . . . . .	42
7.9.3 AMPLIFICADOR SOMADOR . . . . .	43
7.9.4 AMPLIFICADOR SUBTRATOR . . . . .	43
<b>8 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO . . . . .</b>	<b>45</b>
8.1 FUNCIONAMENTO . . . . .	46
8.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA CARGA . . . . .	47
8.3 DEFINIÇÃO DO CIRCUITO CONVERSOR CC-CC . . . . .	47
8.4 ESTRUTURA DO PROJETO . . . . .	48
8.5 MATERIAIS UTILIADOS NO PROJETO . . . . .	49
<b>9 RESULTADOS . . . . .</b>	<b>52</b>
9.1 TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO . . . . .	52
<b>10 CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>11 CRONOGRAMA . . . . .</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso e investimento em fontes de energia renovável enfrentou diversas barreiras, a qual era considerada praticamente inviável até pouco antes do ano de 2000, devido, principalmente, a seu alto custo. No entanto, o aumento no valor da energia elétrica e as estiagens mais severas, culminando na deficiência de oferta em 2001 e em 2013, impulsionaram o uso de fontes alternativas de geração de energia elétrica, como solar e eólica, por exemplo. Desde então, investimentos em eficiência energética têm atraído cada vez mais olhares do governo e das indústrias.

O emprego de recursos públicos para instigar a pesquisa e o desenvolvimento no Brasil são evidenciados pela reorganização do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) pouco antes do ano de 2000. No setor de energia elétrica, as pesquisas contam, também, com a contribuição do programa de PD Aneel, estabelecido pela Lei nº 9.991/2000.

De acordo com o artigo Mudanças no Apoio à Pesquisa em Energias no Brasil divulgado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2016, foram investidos mais de 6 bilhões de reais através do programa de PD da Aneel, entre 2011 e 2015, em projetos relacionados a eficiência energética. Isso indica uma tendência no mercado de querer acompanhar os investimentos públicos na área, o que, por sua vez, fomenta ainda mais o desenvolvimento de tal setor.

Somente em 2017, o consumo de energia elétrica no Brasil foi de aproximadamente 465 mil GWh dos quais quase 134 mil GWh (29%) dizem respeito apenas à classe residencial, conforme dados do relatório de projeção de demanda da energia elétrica divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2017. De acordo com o estudo, a demanda total em 2026 ultrapassará os 750 mil GWh, indicando um crescimento estimado de 63% no consumo.

Tal cenário é preocupante no sentido de que se faz extremamente necessário otimizar o uso desta energia, para que seu fornecimento no futuro venha suprir tal demanda. Com isso em mente, o governo e instituições privadas têm procurado cada vez mais investir em eficiência energética. De acordo com a projeção da EPE de 2017, haverá, até 2026, um ganho de eficiência de 4.1 % em relação à demanda total, o que equivale a dizer que, nesse período, serão economizados 318 mil GWh de energia.

Sabe-se, também, que tal ganho de eficiência energética está relacionado principalmente ao consumo de energia não somente para produção industrial, mas também por máquinas e aparelhos de diversas aplicações, como residencial, escritório, hospitalar, empresarial etc. Sob este viés, muitas indústrias têm empregado esforços para desenvolver produtos com a maior eficiência possível. Alguns dos fatores que fomentam tal desenvolvimento, são, por exemplo, ações tomadas pelo Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, como o selo PROCEL. Tal selo certifica e classifica o nível de eficiência de diversos produtos, tais como eletrodomésticos, bombas e motores, sistemas solares, produtos de iluminação etc.

Um setor notório nesta área é o de iluminação, cujo mercado traz soluções cada vez mais eficazes, saindo de fontes incandescentes para fluorescentes e, nos últimos anos, passando a se compor majoritariamente por o que tem mostrado ser a tendência para a iluminação do futuro: o LED. As vantagens de tal tecnologia são muitas, por exemplo: alta eficiência luminosa, longa vida útil, baixa atenuação do fluxo luminoso e do espectro de iluminação, capacidade de luz branca neutra, quente ou fria, maior índice de reprodução de cores (IRC), dimerização mais abrangente e, principalmente, economia de energia em relação às luminárias convencionais. Por tais motivos, o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), possui um setor dedicado exclusivamente a investimentos em iluminação pública. Por tais circunstâncias e características, a iluminação LED tem sido alvo de grandes investimentos, estudos e aplicações nos últimos anos. Atualmente, eventos como a EXPOLUX - Feira Internacional da Indústria de Iluminação - fomentam e instigam cada vez mais investimentos de engenharia e arquitetura em tecnologias LED, abrindo espaço para pesquisas e estudos em tal área.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

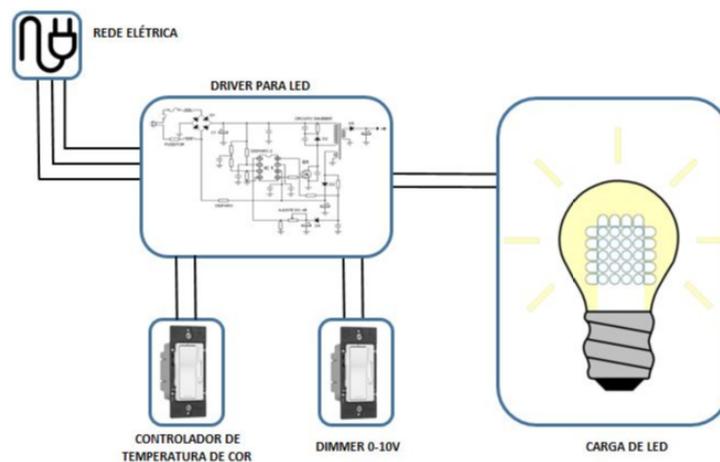
Desenvolver uma luminária LED de elevada eficiência para uso interno, controlada por um driver de acionamento, com controle de luminosidade e temperatura de cor.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Especificação dos parâmetros da carga de LED e do circuito de acionamento (DRIVER);
- Luminária com fluxo final de 2000lm;
- Driver deve fornecer a corrente necessária para suprir o fluxo da luminária;
- Driver deve possuir eficiência superior a 90%.
- Driver deve ter controle de alteração da corrente de saída;
- LEDs devem dimerizar conforme alteração da corrente de saída do driver;
- Protótipo final deve estar pronto até a data da apresentação final.

Na figura 2.1 está apresentao um esquemático ilustrativo do que se visa implementar.

FIGURA 2.1 – Esquema do projeto



Fonte: O Autor (2019)

### 3 PÚBLICO ALVO

Em meio a um mercado cada vez mais acirrado e competitivo, as indústrias têm buscado cada vez mais reduzir os custos para manter seu faturamento. Segundo a campanha de eficiência de energia lançada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), cerca de 50% dos custos com energia elétrica de uma empresa é composto por sistemas de refrigeração e de iluminação.

Outrossim, o Anuário Estatístico de Energia Elétrica realizado pela EPE em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME), mostra que, em 2018, o setor residencial foi responsável por 29% do consumo elétrico total do país, dos quais 14% dizem respeito a iluminação.

De acordo com a COPEL, em 2017 o estado do Paraná contava com 3.801.251 consumidores residenciais.

Sob tal viés, este trabalho tem como objetivo ser aplicado nas indústrias que desenvolvem e fabricam soluções em iluminação industrial e residencial, além de servir como base para futuras pesquisas. Porém, devido sua aplicação, o produto final visa os consumidores residenciais.

#### **4 DIFERENCIAL DO TRABALHO**

O diferencial deste projeto será implementar fisicamente uma luminária LED com controle de dimerização e temperatura de cor que possa ser aplicado futuramente em sistemas IoT. Tal controle será feito via sistema micro-controlado junto com um driver de potência para acionamento da carga. A carga de LED será composta 50% por LED 3000K e 50% por LED 5000K, que totalizarão no total 2000 lúmens, o equivalente a uma lâmpada convencional de aproximadamente 125W.

## 5 RECURSOS NECESSÁRIOS

A execução do projeto requererá recursos do próprio autor, como aquisição de materiais e componentes necessários para o protótipo, laboratórios da UFPR e da Lumicenter para realização de testes e *softwares* de circuito eletrônicos e de análise de dados.

Os materiais a serem adquiridos pelo autor são os seguintes:

- Módulos de LED;
- Micro-controlador;
- Dimmer 0-10V;
- Cabos de alimentação e conexão;
- Componentes eletrônicos para o driver.

Referente aos equipamentos a serem utilizados em laboratório para testes e confecção estão: ferramentas em geral, multímetro, osciloscópio, analisadora de driver para LED e câmera térmica.

## **6 RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS**

Além de todo o conhecimento acadêmico e técnico a ser adquirido com acuidade, pode-se considerar como resultado fundamental o protótipo final da luminária LED conforme descrito na seção objetivos. O produto final deverá ter uma carga de LED, um driver operando nas faixas de tensão e corrente especificadas, controladores de luminosidade e de temperatura de cor e deverá funcionar nas especificações projetadas. A luminária deverá funcionar nas duas faixas de tensão da rede elétrica (127V e 220V), apresentar o fluxo nominal estabelecido em projeto e dimerizar corretamente.

## 7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

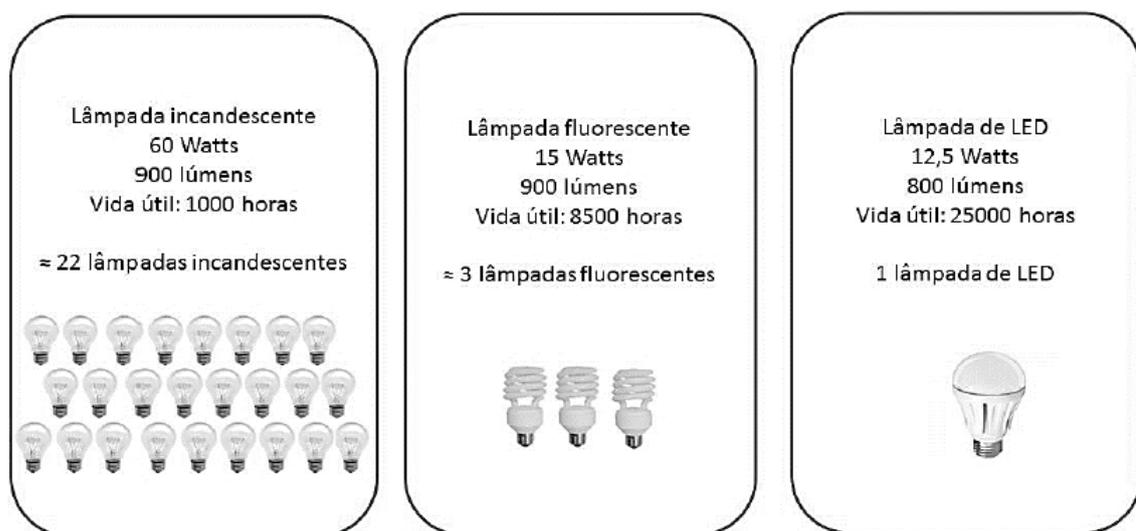
### 7.1 TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO

Os LEDs (*Light Emitting Diodes* – Diodos Emissores de Luz) são semicondutores classificados como de estado sólido de iluminação. Tal condição é estabelecida como aquela em que há emissão de luz a partir de uma matéria sólida, havendo conversão de energia elétrica expressamente em luz, sem a necessidade de usar descargas ou filamentos, como nas lâmpadas fluorescentes e incandescentes (??)(??).

Os LEDs, quando energizados com a polaridade correta, operam em baixa tensão e corrente elétrica, não podendo ser conectados diretamente à rede de energia elétrica. (??).

Uma das grandes vantagens de luminárias LED em relação às convencionais é que, geralmente, ele não queima repentinamente, mas vai reduzindo sua intensidade luminosa ao longo do tempo. Além disso, o LED não emana luz infravermelha e nem raios UV, o que faz com que gerem baixo nível de dissipação térmica. Outrossim, ele também resiste melhor a impactos mecânicos, possuindo vida útil extremamente elevada, dimensão pequena e alta eficiência energética (??), como ilustra a figura 7.1.

FIGURA 7.1 – Lâmpadas necessárias para fornecer o mesmo fluxo-hora

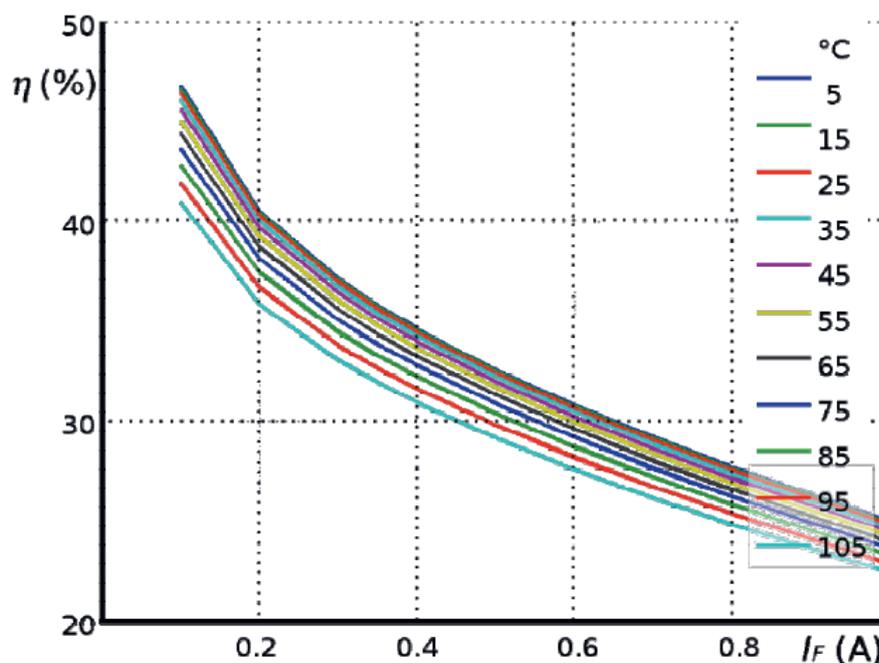


Fonte: BORGES (2017)

Um estudo realizado pelo Departamento de Materiais Eletrônicos Aplicados da Universidade de Tecnologia de Viena (Austria) concluiu que a eficiência de um módulo

de LED de potência é inversamente proporcional à corrente de circulação direta que o percorre e, também, à sua temperatura de junção (??), conforme mostra a figura 7.2.

FIGURA 7.2 – Eficiência de um módulo de LED de potência vs corrente direta e temperatura de junção

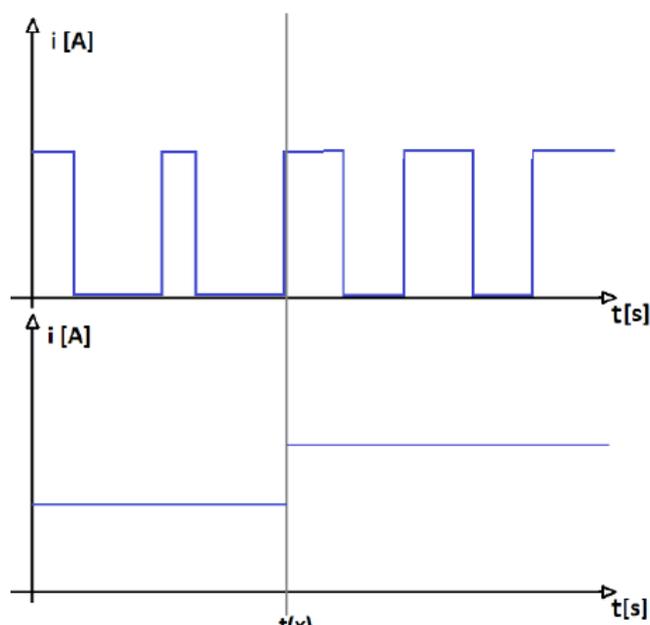


Fonte: FULMEK (2017)

## 7.2 DIMERIZAÇÃO

Dimerização é o processo de controlar o nível da intensidade luminosa de uma determinada fonte luminosa, no caso o LED, através da variação da corrente sobre o mesmo, como mostra a figura 7.3. Todos os LEDs têm a capacidade de serem dimerizáveis, porém isto requer que o *driver* (equipamento de acionamento) também possua capacidade de dimerização. Ressalta-se que, durante a alteração da intensidade luminosa do LED, sua temperatura de cor não sofre alteração (??).

FIGURA 7.3 – Controle de corrente de dimerização



Fonte: SOUZA (2018)

Observa-se que o controle da corrente de saída do driver pode ser feita tanto por PWM quanto por forma linear. Um estudo relevante referente ao controle de corrente para o LED foi feito na monografia apresentada por Vinícius Renan de Souza em 2018, intitulada *Desenvolvimento de driver para LED de potência com dimerização e comunicação remota*. Neste trabalho o autor utilizou a forma de controle de corrente dos LEDs via PWM, onde foi possível fornecer para o LED uma tensão de 32V a uma corrente de 1400 mA.

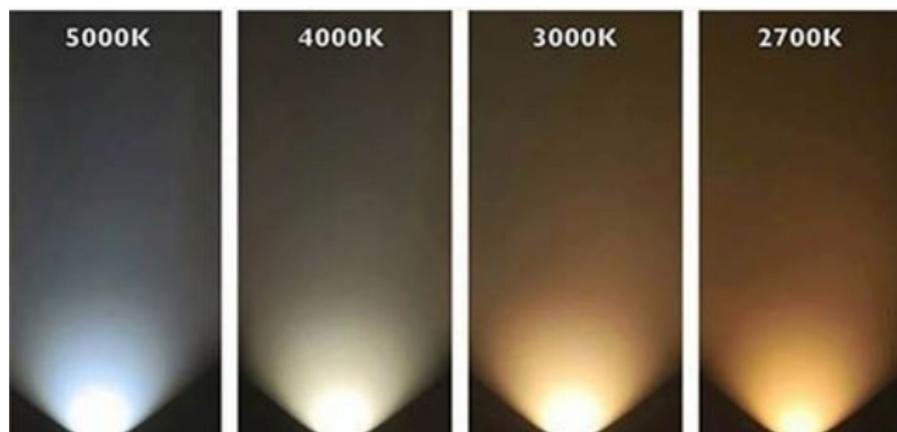
### 7.3 TEMPEARTURA DE COR

Medida em Kelvin (K), a temperatura de cor é um parâmetro que se refere à tonalidade da cor emitida por uma fonte luminosa, e está relacionada a cor que um corpo negro apresenta quando aquecido em diferentes temperaturas. Por exemplo, uma barra em seu estado mais frio, possui uma cor mais escura. Ao ser esquentada por volta de 1000 K, ela passa a emitir uma luz mais avermelhada e, conforme se aumenta a temperatura, essa luz vai se tornando cada vez menos quente visualmente, passando a ser amarela (cerca de 3000K) e chegando em quase branca (cerca de 6000K).

Portanto, quanto maior a temperatura de cor de um LED, mais fria visualmente é a luz por ele emitida. De acordo com o selo PROCEL, fontes luminosas com temperatura de cor acima de 5000K são consideradas de luz fria, entre 3300K e 5000K de luz neutra

e inferior a 3300K de luz quente (??). A figura 7.4 mostra fontes luminosas de quatro temperaturas de cor diferente.

FIGURA 7.4 – Fontes LED de diferentes temperaturas de cor



Fonte: (JMARQUITETURADESIGN, 2017)

## 7.4 CLASSIFICAÇÃO DOS LEDS

Os LEDs podem ser classificados quanto à tecnologia de fabricação e à potência. Quanto à potência, eles são divididos em: LEDs de baixa potência (low power) – potência até 250 mW e fluxo luminoso de 20 a 35 lumens; LEDs de média potência (mid power) – potência entre 250 mW e 1 W e fluxo luminoso de 35 a 150 lumens; LEDs de alta potência (high power) – potência acima de 1 W e fluxo luminoso de 150 a 15000 lumens. (??).

No que tange a tecnologia empregada, os modelos de LED empregados com mais frequência na iluminação podem ser categorizados em:

### 7.4.1 LED COMUM COM ENCAPSULAMENTO *DUAL IN LINE*

São geralmente empregados em sistemas de sinalização, onde os tipos mais recorrentes são os LEDs de 3, 5 e 10 mm, que podem ser difuso comum ou de alto brilho, bicolores, RGB ou tricolores. Eles possuem baixo nível de corrente e potência com encapsulamento em resina epóxi transparente, havendo a presença de uma lente concentrada em sua ponta. Pelo fato de a resina sofrer deterioração, a vida útil deste tipo de LED não passa de dez mil horas. Seus empregos se dão majoritariamente em painéis de cenários, transmissores de controle remoto, telões e sistemas de iluminação

que exijam baixa intensidade luminosa. A figura 7.5 apresenta alguns modelos de LEDs descritos acima.

FIGURA 7.5 – Modelos de LED com encapsulamento *dual in line*



LEDs de 3, 5 e 10 mm



Fitas de LEDs



LED superflux



LED bicolor



LED tricolor

Fonte: SOUZA (2017)

#### 7.4.2 LEDs DE POTÊNCIA

São LEDs que operam com altos valores de corrente e potência (variando entre 1W e 5W), com chip semicondutor embutido numa substância feita de silicone e com baixo índice de deterioração, o que concede um baixo nível de depreciação do fluxo luminoso. São enclausurados num revestimento especial de base metálica, de modo a proporcionar alta taxa de transferência do calor dissipado pelo LED para o ambiente através do dissipador.

A figura 7.6 apresenta alguns modelos de LEDs descritos acima.

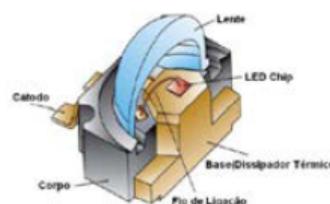
FIGURA 7.6 – Modelos de LED de Potência



LED de potência de 1 W



LED de potência de 5 W



Estrutura do LED de potência

Fonte: SOUZA (2017)

### 7.4.3 LEDS SMD (*SURFACE MOUNT DIODE*)

São componentes compostos por um, dois ou até três LEDs dispostos sobre uma mesma PCB (*Printed Circuit Board*). Isso por si só já lhe concede uma grande vantagem em relação aos demais modelos: o espaço ocupado num circuito é bem reduzido. Além disso, eles têm maior eficiência luminosa: apresentam maior brilho com menor consumo de energia que um LED tradicional, sem falar da baixa geração de calor pelo fato de operar com baixas tensão e corrente.

A figura 7.7 apresenta alguns modelos de LEDS descritos acima.

FIGURA 7.7 – Modelos de LED SMD



Fonte: SOUZA (2017)

### 7.4.4 LEDS COB (*CHIP ON BOARD*)

É uma das tecnologias que têm se demonstrado ser a evolução do LED por um fator principal: o espaço ocupado. Diversos LEDs são enclausurados em um único módulo, ficando com a aparência de um diminuto painel. Além disso, tal configuração dos LEDs proporciona uma iluminação mais uniforme e com maior ângulo de abertura, o que, por sua vez, reduz o ofuscamento final. A principal diferença entre o LED SMD e o LED COB consiste no fato de o segundo ter somente um circuito e dois contatos, independente do número de LEDs. A figura 7.8 apresenta alguns modelos de LEDS descritos acima.

FIGURA 7.8 – Modelos de LED COB



Fonte: SOUZA (2017)

Uma outra característica extremamente vantajosa é sua eficiência. Pelo fato

de o chip ser firmado em uma base metálica, a energia gerada na forma de calor é ligeiramente dissipada, o que aumenta sua eficiência e, por conseguinte, sua vida útil.

Foi principalmente por isso que o LED COB tem aberto caminho, em larga escala, para sistemas de iluminação de uso interno, sendo considerado uma tendência no mercado de LED.

## 7.5 DISPOSITIVO DE CONTROLE E ALIMENTAÇÃO (DRIVER)

Como mencionando anteriormente, um LED, sendo de alta potência ou não, opera com baixos valores de tensão entre seus terminais e, a corrente elétrica que os circula, deve ser controlada de maneira a respeitar os limites estabelecidos pelo fabricante e manter constante o seu fluxo luminoso, visto que este é diretamente proporcional à corrente. Tal controle é feito por dispositivos eletrônicos conhecidos como *drivers*. Além disso, eles também segregam os pontos de iluminação, como por exemplo as luminárias, da rede elétrica, mitigando choques elétricos e flutuações de energia, que prejudicam a estrutura e o funcionamento do LED.

Os *drivers* podem ser do tipo corrente constante ou tensão constante, a depender da aplicação do LED.

Nos *drivers* com saída de tensão constante, os LEDs são conectados em paralelo, e seu grande benefício é poder ligar diversos LEDs até que a potência máxima do driver seja alcançada. A inconveniência é ter que se usar resistores para limitar a corrente em série com os LEDs, com a função de protegê-los de uma oscilação da fonte de tensão. Isso, por sua vez, causa uma diminuição na sua eficiência devido às perdas nos resistores. Quando tais resistores falharem, a corrente que circula o LED crescerá, ocasionando um acréscimo na intensidade luminosa e diminuição da sua vida útil. Tal tecnologia é geralmente empregada em sistemas de sinalização.

Por outro lado, os *drivers* com saída de corrente constante são os de maior eficiência, principalmente por não ser necessário utilizar resistores limitadores de corrente. Além disso, eles são ligados diretamente em um arranjo em série de LEDs, o que proporciona maior flexibilidade e confiabilidade em projetos dos sistemas de iluminação. Outra vantagem desse tipo de tecnologia é o fato de ela ser capaz de potencializar a intensidade do fluxo luminoso emitido sem causar sobre-carga nos LEDs. Isso faz com que os fabricantes optem por utilizá-la na maioria dos projetos. No

entatno, desvantagem é o fato de que, caso um LED apresente queima, toda a *string* saíra de operação.

## 7.6 COMPORTAMENTO DOS COMPONENTES PASSIVOS DE UM CIRCUITO

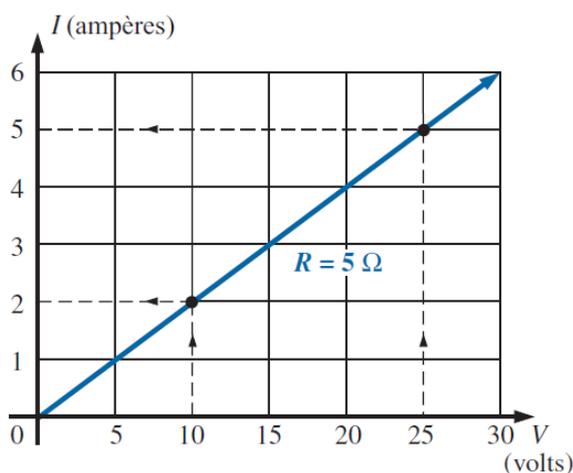
O projeto em questão utilizará vários componentes elétricos passivos na sua execução. Sendo assim, se faz necessário uma breve revisão sobre o comportamento de cada um deles quando em tensão contínua ou alternada. Os principais são: resistor, capacitor e indutor.

### 7.6.1 RESISTOR

O resistor é um elemento passivo cuja função principal é se opor ao fluxo de corrente, sendo sua grandeza denominada resistênciã e medida em ohms ( $\Omega$ ). Um resistor ôhmico tem um comportamento linear entre tensão e corrente entre seus polos, o qual é descrito pela equação 7.1 e representado pelo figura 7.9.

$$I = \frac{V}{R} \quad (7.1)$$

FIGURA 7.9 – Curva característica de um resistor



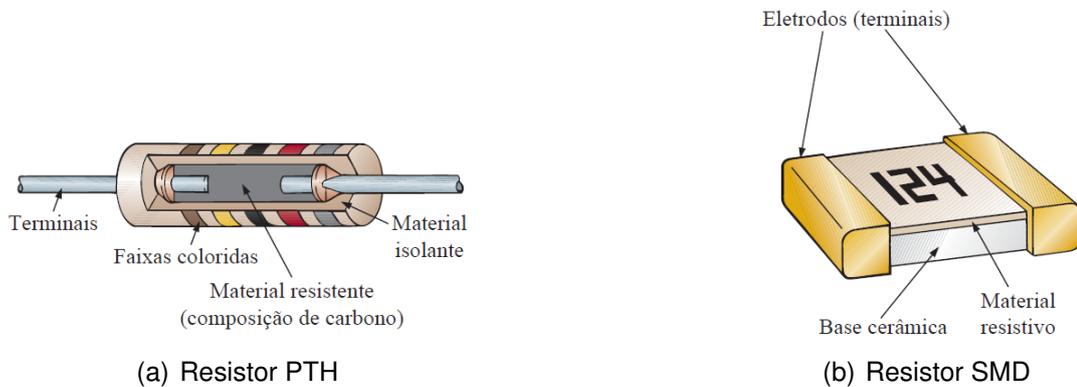
Fonte: BOYLESTAD (2012)

#### 7.6.1.1 Tipos de resistores

Existem diversos tipos de resistores, porém todos eles podem ser divididos em dois grupos: fixos e variáveis. Para o presente projeto, serão utilizados apenas resistores fixos, sendo somente estes detalhados na sequência.

Dentre este grupo, há os resistores PTH (*pin through hole*), ilustrado na figura 7.10(a), e os resistores SMD (*surface mounting device*), mostrado na figura 7.10(b).

FIGURA 7.10 – Tipos de resistores



Fonte: BOYLESTAD (2012)

Para ambos os casos, os tamanhos dos resistores variam de acordo com a potência que os mesmos precisam suportar. Por exemplo, para uma aplicação que exija uma potência maior, é necessário um resistor mais robusto e vice-versa.

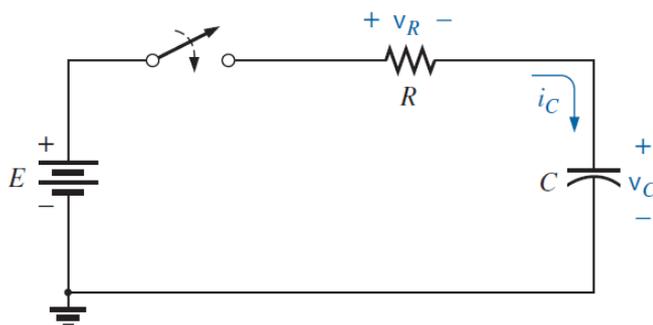
## 7.6.2 CAPACITOR

Um capacitor é um elemento passivo que tem por função principal armazenar energia através de seu campo elétrico, sendo sua grandeza denominada capacitância e medida em Farad (F).

Capacitância é uma medida da quantidade de carga que o capacitor pode armazenar em suas placas; em outras palavras, é sua capacidade de armazenamento. Além disso, quanto mais alta a capacitância de um capacitor, maior a quantidade de carga armazenada nas placas para a mesma tensão aplicada. (??).

Para descrever o funcionamento de um capacitor, deve-se observar a figura 7.11.

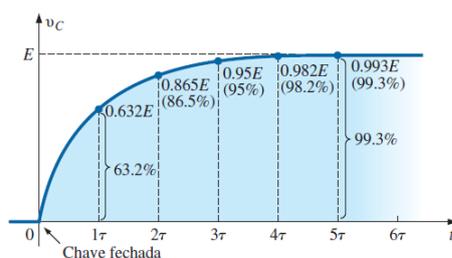
FIGURA 7.11 – Circuito simples para carregar um capacitor



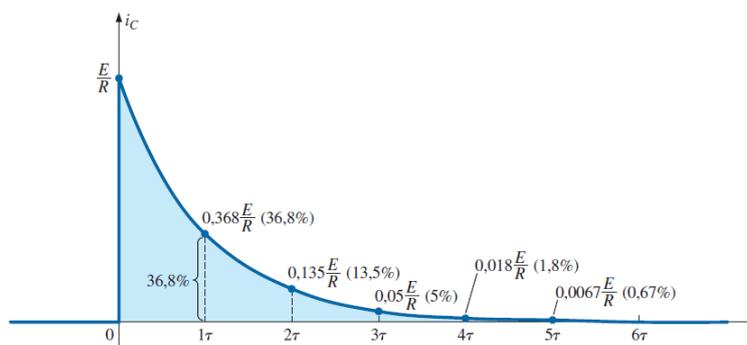
Fonte: BOYLESTAD (2012)

No instante em que a chave é fechada, o capacitor começa a se carregar, onde a tensão entre seus terminais não varia de forma linear como no resistor, mas sim exponencialmente, até chegar num ponto em que a tensão entre seus terminais se iguala a da fonte, como mostrado na figura 7.12(a). A partir deste ponto, não há mais circulação de corrente pelo elemento, o qual passa a se comportar como um circuito aberto até que haja uma variação de tensão oriunda de sua fonte de alimentação. Ao mesmo tempo, a corrente que o circula tem comportamento inverso ao da tensão, como ilustra a figura 7.12(b).

FIGURA 7.12 – Comportamento de tensão e corrente de um capacitor



(a) Tensão vs Tempo



(b) Corrente vs Tempo

Fonte: BOYLESTAD (2012)

O tempo que o capacitor levará para se carregar será diretamente proporcional à constante de tempo do circuito, grandeza que depende de sua capacitância e do valor do resistor do circuito e é calculada pela equação 7.2. Após cinco constantes de tempo da fase de carga terem passado, a tensão através do capacitor em circuito CC é essencialmente igual à tensão da fonte e a corrente que o circula é essencialmente zero. (??).

$$\tau = RC \quad (7.2)$$

As relações que regem o comportamento da tensão pela corrente ou vice-versa em um capacitor são dadas pela equação 7.3 (tensão em função da corrente) e pela equação 7.4 (corrente em função da tensão).

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (7.3)$$

$$i(t) = C \frac{dV}{dt} \quad (7.4)$$

#### 7.6.2.1 Tipos de capacitores

Para o presente projeto, serão utilizados capacitores cerâmicos, eletrolíticos, de poliéster e SMD, sendo os únicos a serem abordados na sequência.

- CAPACITORES ELETROLÍTICOS

Os capacitores eletrolíticos, em geral, oferecem alguns dos valores de capacitância mais altos disponíveis. Sua construção se dá basicamente por enrolamento de placas de alumínio com inserção de dielétrico entre si, tendo um formato cilíndrico, como ilustra a figura 7.13. Seu tamanho varia de acordo com sua capacitância, sendo diretamente proporcional a mesma.

FIGURA 7.13 – Capacitor eletrolítico

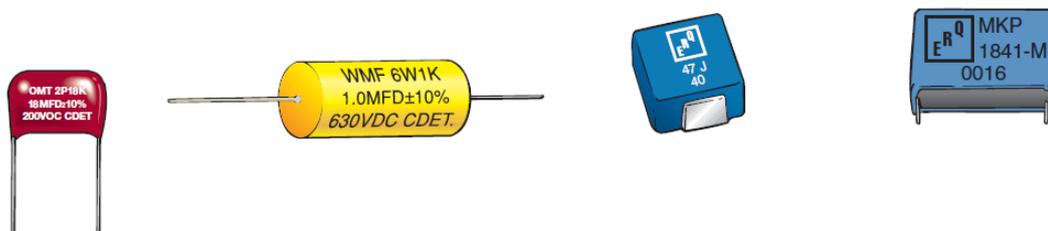


Fonte: BOYLESTAD (2012)

- CAPACITORES DE POLIÉSTER

Os capacitores de poliéster usam um processo de enrolamento ou empilhamento para aumentar a área da superfície. O formato resultante pode ser arredondado ou retangular, com terminais radiais ou axiais, como mostra a figura 7.14. A faixa típica para tais capacitores é de 100 pF a 10  $\mu$ F, onde tensões de trabalho podem variar de alguns poucos volts a 2.000 V. (??).

FIGURA 7.14 – Exemplos de capacitores de poliéster

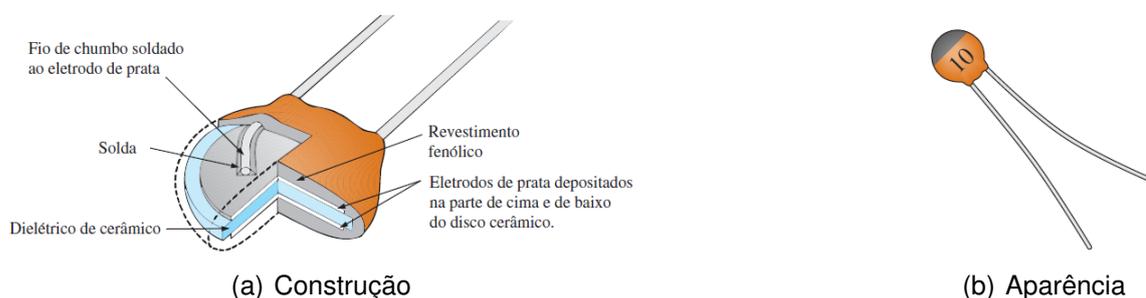


Fonte: BOYLESTAD (2012)

- CAPACITORES CERÂMICOS

Esses tipos de capacitores utilizam um dielétrico de cerâmica, o que lhes garante um excelente valor de permissividade elétrica relativa e altas tensões de trabalho. Seus valores vão de 10 pF a 0,047  $\mu$ F, com altas tensões de trabalho que podem chegar a 10 kV. (??). A figura 7.15(a) ilustra como é a construção física de um capacitor cerâmico e a figura 7.15(b) sua aparência.

FIGURA 7.15 – Capacitores cerâmicos



Fonte: BOYLESTAD (2012)

### • CAPACITORES SMD

Um tipo bastante comum em circuitos eletrônicos, os capacitores SMD (*Surface Mount Device*) são amplamente utilizados devido seu tamanho muito compacto. Seu material dielétrico pode ser de cerâmica, tântalo entre outros. Sua conexão com a placa não se dá por terminais cilíndricos pontiagudos como os demais, mas sim por PADS no formato retangular. A figura 7.16(a) ilustra como é a construção física de um capacitor SMD e a figura 7.16(b) sua aparência.

FIGURA 7.16 – Capacitores SMD



Fonte: O autor (2019)

### 7.6.3 INDUTOR

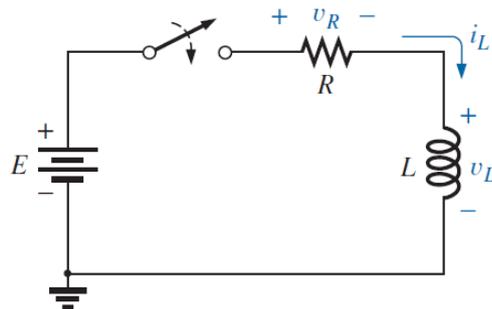
Indutores são componentes constituídos de bobinas de espiras (geralmente com um núcleo) que, mediante circulação de corrente elétrica pelas mesmas, geram campo magnético ao seu redor. Sua grandeza é denominada indutância e é medida em Henry [H]. Quanto maior for a indutância, mais forte será o campo magnético do indutor. A equação 7.5 revela que a indutância é diretamente proporcional ao número de espiras, à área e à permeabilidade magnética do meio. Isso indica que, para se obter

uma maior indutância, deve-se utilizar um núcleo de material com alta permeabilidade magnética.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad (7.5)$$

Para descrever o funcionamento de um indutor, deve-se observar a figura 7.17

FIGURA 7.17 – Circuito transitório R-L básico



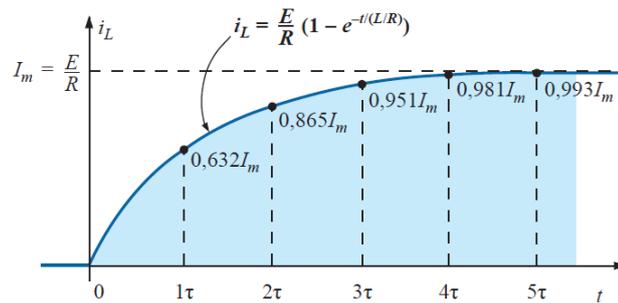
Fonte: BOYLESTAD (2012)

Inicialmente, com a chave aberta, a corrente no indutor é nula. No instante em que se fecha a chave, a bobina do indutor começa a se carregar, onde a corrente que a circula varia de forma exponencial até chegar num ponto estacionário definido pela relação entre o valor da fonte de tensão e a resistência do circuito, como mostra a figura 7.18(a). A partir deste ponto, não há mais queda de tensão no indutor, o qual passa a se comportar como um curto-circuito. Ao mesmo tempo, a tensão sobre ele tem o comportamento inverso ao da corrente, como ilustra a figura 7.18(b).

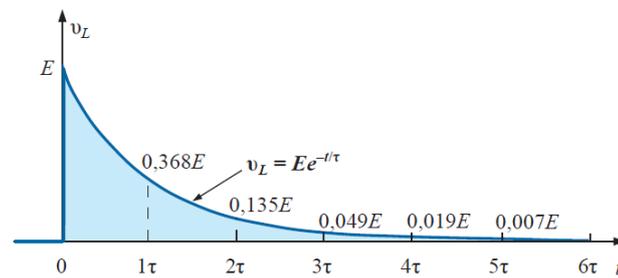
O tempo que o indutor levará para se carregar será diretamente proporcional à constante de tempo do circuito, grandeza que depende de sua indutância e do valor do resistor do circuito e é calculada pela equação 7.6. Após cinco constantes de tempo da fase de carga terem passado, a corrente através do indutor em circuito CC já atingiu essencialmente seu valor estacionário e a tensão sobre ele é essencialmente zero. (??).

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (7.6)$$

FIGURA 7.18 – Comportamento de tensão e corrente de um indutor



(a) Corrente vs Tempo



(b) Tensão vs Tempo

Fonte: BOYLESTAD (2012)

As relações que regem o comportamento da tensão pela corrente ou vice-versa em um indutor são dadas pela equação 7.7 (tensão em função da corrente) e pela equação 7.8 (corrente em função da tensão).

$$v(t) = L \frac{di}{dt} \quad (7.7)$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt \quad (7.8)$$

### 7.6.3.1 Tipos de indutores

O tipo do indutor varia de acordo com sua aplicação e com as características e parâmetros desejados. Os aspectos construtivos que mudam de um modelo para o outro são basicamente a forma de enrolamento das espiras e o material utilizado para compor o núcleo.

- INDUTORES COM NÚCLEO DE AR

Como o próprio nome já diz, esse tipo de indutor não utiliza nem um material no seu núcleo, como mostrado na figura 7.19. Isso resulta em baixas perdas e, consequentemente, em maior eficiência. Porém, isso faz com que os valores de indutância sejam baixos, o que é desejável em circuitos de alta frequência.

FIGURA 7.19 – Indutor com núcleo de ar

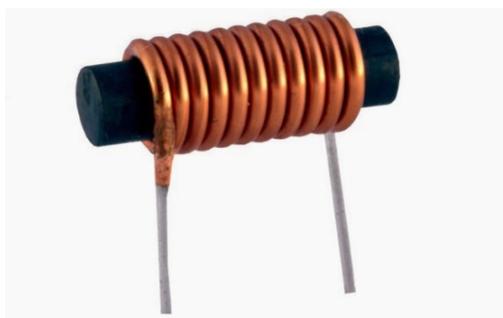


Fonte: (Render Blog, 2013)

- INDUTORES COM NÚCLEO FERROMAGNÉTICO

Este modelo de indutor utiliza um material ferromagnético para compor seu núcleo, como mostra a figura 7.20, o que, devido a sua alta permeabilidade magnética, garante um valor maior de indutância. Por outro lado, ele ocasiona mais perdas do que quando com núcleo de ar.

FIGURA 7.20 – Indutor com núcleo ferromagnético



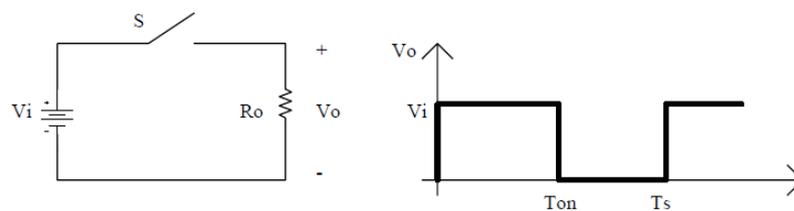
Fonte: (Iresumo, 2016)

## 7.7 TOPOLOGIAS DE CONVERSORES CC-CC

Conversores CC-CC são circuitos eletrônicos que têm por função principal converter tensões CC a diferentes níveis, também CC. Eles são formados por semicondutores de potência operando como interruptores e por elementos passivos, normalmente indutores e capacitores que têm por função controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída. (??).

A figura 7.21 ilustra um circuito básico de um conversor CC-CC, bem como a forma de onda do sinal de saída.

FIGURA 7.21 – Conversor CC-CC e sinal de saída



Fonte: PETRY;BARBI (2001)

O intervalo de chaveamento  $T_s$ , também conhecido como período, é dado pelo inverso da frequência de comutação  $F_s$  (equação 7.9).

$$T_s = \frac{1}{F_s} \quad (7.9)$$

Vale ressaltar que a frequência de operação  $F_s$  deve ser a mais alta possível de modo a reduzir o volume físico dos componentes magnéticos e capacitivos do conversor.

O quociente entre o intervalo de condução  $T_{on}$  e o intervalo de chaveamento  $T_s$  da chave S é chamado de *duty-cycle* e é calculado pela equação 7.10.

$$D = \frac{T_{on}}{T_s} \quad (7.10)$$

A tensão média na saída do conversor é dada pela equação 7.11.

$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_{on}} V_i dt = V_i \frac{T_{on}}{T_s} \quad (7.11)$$

Substituindo a equação 7.10 na 7.11, chega-se a conclusão de que a tensão de saída do conversor depende somente do *duty-cycle* do circuito, que também é definido como ganho estático, calculado pela equação 7.12.

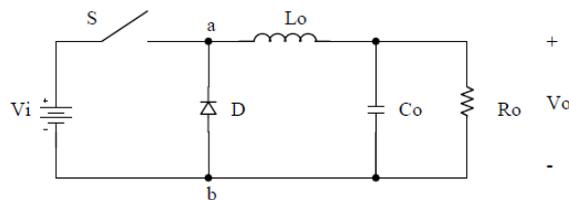
$$D = \frac{V_i}{V_o} \quad (7.12)$$

Vale ressaltar que, na prática, o acionamento da chave S, geralmente um semicondutor, é feito através de um comando por sinal PWM.

### 7.7.1 CONVERSOR BUCK

O conversor Buck funciona como um abaixador de tensão, e sua topologia é mostrada na figura 7.22.

FIGURA 7.22 – Conversor Buck



Fonte: PETRY;BARBI (2001)

Sua operação se divide em duas etapas: a primeira do instante de tempo 0 até  $DT_s$  e a segunda do instante  $DT_s$  até  $1-DT_s$  (vide equação 7.10).

Na primeira etapa, a chave S conduz e a corrente circula pelo indutor e pela saída. Ou seja,  $V_i$  provê energia para a saída, para a magnetização do indutor  $L_o$  e para carga do capacitor  $C_o$ .

Na segunda etapa, a chave S corta e, nesse instante, o indutor inverte sua polaridade por não suportar variações abruptas de corrente, fazendo com que o diodo D entre em condução. A energia do indutor é dissipada pelo diodo D e o capacitor  $C_o$  é descarregado sobre a carga. Desse modo, sempre há tensão disponível para a carga. Porém, é necessário que o valor de  $C_o$  seja grande o suficiente de modo a evitar grandes oscilações de tensão na carga.

A tensão de saída do conversor Buck é diretamente proporcional ao *duty-cycle* D, sendo calculada pela equação 7.13. Como D varia entre 0 e 1, a tensão de saída sempre será menor que a de entrada.

$$V_o = V_i D \quad (7.13)$$

O cálculo dos valores de  $L_o$  e  $C_o$  depende das tensões de entrada e de saída  $V_i$  e  $V_o$ , do *duty-cycle* D, da frequência de chaveamento  $F_s$  e das amplitudes das variações de corrente que circulará pelo indutor e de tensão sobre o capacitor. Seus cálculos são dados pelas equações 7.14 e 7.15, respectivamente.

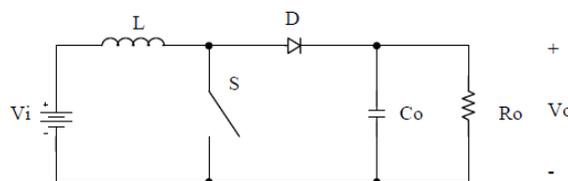
$$L_o = \frac{(V_i - V_o)D}{\Delta I F_s} \quad (7.14)$$

$$C_o = \frac{(V_i - V_o)D}{8L\Delta V_c F_s^2} \quad (7.15)$$

### 7.7.2 CONVERSOR BOOST

O conversor Boost funciona como um elevador de tensão, e sua topologia é mostrada na figura 7.23.

FIGURA 7.23 – Conversor Boost



Fonte: PETRY;BARBI (2001)

Sua operação se divide em duas etapas: a primeira do instante de tempo 0 até  $DT_s$  e a segunda do instante  $DT_s$  até  $1-DT_s$  (vide equação 7.10).

Na primeira etapa, a chave S conduz e a fonte de alimentação  $V_i$  provê energia ao indutor L.

Na segunda etapa, a chave S corta, o indutor L inverte sua polaridade por não suportar variações abruptas de corrente e o diodo D passa a conduzir, alimentando a carga e carregando o capacitor  $C_o$ . Ou seja, a tensão na carga será oriunda da fonte  $V_i$  e da energia armazenada no indutor L, o que faz com que  $V_i$  seja maior que  $V_o$ .

Quando a chave S fechar novamente, o diodo entrará em corte e a carga passará a ser alimentada pelo capacitor  $C_o$ , carregado no ciclo anterior. Novamente, é necessário que o valor de  $C_o$  seja grande o suficiente de modo a evitar grandes oscilações de tensão na carga.

A tensão de saída do conversor Buck é inversamente proporcional ao *duty-cycle* D, sendo calculada pela equação 7.16. Como D varia entre 0 e 1, a tensão de saída sempre será maior que a de entrada.

$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \quad (7.16)$$

O cálculo dos valores de L e  $C_o$  depende da tensão de entrada  $V_i$  e da corrente de saída  $I_o$ , do *duty-cycle* D, da frequência de chaveamento  $F_s$  e das amplitudes das variações de corrente que circulará pelo indutor e de tensão sobre o capacitor. Seus cálculos são dados pelas equações 7.17 e 7.18, respectivamente.

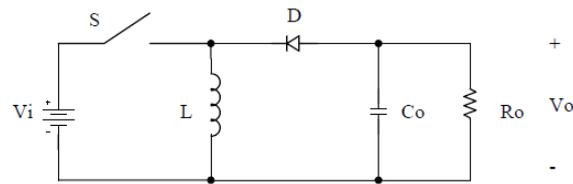
$$L = \frac{V_i D}{\Delta I F_s} \quad (7.17)$$

$$C_o = \frac{I_o D}{\Delta V_c F_s} \quad (7.18)$$

### 7.7.3 CONVERSOR BUCK-BOOST

O conversor Buck-Boost opera como abaixador ou elevador de tensão, dependendo do valor do *duty-cycle*, e sua topologia é mostrada na figura 7.24.

FIGURA 7.24 – Conversor Buck-Boost



Fonte: PETRY;BARBI (2001)

Sua operação se divide em duas etapas: a primeira do instante de tempo 0 até  $DT_s$  e a segunda do instante  $DT_s$  até  $1-DT_s$  (vide equação 7.10).

Na primeira etapa, a chave S conduz e a fonte de alimentação  $V_i$  provê energia ao indutor L.

Na segunda, a chave S se abre e a energia do indutor é transferida através do diodo D para a saída, alimentando a carga e carregando o capacitor.

Quando a chave S fechar novamente, o diodo entrará em corte e a carga passará a ser alimentada pelo capacitor  $C_o$ , carregado no ciclo anterior. Novamente, é necessário que o valor de  $C_o$  seja grande o suficiente de modo a evitar grandes oscilações de tensão na carga.

A tensão de saída do conversor Buck-Boost é direta e inversamente proporcional ao *duty-cycle* D ao mesmo tempo, sendo calculada pela equação 7.19. Como D varia entre 0 e 1, a tensão de saída será menor que a tensão de entrada quando  $D < 0,5$  (situação onde o conversor se comporta com um Buck) e maior que a tensão de entrada quando  $D > 0,5$  (situação onde o conversor se comporta como um Boost).

$$V_o = \frac{V_i D}{1 - D} \quad (7.19)$$

O cálculo dos valores de L e  $C_o$  depende da tensão de entrada  $V_i$  e da corrente de saída  $I_o$ , do *duty-cycle* D, da frequência de chaveamento  $F_s$  e das amplitudes das variações de corrente que circulará pelo indutor e de tensão sobre o capacitor. Seus cálculos são dados pelas equações 7.20 e 7.21, respectivamente.

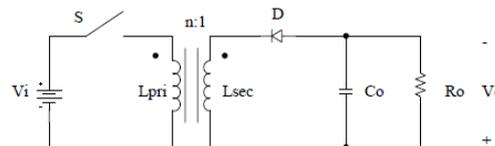
$$L = \frac{-V_i D}{\Delta I F_s} \quad (7.20)$$

$$C_o = \frac{I_o D}{\Delta V_c F_s} \quad (7.21)$$

#### 7.7.4 CONVERSOR FLYBACK

O conversor Flyback tem exatamente o mesmo funcionamento do conversor Buck-Boost, porém utiliza isolamento galvânica entre a entrada e saída através de um indutor isolado. Sua topologia é mostrada na figura 7.25.

FIGURA 7.25 – Conversor Flyback



Fonte: PETRY;BARBI (2001)

Os valores da tensão de saída, bem como de seus componentes capacitivos e magnéticos, são regidos pelas mesmas equações do conversor Buck-Boost.

### 7.8 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO DE CIRCUITO

Todo dispositivo eletrônico com fonte chaveada é conectado à rede elétrica, o que por si só já os torna vulneráveis a qualquer instabilidade ou sobre-tensão oriunda da mesma. Para tanto, se faz extremamente necessário inserir elementos que protejam o dispositivo e a carga de eventuais problemas na rede elétrica. Os dispositivos a serem utilizados no projeto em questão são três: fusível, varistor e diodo TVS, os quais serão detalhados na sequência.

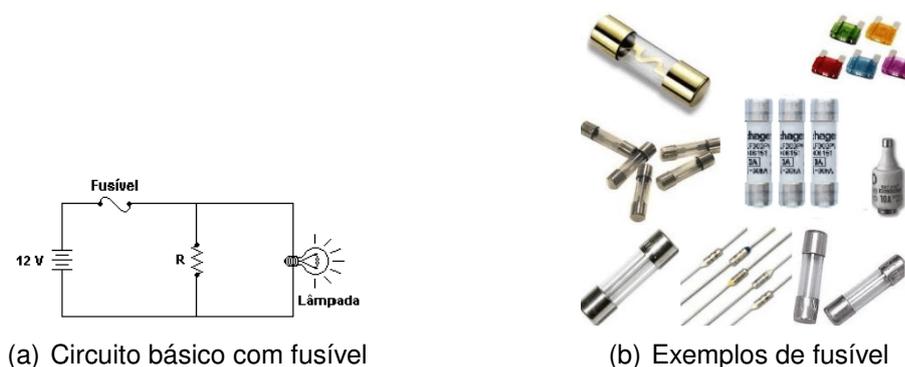
#### 7.8.1 FUSÍVEL

Fusíveis são elementos feitos de um condutor de área bem reduzida sobre uma base de material isolante. Seu funcionamento é bem simples: o elo condutor é dimensionado para suportar a circulação de uma determinada corrente limite. Quando a corrente ultrapassa esse limiar, o elo fusível se rompe, cessando o fluxo da corrente

para o restante do circuito, o que o torna um elemento de proteção contra sobrecorrente.

A imagem 7.26(a) ilustra um circuito básico para a explicação do funcionamento de um fusível e a imagem 7.26(b) mostra alguns exemplos disponíveis no mercado.

FIGURA 7.26 – FUSÍVEL: Circuito e exemplos



(a) Circuito básico com fusível

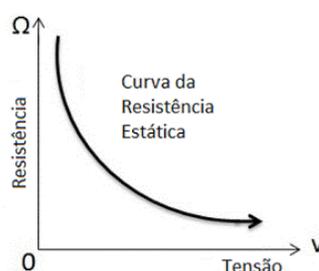
(b) Exemplos de fusível

Fonte: (Maosaoalto, 2017)

## 7.8.2 VARISTOR

Varistores são semicondutores não lineares de dois elementos que diminuem a resistência com o aumento da tensão. Porém, tal relação não é linear: é preciso que a tensão atinja um valor mínimo (geralmente bem elevado) para que sua resistência reduza, o que acontece de forma abrupta. Sua curva característica de funcionamento é mostrada na figura 7.27.

FIGURA 7.27 – Curva de um varistor

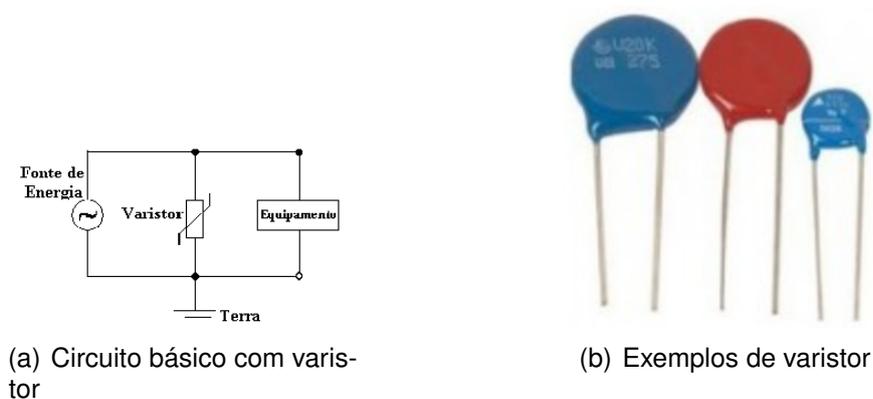


Fonte: O autor (2019)

Sua característica de funcionamento faz com que o varistor seja empregado como um elemento de proteção de circuito contra sobretensão. Por isso, é sempre colocado em paralelo com a tensão de referência, na maioria das vezes a própria rede

elétrica. A figura 7.28(a) ilustra um circuito básico para explicar o funcionamento de um varistor e a figura 7.28(b) mostra alguns exemplos disponíveis no mercado.

FIGURA 7.28 – VARISTORES: Circuito e exemplos



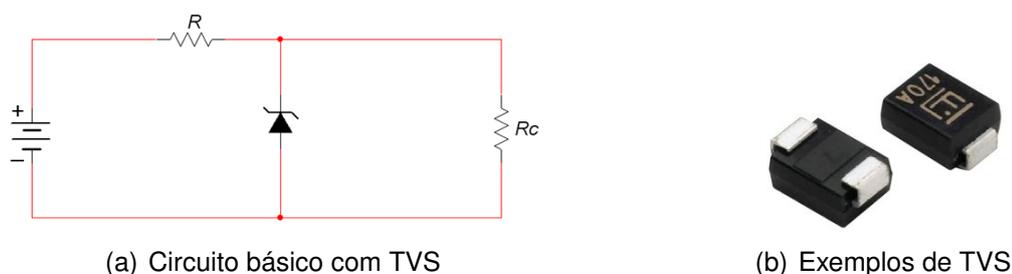
Fonte: (g7eletronica, acesso em: 2019)

### 7.8.3 TVS

O TVS (*Transient Voltage Suppressor*) é um diodo do tipo zener que suporta energias muito mais elevadas (do nível de uma rede elétrica, por exemplo) e que possuem uma velocidade de resposta muito maior. Ele é aplicado quando se deseja proteger um circuito elétrico contra transientes rápidos oriundos da rede elétrica que um fusível ou um varistor não protegeriam. Geralmente se posiciona um TVS em paralelo com a saída da ponte retificadora, para proteger o restante do circuito.

A figura 7.29(a) ilustra um circuito básico para explicar o funcionamento de um TVS e a figura 7.29(b) mostra alguns exemplos disponíveis no mercado.

FIGURA 7.29 – TVS: Circuito e exemplos



Fonte: (mixtronica, acesso em: 2019)

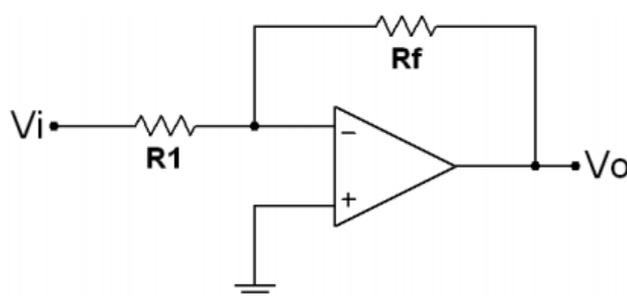
## 7.9 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

Também conhecidos como Amp-Ops, eles possuem características próximas de um amplificador ideal, que são: impedância de entrada infinita e impedância de saída nula. Dependendo de como a realimentação entre os terminais de um amp-op é feita, ele pode de diferentes maneiras, com diferentes funções de transferências e para diversas aplicações. A seguir será detalhado o funcionamento de alguns amp-ops, apenas os que serão necessários no projeto.

### 7.9.1 AMPLIFICADOR INVERSOR

Como o próprio nome já diz, essa configuração faz com que a tensão de saída tenha polaridade invertida em relação à entrada. A figura 7.30 ilustra a configuração de um amp-op inversor e a equação 7.22 calcula a função de transferência do mesmo.

FIGURA 7.30 – Amp-Op Inversor



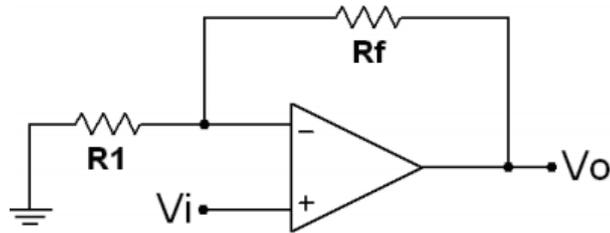
Fonte: WENDLING (2010)

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1 \quad (7.22)$$

### 7.9.2 AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR

Como o próprio nome já diz, essa configuração amplifica o sinal de entrada sem que haja inversão de polaridade para a saída. A figura 7.31 ilustra a configuração de um amp-op não inversor e a equação 7.23 calcula a função de transferência do mesmo.

FIGURA 7.31 – Amp-Op Não Inversor



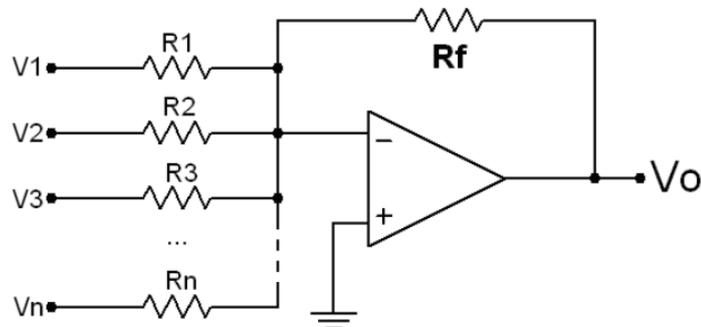
Fonte: WENDLING (2010)

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_1 \quad (7.23)$$

### 7.9.3 AMPLIFICADOR SOMADOR

Essa configuração possibilita que vários sinais aplicados na entrada de um amplificador sejam somados na saída do mesmo. A figura 7.32 ilustra a configuração de um amp-op somador e a equação 7.24 calcula a função de transferência do mesmo.

FIGURA 7.32 – Amp-Op Somador



Fonte: WENDLING (2010)

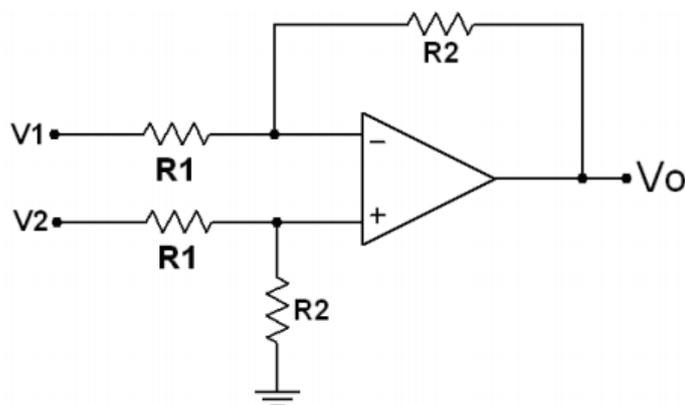
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3 + \dots + \frac{R_f}{R_n}V_n\right) \quad (7.24)$$

### 7.9.4 AMPLIFICADOR SUBTRATOR

Essa configuração possibilita que, ao se aplicar dois sinais na entrada de um amp-op, a saída do mesmo é proporcional à diferença dos mesmos. A figura 7.33

ilustra a configuração de um amp-op somador e a equação 7.25 calcula a função de transferência do mesmo.

FIGURA 7.33 – Amp-Op Subtrator



Fonte: WENDLING (2010)

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \quad (7.25)$$

## 8 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A sequência de etapas que será seguida para se atingir os objetivos do projeto é a seguinte:

- Levantamento e pesquisa dos trabalhos relacionados ao tema do projeto;
- Revisão bibliográfica sobre eletrônica de potência, especialmente conversores CC-CC;
- Especificação dos parâmetros da carga de LED e do circuito de acionamento (DRIVER);
- Projeto do circuito via software;
- Aquisição dos componentes necessários;
- Montagem do protótipo;
- Testes em laboratório;
- Elaboração do relatório.

O projeto terá início com o estudo e revisão sobre eletrônica de potência, em especial sobre conversores CC-CC e suas diversas topologias. Na sequência, será levantado dados sobre o funcionamento da LED para iluminação, bem como as tecnologias existentes no mercado. Posteriormente, será estudado o funcionamento e quais as formas de controle de dimerização e de temperatura de cor que existem.

Feita toda esta revisão bibliográfica, a próxima etapa tratará da especificação dos parâmetros do circuito e da carga. Neste ponto, serão definidos: fluxo luminoso e potência da placa de LEDs, tensão e corrente de saída do driver de acionamento, especificações dos controladores de luminosidade (DIMMER) e de temperatura de cor e escolha do software para o projeto de circuitos.

Sequencialmente, irá se projetar todo o circuito eletrônico do driver através do software escolhido, determinando topologias e valores dos componentes. Feito isso, será feita a aquisição de todos os componentes eletrônicos e peças para a confecção do protótipo.

Com todas as peças em mãos, a próxima parte é montar a luminária e, utilizando os laboratórios do departamento de Engenharia Elétrica da UFPR e de Pesquisa

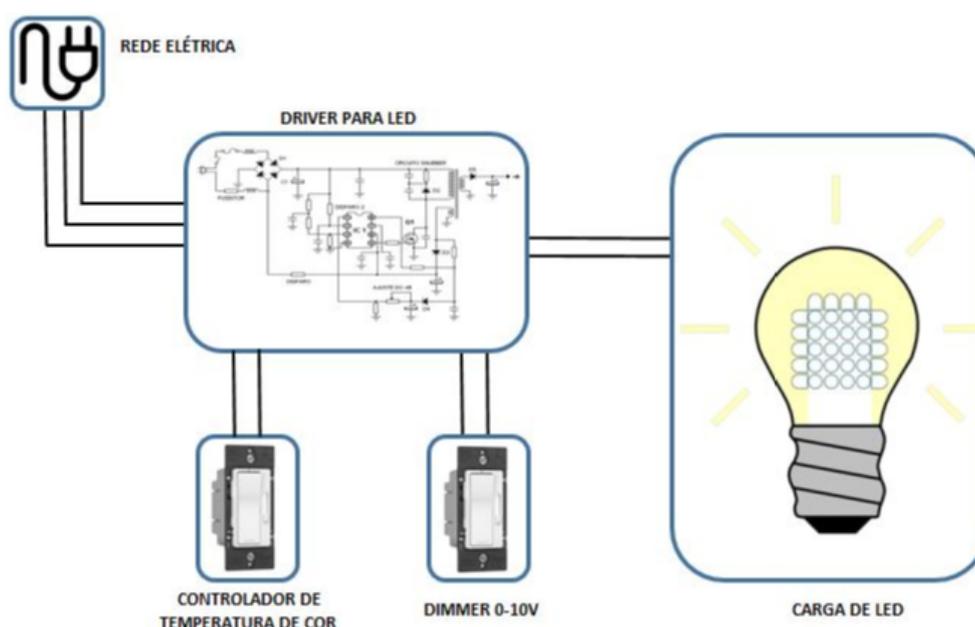
e Desenvolvimento da Lumicenter, serão feitos diversos testes, tais como: comportamento da tensão e corrente de saída do driver via osciloscópio, atuação do sistema de proteção do driver, funcionamento do sistema de dimerização e de temperatura de cor, levantamento das características térmicas da luminária e, também, ensaios fotométricos no laboratório Goniofotômetro da Lumicenter.

Por fim, de posse dos resultados obtidos, irá se elaborar e concluir o relatório do trabalho, registrando todos os dados calculados e obtidos durante todas as etapas do processo.

## 8.1 FUNCIONAMENTO

Conforme mostra a figura 8.1, o funcionamento do projeto final consistirá em, ao se energizar o driver na rede elétrica, este fornecer uma tensão e corrente de saída para acender os módulos de LED da luminária. O driver terá duas entradas de controle: uma para receber o sinal de comando oriundo de um dimmer e outra para receber o sinal de comando proveniente de um controlador de temperatura de cor. Porém, tanto o dimmer quanto o controlador serão conectados no microcontrolador MSP430G, o qual terá duas saídas que serão conectadas nas entradas de controle do driver.

FIGURA 8.1 – Esquema do projeto



Fonte: O Autor (2019)

A lógica de controle funcionará da seguinte maneira: em havendo alteração

manual no dimmer, a saída do microcontrolador MSP430G fornecerá um sinal para uma das entradas de controle do driver. Este sinal será processado internamente no driver, o qual aumentará ou diminuirá a intensidade da corrente de saída para ambos os módulos de LED COB ao mesmo tempo.

Ao mesmo tempo, caso haja uma alteração manual no controlador de temperatura de cor, o MSP430G, através de uma segunda saída, fornecerá um sinal para a outra entrada de controle do driver. Tal sinal será processado internamento ao driver, o qual alterará a intensidade da corrente de saída (estabelecida pelo dimmer) para cada módulo de LED individualmente.

## 8.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA CARGA

Para a implementação do protótipo da luminária, serão utilizados LEDs COB, cujos funcionamento e detalhes estão contidos na seção 8.4.4 LEDS COB (*CHIP ON BOARD*). Devido a necessidade de controle de temperatura de cor, será necessário um LED COB de 3000K e um DE 5000K. Os COBs a serem usados são do fabricante CREE, do modelo CXB3590, cujas placas possuem uma tensão de 36V e suportam uma corrente de até 2,4A. Porém, desejando-se obter um fluxo de aproximadamente 2000l, a corrente de carga será fixada em 700mA. O módulo de LED COB da CREE apresenta maior custo-benefício em relação a outras marcas e é um dos modelos utilizados pela Lumicenter Lighting, empresa referência nacional no setor de iluminação.

## 8.3 DEFINIÇÃO DO CIRCUITO CONVERSOR CC-CC

O circuito conversor CC-CC utilizado no projeto terá a topologia de um conversor BUCK-BOOST, cujos funcionamento, esquemático e detalhes foram citados na seção 7.7.3 *CONVERSOR BUCK-BOOST*.

A principal etapa do circuito, bem como do funcionamento de todo o driver, consiste no mecanismo para enviar o sinal de controle para a chave S, o que é feito através de um CI.

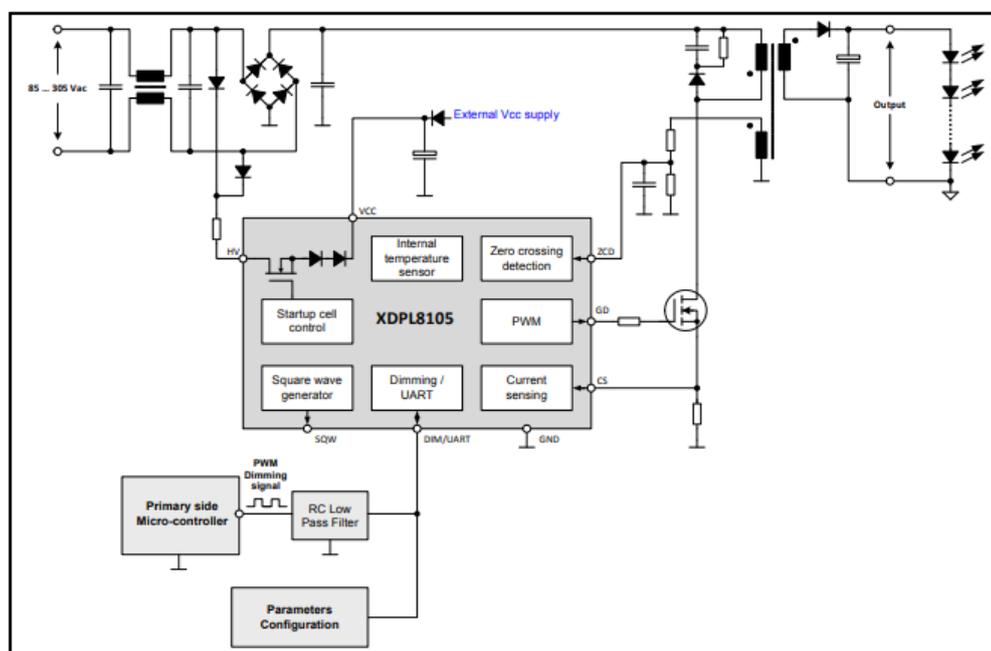
O CI utilizado para se fazer o controle do chaveamento, bem como da corrente de de saída do driver, será o XDPL8105, o qual é um controlador AC/DC de alta performance para aplicações em drivers de LED. Ele utiliza modulação por frequência de pulso (PFM) para regular a corrente de saída, ao mesmo tempo que tem alto fator

de potência e baixa THD (*Total Harmonic Distortion*).

O CI XDPL8105 fornece regulação de corrente constante (CC) precisa e, ao mesmo tempo, elimina a necessidade de um circuito de compensação enquanto mantém a estabilidade. Além disso, ele trabalha com alta eficiência e ainda cumpre com os requerimentos do padrão de harmônicos IEC61000-3-2.

Outrossim, este CI conta com baixa corrente de operação e de partida, contando com proteções contra curto-circuito ou sobre-tensão. Seu diagrama funcional de blocos é mostrado na figura 8.2.

FIGURA 8.2 – Diagrama esquemático do CI XDPL8105



Fonte: INFINEON (2016)

Como se pode observar, a energização do CI é feita pelo pino HV (*High Voltage*) e sua saída se dá pelo pino GD através de um sinal de PWM que alimentará o gate do MOSFET. O *feedback* para controle de corrente se dá através do pino CS *current sensing*, o qual receberá os sinais de controle da saída do circuito. O pino Dimming / UART é o que receberá o sinal de controle PWM do microcontrolador.

#### 8.4 ESTRUTURA DO PROJETO

A estrutura metodológica deste projeto será fundamentada conforme explicada previamente, tendo início pelo driver de potência. Nesta etapa o desafio é o desenvolvi-

mento de uma fonte de corrente constante, a qual deverá manter a corrente de saída o mais uniforme possível independente do que ocorra na entrada.

Na sequência, o desafio consiste em lançar mão do microcontrolador MSP430G para gerar um sinal PWM na saída em função do nível de tensão de uma das entradas analógicas a ser controlada por um potenciômetro. Tal sinal servirá de alimentação para o driver, onde o CI o processará e, constantemente, corrigirá o valor da corrente de saída.

Posteriormente, a próxima etapa diz respeito à carga de LEDs a ser utilizada, o que inclui encaixar os COBs nos dissipadores e realizar a montagem dos mesmos na carcaça da luminária.

Por fim, mas não menos importante, o último desafio é a realização de testes com o protótipo, onde serão medidos e testados os seguintes parâmetros: tensão e corrente de saída do driver, controle de dimerização e fluxo luminoso da luminária.

## 8.5 MATERIAIS UTILIADOS NO PROJETO

Este capítulo traz o detalhamento de todos os materiais que foram empenhados e construídos ao longo do projeto.

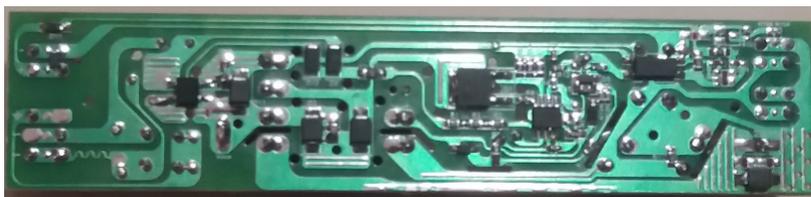
Primeiramente, foi necessário construir o driver de potência. Para tanto, para se realizar o projeto do diagrama elétrico e da placa de circuito impresso do mesmo, utilizou-se o software Altium, disponibilizado pela empresa Lumicenter. A confecção do mesmo também foi feita no laboratório da própria empresa. A figura 8.3 apresenta uma foto superior do protótipo final do driver e a figura 8.4 uma foto da parte inferior.

FIGURA 8.3 – DRIVER DE POTÊNCIA - VISTA SUPERIOR



Fonte: O autor (2019)

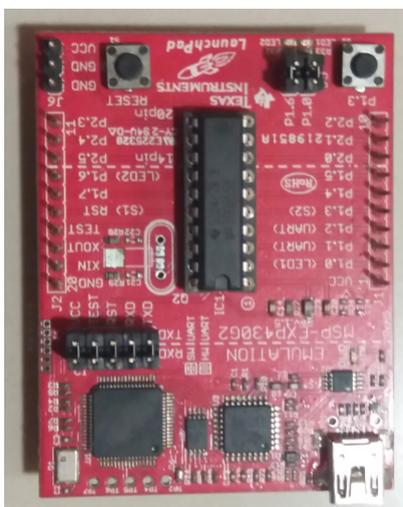
FIGURA 8.4 – DRIVER DE POTÊNCIA - VISTA INFERIOR



Fonte: O autor (2019)

Na sequência, foi necessário utilizar um microcontrolador MSP430G para fazer a interface entre o usuário e a luminária. A figura 8.5 apresenta uma foto do microcontrolador utilizado.

FIGURA 8.5 – MICROCONTROLADOR MSP430G



Fonte: O autor (2019)

A configuração manual para o controle do usuário será feita através de dois potenciômetros, ambos de 10k, conforme mostra a figura 8.6.

FIGURA 8.6 – POTENCIÔMETRO



Fonte: O autor (2019)

Outrossim, foram utilizados dois módulos de LED COB com dissipadores térmicos. A figura 8.7 apresenta uma foto dos dois módulos.

FIGURA 8.7 – MÓDULOS DE LED COB



Fonte: O autor (2019)

Por fim, montou-se todos os itens descritos e detalhados acima em uma carcaça para luminária. Porém, esta ainda não estava totalmente acabada até a data de confecção do presente relatório.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO

Primeiramente, testou-se o driver de potência, onde foi avaliados os seguintes parâmetros: potência de entrada, tensão e corrente de saída, potência de saída, fator de potência, distorção harmônica e eficiência. Para tais testes foi utilizada uma analisadora para drivers de LED da EVERFINE, cuja foto está mostrada na figura 9.1.

FIGURA 9.1 – ANALISADORA PARA DRIVERS DE LED EVERFINE



Fonte: O autor (2019)

A tabela 1 contempla os valores obtidos para os parâmetros testados.

TABELA 1 – TESTE DOS PARÂMETROS DO DRIVER DE POTÊNCIA

Parâmetro analisado	Valor medido
Potência de entrada	28.1W
Tensão de saída	36.4V
Corrente de saída	698mA
Potência de saída	25.4W
Fator de potência	0.99
Distorção harmônica	10%
Eficiência	91%

Fonte: O Autor (2019)

Durante os testes realizados com o driver, para medição de componentes individualmente, utilizou-se um multímetro da KEYSIGHT, cujo modelo é apresentado na figura 9.2

FIGURA 9.2 – MULTÍMETRO KEYSIGHT



Fonte: O autor (2019)

Na sequência, mediu-se o fluxo luminoso dos dois módulos de COB juntos com um luxímetro da marca MINIPA, cuja foto está mostrada na imagem 9.3.

FIGURA 9.3 – LUXÍMETRO MINIPA



Fonte: O autor (2019)

A medição do fluxo luminoso foi feita a 2.5m dos módulos de LED COB, pois considerou-se esta uma altura média entre o teto e o plano de trabalho ou mesa de jantar de uma residência e o resultado obtido foi de 1950lm.

Na sequência, fez-se a mesma medição, mas desta vez com o driver com uma corrente de saída de 350mA, e o luxímetro indicou 990lm.

Mais uma mesma medição foi realizada, mas agora com o driver com uma corrente de saída de 100mA, e o luxímetro indicou 290lm.

Várias medições do mesmo estilo foram feitas para diferentes níveis de corrente. A tabela 2 resume os valores do fluxo luminoso dos módulos de LED COB em função da corrente de saída do driver. Ressalta-se que a variação da corrente de saída do driver foi feita através do ajuste do potenciômetro conectado à entrada analógica do microcontrolador MSP430.

TABELA 2 – TESTE DE LUMINOSIDADE DOS MÓDULOS COB

<b>Corrente de saída(mA)</b>	<b>Valor medido(lm)</b>
700	1950
600	1651
500	1394
400	1098
300	750
200	434
100	290

Fonte: O Autor (2019)

Por fim, como um complemento, realizou-se testes de longa duração no laboratório goniofotômetro para se obter a curva luminotécnica da luminária. Porém, os resultados de tais testes não ficaram prontos até a data de confecção do presente relatório.

## 10 CONCLUSÃO

No decorrer do desenvolvimento deste projeto, que visa uma solução eficaz e inovadora no setor de iluminação residencial, foi possível adquirir uma vasta experiência com a condução e liderança de um projeto, pois desde a etapa da definição do tema a ser proposto até o momento final dos testes, todas as ações foram tomadas visando entregar um produto com qualidade e dentro do prazo. Além disso, houve um grande ganho de conhecimento na área de eletrônica de potência, pois teve-se que estudar e desenvolver um driver para LED que ainda não existe no mercado nacional.

Apesar de todas as dificuldades encontradas durante a execução do projeto, tais como estudar uma tecnologia até então com poucas informações disponíveis para consulta, alteração na escolha do CI no início por ter se descoberto que não era compatível com a aplicação desejada e a falta de familiaridade com o microcontrolador, considera-se que foram atingidos de forma integral todos os objetivos propostos no início do trabalho, tanto o geral quanto os específicos.

Como se pode observar através da Tabela 2, os módulos de LED apresentaram um fluxo luminoso bem próximo do nominal proposto (2000lm). A diferença de 50lm se deve provavelmente a alguma variação de operação do LED, pois, como este é do tipo COB, há vários LEDs arranjados em configurações série e paralelo no mesmo *chip*. Isso faz com que a tolerância de variação de queda de tensão de cada um deles se some, causando uma leve redução no fluxo total por eles emitido.

Outrossim, pela mesma Tabela 2, é possível observar claramente que conforme a corrente de saída do driver diminuía, o fluxo dos módulos de LED também decrescia. Isso é um forte indicativo de sucesso do projeto, pois o controle da dimerização foi executado conforme o planejamento. Ou seja, conforme se ajustava o potenciômetro na entrada analógica do microcontrolador MSP430, variava-se o *duty-cycle* da saída PWM do mesmo, o que por sua vez alterava a corrente de saída do driver, causando o efeito da dimerização dos LEDs.

Além disso, um ponto importante a se destacar é o funcionamento final do driver de potência, o qual contempla todo o segredo por trás do funcionamento da luminária. É possível afirmar que o estudo, o desenvolvimento e a fabricação somente do driver foram as etapas mais complexas de todo o projeto. Apesar disso, como se

pode observar pela Tabela 1, o driver atingiu todos os objetivos que deveria: eficiência relativamente alta, baixa THD e alto fator de potência. Porém, para se chegar em tal estado, passou-se por diversas adversidades, como tempo para desenvolver e fabricar o mesmo, queima de componentes durante os primeiros testes entre outras. Vale ressaltar que achou-se interessante fazer uma revisão bibliográfica bastante aprofundada sobre elementos e topologias de circuito utilizados em eletrônica de potência devido à extrema necessidade de se dominar a fundo o tema para projeto do driver.

Por fim, o presente projeto teve grande contribuição para o autor tanto para fins de conhecimento quanto profissionais. Em termos de conhecimento, houve grande aprendizado de eletrônica de potência. Já em termos profissionais, o projeto foi de fundamental importância, pois o autor trabalha no setor de Pesquisa e Desenvolvimento de eletrônicos da empresa Lumicenter, referência nacional no setor de iluminação. Por isso, tendo uma abordagem que interessa tanto ao meio acadêmico quanto ao mercado de trabalho, o projeto proporcionou ao autor uma grande contribuição para sua evolução pessoal e profissional.

## 11 CRONOGRAMA

CRONOGRAMA O cronograma da sequência das atividades do presente TCC está presente na Figura de atividades é exposto na Figura 11.1, onde contam todas as etapas os prazos para conclusão das mesmas, já considerando a avaliação com o orientador, o seminário e a defesa final.

FIGURA 11.1 – Cronograma de Atividades

ATIVIDADE	FEV 2019		MAR 2019					ABR 2019					MAI 2019				JUN 2019				
	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
INÍCIO																					
PESQUISA DE TRABALHOS RELACIONADOS AO TEMA																					
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: CONVERSORES CC-CC E LED DE POTÊNCIA																					
PRIMEIRA AVALIAÇÃO (ORIENTADOR)																					
ESPECIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA CARGA DE LED E DO DRIVER																					
PROJETO DO CIRCUITO DO DRIVER VIA SOFTWARE																					
SEMINÁRIO (PRIMEIRA DEFESA)																					
AQUISIÇÃO DOS COMPONENTES NECESSÁRIOS																					
MONTAGEM DO PROTÓTIPO																					
TESTES EM LABORATÓRIO																					
ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL																					
ENTREGA DO RELATÓRIO FINAL																					
DEFESA FINAL DO PROJETO																					

Fonte: O Autor (2019)

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 50001 – Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos com Orientação para Uso.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2018. Rio de Janeiro: EPE - MME, 2018.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso. Brasília: PROCEL, 2015.

ANEEL - AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimento do Programa de Eficiência Energética - PROPEE. Brasília: ANEEL, 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Projeção da Demanda de Energia Elétrica (2017 - 2026). Rio de Janeiro: EPE - MME, 2017.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Guia Orientativo para Iluminação com a Tecnologia LED. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2018.

ESPECIALIZE - REVISTA ESPECIALIZE ONLINE IPOG. Iluminação por LEDS. Fortaleza: IPOG, 2012.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Lâmpada LED.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Iluminação Pública Municipal - Programas e Políticas Públicas - Orientação para Gestores Municipais. MME, 2018.

NED, Mohan. Eletrônica de Potência - Curso Introdutório.

HART, W. Daniel. Eletrônica de Potência - Curso Introdutório.

COPEL - COMPANIA PARANAENSE DE ENERGIA. Manual de eficiência energética na indústria. Curitiba: COPEL, 2005.

EXPOLUX (São Paulo). Feira Internacional da Indústria de Automação. 2018. Disponível em: <<https://www.expolux.com.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

BOYLESTAD, R. L. Introdução à análise de circuitos 12ª Edição. São Paulo: Pearson, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 13, 15, 16 e 18.

ABILUX, Uso de lâmpadas Led deve crescer 30% em 2015. [S.l.], Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/10/uso-de-lampadas-led-deve-crescer-30-em-2015>>. Acesso em 23 abr. 2019.

BARBI, Ivo; SOUZA, Fabiana Pöttker de. Conversores CC-CC isolados de alta frequência com comutação suave. Florianópolis: Ed. dos Autores, 1999. Cap. 3. p. 103-107.

BERGMANN BLEY, F. LEDs versus Lâmpadas Convencionais Viabilizando a troca, Artigo (Pós-graduação em Iluminação e Design de Interiores), Revista OnLine Especizlize. Disponível em <<https://www.ipog.edu.br>> Acesso em Abril de 2019.

DILOUIE, C. In the Driver's Seat: LED Drivers, Driver Service Is Integral To LED Operation. [S.l.], Disponível em: <<http://www.ecmag.com/section/lighting/drivers-seat-led-drivers>>. Acesso em Abril de 2017.

DILOUIE IEEE. IEEE Std 802.11-1997 New York, Estados Unidos 1997.

XLSEMI, 180KHz 60V 5A Switching Current Boost LED Constant Current Driver XL6006 Datasheet. Rev. Julho de 2016. Disponível em <<http://www.xlsemi.com/datasheet/XL6006%20datasheet.pdf>>. Acesso em Março de 2017.

BLATT, R. Eficiência Luminosa e Energética, [S.l.], Disponível em <<http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/eficiencia-luminosa-e-energetica/78651/>>. Acesso em Abril de 2019.

BENDER, V. C.; MARCHESAN, T. B.; ALONSO, J. M. Solid-State Lighting: A Concise Review of the State of the Art on LED and OLED Modeling. IEEE Industrial Electronics Magazine, [s.l.], v. 9, n. 2, p.6-16, jun. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7134817/>>. Acesso em 02 de abril de 2019.