Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

ACESS-LUZ: Modelagem de um trocador semiautomático de lâmpadas LED — Uma ferramenta para a promoção de acessibilidade e segurança

Bruno Afonso da Conceição

João Monlevade, MG
2020

Bruno Afonso da Conceição

ACESS-LUZ: Modelagem de um trocador semiautomático de lâmpadas LED — Uma ferramenta para a promoção de acessibilidade e segurança

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Feliciano Braga
Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Azevedo Fogli

Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2020

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C744a Conceição, Bruno Afonso da .
ACESS-LUZ [manuscrito]: modelagem de um trocador semiautomático de lâmpadas LED - uma ferramenta para a promoção de acessibilidade e segurança. / Bruno Afonso da Conceição. - 2020.
66 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Márcio Feliciano Braga.
Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Azevedo Fogli.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Circuitos eletrônicos. 2. Lâmpadas de LED - Troca. 3. Modelagem . 4. Pessoas com deficiência física. 5. Robótica. I. Braga, Márcio Feliciano. II. Fogli, Gabriel Azevedo. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621.3

Bibliotecário(a) Responsável: Flávia Reis - CRB6-2431

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruno Afonso da Conceição

ACESS-LUZ: Modelagem de um trocador semiautomático de lâmpadas LED — Uma ferramenta para a promoção de acessibilidade e segurança

Membros da banca

Márcio Feliciano Braga - D.Sc. - Universidade Federal de Ouro Preto
Gabriel Azevedo Fogli - D.Sc. - Universidade Federal de Minas Gerais
Igor Dias Neto de Souza - M.Sc. - Universidade Federal de Ouro Preto
Wendy Yadira Eras Herrera - D.Sc. - Universidade Federal de Ouro Preto

Versão final
Aprovado em 15 de setembro de 2020.

De acordo

Prof. Dr. Márcio Feliciano Braga

Documento assinado eletronicamente por **Marcio Feliciano Braga, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR,** em 28/09/2020, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site, http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0087508** e o código CRC **299562CB.**

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Agradecimentos

Não é a quantidade de passos que determina quão dura é uma jornada, mas sim, a capacidade de não desistir, de fracassar e reconstruir, de se fortalecer. Mas ninguém vence sozinho, durante todo este percurso tive ao meu lado a fé, as pessoas que amo, que contribuíram para que este momento se tornasse realidade. Por esta razão, agradeço:

A **Deus**, o motivo maior do meu existir, que sempre é a fortaleza em meio às tribulações, o único caminho que nos leva à vitória. Agradeço por cada dia de estudo, de entrega, de comprometimento, de oportunidade e de saúde. Sem Ele, eu não suportaria todos os desafios que surgiram.

A **Nossa Senhora de Aparecida**, minha mãe, que nunca deixou de me amparar nos momentos mais difíceis.

A minha mãe **Lúcia**, quem me incentivou a chegar neste momento, é por ela que estou aqui. Ao meu pai **Geraldo**, meu protetor e meu guardião. Sem ele o caminho teria sido muito mais difícil. E aos dois, pela família que me deram.

A minha irmã **Raquel**, por MAG, AEDS, Análise Numérica e pela oportunidade de estudar com ela e conquistar nossos sonhos. A minha irmã **Fabiana**, meu xodó, que sempre me deu apoio nos momentos de maior dificuldade.

A minha namorada **Nayara**, pela paciência, parceria e companheirismo. Obrigado por sempre me apoiar e acreditar em mim.

Aos meus sogros **Sônia** e **Nelson**, que durante todos esses anos de graduação não me deram só um abrigo, mas sim um lar. Palavras são insuficientes para demonstrar o quanto eu sou grato por tudo o que vocês fizeram por mim.

A minha **Vó Geralda** que perdi durante essa minha jornada, sua perda me mostrou que não importa o quão dura a vida é com você, se você parar o mundo não vai te esperar, obrigado por me mostrar o quanto sou forte. Ao meu avô **José**, que é para mim um exemplo de vida e determinação.

Aos **meus amigos** e aos **companheiros de batalha**, que acompanharam ou também viveram os desafios, vocês tornaram esta caminhada mais divertida e menos solitária.

A **Universidade Federal de Ouro Preto**, ao **ICEA** e ao **DEELT** pela seriedade na minha formação. Aos meus **professores**, em especial ao professor **Márcio** e ao professor **Gabriel** que me auxiliaram neste trabalho. Agradeço também à **banca examinadora**.

Por fim, ao **povo Brasileiro** por financiarem meus estudos, sempre levarei comigo o dever de também contribuir para a construção de sonhos como meu, e de sempre trabalhar para fazer com que o nosso Brasil prospere.

"O maior sucesso neste trabalho foi aprender a lidar com o fracasso"
– Bruno Murcelle

Resumo

Neste trabalho é apresentada a modelagem de um sistema semiautomático capaz de realizar a troca de lâmpadas do tipo *Light Emitting Diode* — LED. O dispositivo tem como objetivo promover acessibilidade, de modo que um portador de deficiência física consiga acessar o plafon instalado no teto e realize a troca da lâmpada. Desta forma, este estudo propõe a utilização de técnicas e mecanismos, que ao trabalharem em conjunto, permitem a troca de maneira eficiente e segura. Portanto, é necessário um estudo sistemático para apresentar as possíveis alternativas que possibilitam a troca da lâmpada. Para certificar a eficácia dos métodos adotados e que os objetivos do estudo sejam atendidos, são realizados a simulação do circuito eletrônico no *software* Proteus 8 Professional e testes em estruturas preliminares. Por fim, modelam-se as estruturas físicas para acomodar os elementos eletroeletrônicos e as estruturas responsáveis por segurar e girar, permitindo assim a troca lâmpada.

Palavras-chave: Trocador de lâmpadas, Lâmpada LED, Garras Robóticas, Modelagem de sistemas, Acessibilidade, Impressão 3D.

Abstract

This work presents the modeling of a semi-automatic system capable of performing the exchange of Light Emitting Diode — LED lamps. The device aims to promote accessibility, so that a disabled person can access the plafon installed on the ceiling and change the lamp. Thus, this study proposes the use of techniques and mechanisms that, when working together, allow the exchange in an efficient and safe way. Therefore, a systematic study is necessary to present the possible alternatives that allow the lamp change. To certify the effectiveness of the methods adopted and that the objectives of the study are met, the simulation of the electronic circuit in the Proteus 8 Professional software and tests on preliminary structures are performed. Finally, the physical structures are modeled to accommodate the electronic elements and the structures responsible for holding and rotating, thus allowing the lamp change.

Keywords: Lamp changer, LED lamp, Robotic claws, Systems modeling, Accessibility, 3D printing.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelos de garras de dois dedos. 5
Figura 2 – Modelos de garras para objetos cilindricos. 5
Figura 3 – Modelo de garra articulada. 6
Figura 4 – Modelo de garra de três dedos. 6
Figura 5 – Modelo de garra mão biônica. 7
Figura 6 – Esquema de um motor de corrente contínua de dois polos. 8
Figura 7 – Sistema de comutação. 9
Figura 8 – Princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua. 10
Figura 9 – Circuito comutador e escovas. 11
Figura 10 – Modelo do circuito elétrico do motor de corrente contínua. 12
Figura 11 – Modelo esquemático de uma ponte H. 13
Figura 12 – Modelo esquemático de acionamento direto e reverso de uma ponte H. 14
Figura 13 – Polarização dos transistores de uma ponte H. 15
Figura 14 – Diagrama de blocos da ponte H L298N. 15
Figura 15 – Diagrama do controle bidirecional para um motor de corrente contínua. 16
Figura 16 – Driver Ponte H (L298N). 17
Figura 17 – Arduino Nano. 18
Figura 18 – Primeiro esboço do protótipo. 20
Figura 19 – Modelo e dimensões lâmpada LED Osram *Superstar Classic A*. 22
Figura 20 – Modelo preliminar da garra protótipo. 24
Figura 21 – (a) Motor do circuito enroscador. (b) Motor do circuito da garra. . . . 25
Figura 22 – Modelo do copo do rotacionador preliminar. 26
Figura 23 – (a) Chave Táctil. (b) Chave Micro *Switch*. (c) Chave SS. 27
Figura 24 – Circuito projetado. 27
Figura 25 – Bastão tipo antena (*Pau de selfie*). 28
Figura 26 – Comando fecha garra. 32
Figura 27 – Comando desenrosca lâmpada. 33
Figura 28 – Comando abre garra. 33
Figura 29 – Comando enrosca lâmpada. 34
Figura 30 – Estruturas e circuitos empregados nos testes. 36
Figura 31 – Teste de abertura da garra. 37
Figura 32 – Teste de enroscar e desenroscar a lâmpada. 37
Figura 33 – (a) Vista superior e frontal da caixa de comandos. (b) Vista superior e frontal da caixa de circuitos. (c) Vista posterior da caixa de circuitos. . 40
Figura 34 – (a) Vista superior, frontal e frontal em corte base inferior. (b) Vista lateral esquerda e esquerda em corte da base inferior. 41

Figura 35 – (a) Vista superior e frontal do suporte para o motor rosqueador. (b) Vista inferior do suporte para o motor rosqueador. 42
Figura 36 – (a) Vista inferior e frontal do suporte para o motor rosqueador. (b) Vista superior do suporte para o motor rosqueador. 43
Figura 37 – (a) Vista superior em corte. (b) Vista superior completa. (c) Vista frontal. (d) Vista lateral direita. (e) Vista lateral direita em corte da base da garra fixa. 44
Figura 38 – (a) Vista superior da garra esquerda. (b) Vista frontal e lateral da caixa da garra esquerda. (c) Vista superior da garra direita. (d) Vista frontal e lateral da caixa da garra direita. 46
Figura 39 – (a) Vista superior e frontal da base externa superior. (b) Vista lateral da base externa superior. 47
Figura 40 – Vista externa e interna da caixa de comandos. 48
Figura 41 – Vista externa e interna da caixa de circuitos. 49
Figura 42 – Vista interna e externa da tampa da caixa de circuitos. 49
Figura 43 – Vista superior e inferior da caixa de comando e circuitos. 50
Figura 44 – Vista superior e inferior da base externa inferior. 51
Figura 45 – Vista superior e inferior da base do suporte para o motor rosqueador. . 52
Figura 46 – Vista superior e inferior da base do suporte para o motor da garra. . . 52
Figura 47 – Vista traseira, frontal e do suporte do motor da base da garra fixa. . . 53
Figura 48 – Vista frontal e lateral da garras fixas. 54
Figura 49 – (a) Movimento da garra ao fechar. (b) Movimento da garra ao abrir. . 55
Figura 50 – Modelagem da base externa superior. 56
Figura 51 – Parte superior do protótipo com todas as peças em suas posições de projeto. 57
Figura 52 – Estrutura com todas as peças modeladas. 58

Sumário

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Motivação 1
1.2 Objetivo Geral 2
1.2.1 Objetivos Específicos 2
1.3 Estrutura do Trabalho 3

2 CONCEITOS E MECANISMOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO 4
2.1 Garras Robóticas 4
2.1.1 Tipos de Garras 4
2.2 Atuadores 7
2.3 Circuito Acionador 8
2.3.1 Motores de Corrente Contínua 8
2.3.1.1 Princípio de Funcionamento de uma Máquina CC 9
2.3.1.2 Controle de Velocidade 11
2.3.1.3 Vantagens da Utilização de Motores de Corrente Contínua 12
2.3.2 Ponte H 13
2.3.3 Microcontrolador 17
2.4 Modelagem e Estruturas do Protótipo 19
2.4.1 *Software* para a Modelagem 3D 19
2.4.2 Estruturas Físicas 19
2.4.3 Impressão 3D 19
2.5 Considerações 21

3 DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DOS MECANISMOS DE TESTE PARA AS ESTRUTURAS ADOTADAS 22
3.1 Lâmpada a ser Utilizada no Protótipo 22
3.2 Tipo de Garra Robótica Adotada 23
3.3 Atuadores 24
3.4 Circuito Acionador 25
3.4.1 Microprocessador 25
3.4.2 Ponte H 26
3.4.3 Circuito de Acionamento e Controle 26
3.4.4 Código Implementado para Acionamento dos Motores 28
3.5 Estrutura de Conexão entre o Usuário e a Lâmpada 28
3.6 Preparação para a Modelagem 3D 28

3.6.1 Dimensões dos Componentes Eletroeletrônicos . . . 29
3.6.2 Dimensões e Medidas das Demais Estruturas Empregadas . . . 29

4 RESULTADOS . . . 31
4.1 Simulação Computacional . . . 31
4.2 Testes na Estrutura Preliminar . . . 35
4.2.1 Teste de Acionamento da Garra . . . 36
4.2.2 Teste de Enroscar e Desenroscar . . . 36
4.2.3 Teste de Acionamento Múltiplo . . . 38
4.3 Modelagem das Peças . . . 38
4.3.1 Modelagem 2D . . . 39
4.3.1.1 Caixa de Comando e Circuitos . . . 39
4.3.1.2 Base Externa Inferior . . . 40
4.3.1.3 Suporte para o Motor Rosqueador . . . 41
4.3.1.4 Base de Suporte do Motor da Garra . . . 42
4.3.1.5 Base da Garra Fixa . . . 43
4.3.1.6 Garras Móveis . . . 45
4.3.1.7 Base Externa Superior . . . 46
4.3.2 Modelagem 3D . . . 47
4.3.2.1 Caixa de Comando e Circuitos . . . 48
4.3.2.2 Base Externa Inferior . . . 50
4.3.2.3 Suporte para o Motor Rosqueador . . . 51
4.3.2.4 Base de Suporte do Motor da Garra . . . 52
4.3.2.5 Base da Garra Fixa . . . 53
4.3.2.6 Garras Móveis . . . 54
4.3.2.7 Base Externa Superior . . . 55
4.3.2.8 Modelo Completo . . . 56

5 CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS . . . 59

REFERÊNCIAS . . . 61

APÊNDICE A – CÓDIGO EXECUTÁVEL DO ARDUINO . . . 63

1 Introdução

A evolução da sociedade humana sempre esteve atrelada à curiosidade e inventividade de seus indivíduos. O desenvolvimento de instrumentos, equipamentos e técnicas proporcionaram ao ser humano a capacidade de dominar o fogo e até enxergar as mais longínquas estrelas do cosmo. Desde a invenção de pequenas ferramentas rudimentares até a construção da estação espacial internacional, o objetivo sempre foi superar barreiras, alcançar o impossível e transformar o mundo.

Dentre todas as invenções humanas destaca-se uma. Em 1879, o norte-americano Thomas Alva Edison desenvolveu a primeira lâmpada elétrica, que era constituída de um filamento de carvão. A invenção de Edison transformou uma sociedade dependente da luz do sol, de velas e lamparinas, em uma sociedade autônoma e capaz de realizar suas tarefas independentemente da hora do dia ou da noite. Além disso, a invenção também revolucionou a vida humana, fazendo com que as cidades pulsassem também à noite, permitindo uma transformação no modo de viver (WANDERLEY, 2014).

Desde a invenção da primeira lâmpada elétrica, ocorreram inúmeras evoluções no dispositivo, seja no emprego de diferentes filamentos ou na utilização de gases ionizados para a geração de luz e, mais recentemente, o desenvolvimento de lâmpadas LED (diodo emissor de luz, do inglês *Light Emitting Diode*) (WANDERLEY, 2014). Entretanto, o procedimento de instalação ou troca de uma lâmpada basicamente não se alterou, visto que o dispositivo deve ser instalado de maneira manual, por meio de encaixe ou rosqueamento, em um suporte geralmente fixado no teto.

O procedimento de instalação de uma lâmpada geralmente está associado a riscos potenciais, como choque elétrico, cortes — devido à utilização de materiais como vidro — e também o risco de queda — se a lâmpada for instalada no teto. Destaca-se também que determinados grupos de indivíduos possuem um risco potencial maior de acidentes na realização da troca de uma lâmpada, ou são impossibilitados de realizar a troca em locais altos.

O intuito deste estudo é desenvolver uma alternativa que permita indivíduos com deficiências físicas e motoras, idosos e gestantes realizarem a troca de lâmpadas elétricas de maneira segura e eficiente, proporcionando autonomia e independência.

1.1 Motivação

A motivação deste estudo surgiu em decorrência dos jogos Paraolímpicos Rio 2016, que em sua cerimônia de abertura, teve dois momentos que fomentaram para o desenvolvimento de um dispositivo eletroeletrônico capaz de promover acessibilidade e autonomia ao portador de deficiência física. O primeiro momento foi quando a atleta

biamputada Amy Purdy, teve como par de dança um braço robótico industrial. O segundo momento foi quando o nadador brasileiro Clodoaldo Silva que é cadeirante, ao chegar próximo da pira olímpica se deparou com uma escada, que o impedia de concluir o trajeto. Então a escada se transformou em uma grande rampa, mostrando a importância da acessibilidade.

A acessibilidade no Brasil é amparada pela Constituição Federal de 1988 e pelas Políticas e Diretrizes Nacionais que garantem aos portadores de necessidades especiais o direito à mobilidade, autonomia, educação, saúde, lazer e cultura. Neste sentido, é de responsabilidade do Estado e também de toda a sociedade assegurar a plena integração da pessoa portadora de deficiência no contexto socioeconômico e cultural (BRASIL, 2016).

Desta forma, é dever também do cidadão desenvolver, fomentar e incentivar ações e práticas que permitam a maior acessibilidade e inclusão de indivíduos com limitações físicas e mentais na vida social. Contribuindo para a diminuição das desigualdades e preconceitos, promovendo o bem estar físico e mental do portador de deficiência (BRASIL, 2016).

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é modelar um protótipo semiautomático que empregue técnicas de controle por meio do uso de dispositivos eletrônicos, que permitam um usuário realizar a troca de uma lâmpada LED de maneira segura e eficiente.

1.2.1 Objetivos Específicos

De modo a atender o objetivo geral deste estudo, tem-se como objetivos específicos desenvolver os seguintes subsistemas:

- **Sistema da garra**: Responsável por segurar e manter a lâmpada fixa durante o processo de troca.
- **Sistema atuador enroscador**: Responsável pelos processos de enroscar e desenroscar a lâmpada no plafon.
- **Circuito de acionamento e controle**: Responsável por receber, processar e executar as ações desejadas pelo usuário.
- **Estruturas físicas**: Modelagem das estruturas externas e internas para acomodação dos circuitos, componentes, atuadores e também, responsáveis por executar os processos de segurar e trocar a lâmpada.

1.3 Estrutura do Trabalho

O estudo foi dividido em 5 capítulos. Sendo que no Capítulo 1, apresenta-se uma contextualização geral do tema, além de destacar as motivações e objetivos que levaram a esta pesquisa. Por fim, aborda-se a estrutura utilizada no desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico abordando os conceitos e os mecanismos necessários para o processo de modelagem e construção do protótipo, introduzindo os princípios de funcionamento dos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos capazes de realizar as ações desejadas, seguindo os padrões de controle que visam promover segurança e eficiência. Por fim, apresentam-se também o *software* empregado para a modelagem e as possíveis alternativas para a impressão 3D.

A definição e construção dos mecanismos de teste e simulação para as estruturas adotas são abordadas no Capítulo 3, apresentando as características físicas estruturais da lâmpada modelo e dos componentes empregados. Além disso, são definidos o circuito, o código programável executável essencial para o acionamento dos motores e as dimensões dos componentes utilizados, necessários para a modelagem em duas e três dimensões.

No Capítulo 4, apresentam-se os resultados alcançados por este estudo, como a simulação no *software* Proteus 8 Professional do circuito eletrônico projetado, com o intuito de testar as técnicas para o acionamento elétrico. Além disso, são realizados os testes na estrutura preliminar, de modo a constatar na prática o funcionamento do circuito elétrico e também a eficácia das técnicas empregadas. Por fim, são apresentadas em duas e três dimensões cada uma das 7 peças modeladas, necessárias para acomodar os componentes e circuitos, possibilitando a troca da lâmpada, e também é apresentada a modelagem completa do protótipo.

Por fim, o Capítulo 5 aborda a conclusão do estudo, apresentando os custos iniciais para toda a construção do protótipo no modelo apresentado. Além de apontar possíveis melhorias e alternativas para a operação segura do dispositivo e simplificação do modelo, bem como, as opções que simplifiquem o processo de impressão 3D, objetivando a redução de custos no projeto final.

2 Conceitos e Mecanismos Necessários para a Modelagem e Construção do Protótipo

O protótipo proposto por este estudo é composto de quatro partes distintas, que trabalhando juntas permitem ao usuário realizar a troca da lâmpada. A primeira delas é o mecanismo da garra, a segunda, o atuador responsável por enroscar e desenroscar a lâmpada, a terceira é o circuito acionador e a quarta é a estrutura física do sistema. Nas seções seguintes são apresentadas as técnicas e modelos que possibilitaram a construção do dispositivo.

2.1 Garras Robóticas

As garras robóticas ou órgãos terminais são ferramentas que tem como objetivo manipular objetos de diferentes formas, materiais e aplicações (GROOVER et al., 1989). Além disso, a sua aplicabilidade é ampla no ambiente industrial, pois o emprego das garras permite realizar com precisão e rapidez, serviços e atividades que possuem um alto risco potencial ao manuseio humano ou que necessitem de uma alta precisão no processo industrial (SANZ et al., 2005).

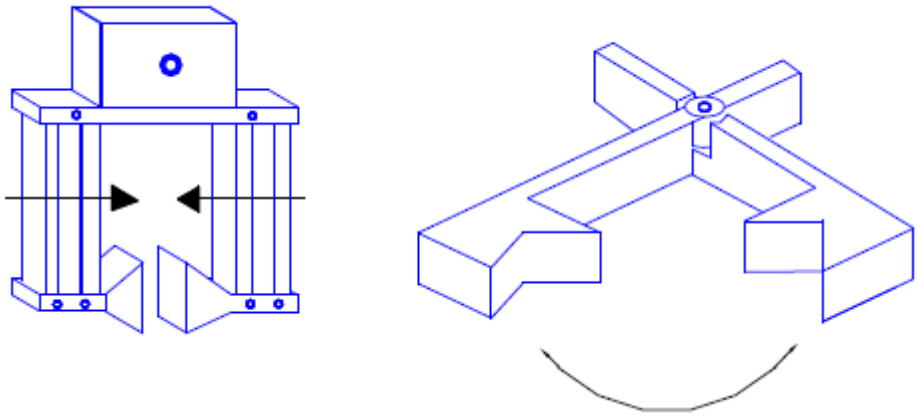
Para a utilização adequada de uma garra robótica em um determinado processo, alguns cuidados devem ser tomados, visto que é necessário controlar a força aplicada sobre o objeto a ser manipulado, bem como conhecer as características físicas e mecânicas do objeto e o tipo de força que a ser aplicada (CARRARA, 2006).

Existe uma grande variedade de tipos de órgãos terminais que podem ser utilizados em diversas aplicações. Elas podem atuar por meio de pressão (fluido ou ar comprimido), eletromagnetismo, vácuo, sucção, dentre outros. As garras utilizam dedos especiais que realizam a pega do objeto. O número de dedos de uma garra varia de acordo com o tipo de objeto a ser manipulado (PEDRO, 2009).

2.1.1 Tipos de Garras

Existem muitos tipos de garras robóticas, cuja construção varia de acordo com a aplicação desejada. A garra mais comum e a mais utilizada é a do tipo pinça de dois dedos, cujo modelo é o mais simples e realiza movimentos paralelos ou rotacionais. Na Figura 1, apresenta-se o modelo esquemático deste tipo de garra. Entretanto, devido a sua simplicidade, a versatilidade na manipulação de objetos é pequena, ocasionada pela limitação na abertura dos dedos, o que reduz significativamente a quantidade de objetos que podem ser pinçados (CARRARA, 2006).

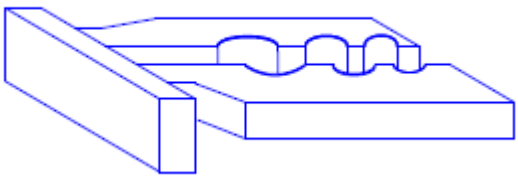
Figura 1 – Modelos de garras de dois dedos.



Fonte: Extraído de Carrara (2006).

Na Figura 2, apresenta-se a garra para objetos cilíndricos, que consiste em dois dedos com semicírculos que permitem pegar objetos de formato cilíndrico de diferentes diâmetros. Por fim, na Figura 3, apresenta-se a garra articulada de dois dedos, que é mais similar à mão humana, possuindo assim a capacidade de pegar objetos de formas irregulares e com tamanhos variados. Sua flexibilidade está associada ao número de elos que permitem um número maior de graus de movimento (CARRARA, 2006).

Figura 2 – Modelos de garras para objetos cilindricos.

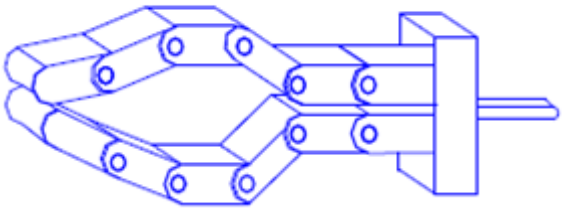


Fonte: Extraído de Carrara (2006).

Entretanto, em alguns casos deseja-se possuir uma maior precisão e segurança no manuseio do objeto, para esses casos foram desenvolvidos tipos de garras especiais. Um dos modelos é a garra de três dedos (castanha), sendo geralmente empregadas para segurar peças cilíndricas ou esféricas (SALISBURY, 1982). Na Figura 4, ilustra-se o modelo de garra de três dedos, cuja precisão está ligada ao aumento da área de contado entre a peça e a garra, além de impedir que a peça escape da garra ao ser pressionada devido à sua geometria (SALISBURY, 1982).

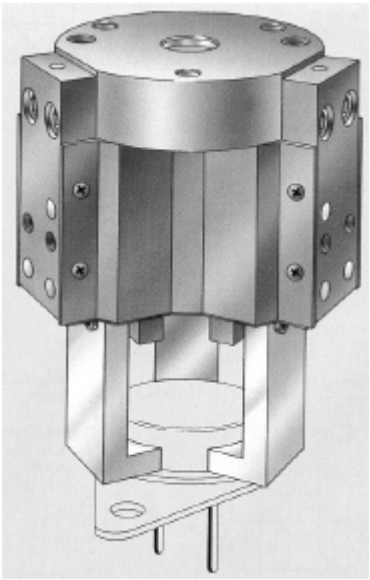
Quanto maior é o número de dedos de uma garra, maior a capacidade de transporte de diferentes objetos. A capacidade quantitativa de objetos manipulados varia de acordo

Figura 3 – Modelo de garra articulada.



Fonte: Extraído de Carrara (2006).

Figura 4 – Modelo de garra de três dedos.



Fonte: Adaptado de Santos e Junior (2018).

com o número de dedos. As garras de dois dedos têm a capacidade de transportar aproximadamente 40% dos objetos, enquanto a com três dedos 90% e a garra com quatro dedos tem a capacidade de transporte de 99% dos objetos (MATSOUKA, 1995).

A garra que possui a configuração da mão humana possui a maior versatilidade para a manipulação de objetos, além de possuir cinco dedos, ela possui articulações como a mão humana. O que permite transportar peças com formas irregulares, além de poder exercer forças em diferentes proporções, aumentando significativamente a estabilidade do transporte (SALISBURY; CRAIG, 1982). Na Figura 5, apresenta-se uma garra com a configuração de uma mão humana. O modelo tem sido empregado em próteses para amputados, seu uso permite ao usuário pegar objetos independentemente da forma (PEDRO, 2009).

Figura 5 – Modelo de garra mão biônica.

Fonte: Extraído de Pedro (2009).

2.2 Atuadores

Os atuadores podem ser comparados com a mecânica de um músculo, sua função é gerar movimento quando na entrada é aplicado um sinal. Podem ser classificados como lineares ou rotacionais, dependendo do tipo de movimento produzido. Em sistemas nos quais o movimento é, por exemplo, para frente ou para trás, o atuador é linear, enquanto que, em movimentos em torno do próprio eixo, o atuador é definido como rotacional (SHHEIBIA, 2001).

Existem diferentes tipos de formas de acionamento de um atuador, podendo ser eletromecânicos, hidráulicos e pneumáticos. O emprego de cada tipo de atuador está relacionado à aplicação desejada, sendo levado em consideração a capacidade de carga, rigidez, baixa inércia, capacidade de movimento, facilidade de controle, velocidade, aceleração, ambiente de operação e custo (CARRARA, 2006).

O acionamento eletromecânico é recomendado para processos que necessitem de precisão e também alta repetibilidade. Outro fator importante é que os motores elétricos utilizados são geralmente pequenos, requerendo menor espaço útil (SHHEIBIA, 2001). Em sistemas que utilizam o acionamento eletromecânico, são empegados motores de passo ou servo motores de corrente contínua. Tais motores podem ser acoplados a juntas rotacionais por meio de eixos, engrenagens, polias ou mecanismos translacionais (SHHEIBIA, 2001).

O acionamento pneumático é recomendado para aplicações de menor porte e com poucos graus de liberdade, além disto, possui baixa precisão devido à natureza binária dos cilindros. O controle é de simples implantação e o custo de operação é baixo. Ademais, necessita de compressores de ar comprimido, válvulas direcionais, filtros e reguladores de pressão para o seu devido funcionamento (SHHEIBIA, 2001).

Por fim, o acionamento hidráulico proporciona uma maior velocidade e potência se comparado aos anteriores. Entretanto, o controle de força é instável e possui uma grande

limitação de movimento, além de necessitar de uma bomba para o fornecimento do óleo hidráulico ao sistema. Apesar de o sistema ser robusto e confiável, possui um alto custo de operação (PEREZ, 2012).

2.3 Circuito Acionador

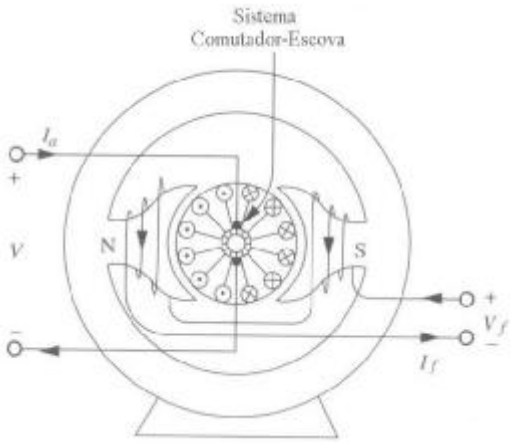
O circuito acionador é o responsável por definir as ações de controle e operação do sistema. As ações serão realizadas por meio de motores de corrente contínua, pontes H, microprocessadores (responsável pelo controle do sistema), botões de acionamento e operação, além de capacitores e resistores.

2.3.1 Motores de Corrente Contínua

As máquinas de corrente contínua (CC) são caracterizadas por sua versatilidade, devido à simplicidade no controle de sistemas e também a possibilidade de atuar em uma ampla faixa de velocidades, o que assegura um uso contínuo para diversos tipos de operações (FITZGERALD; CHARLES; UMANS, 2006). Os motores de corrente contínua são compostos de duas estruturas magnéticas, o estator, também conhecido como enrolamento de campo ou imã permanente, e o rotor ou enrolamento de armadura (SIEMENS, 2006).

O estator é uma estrutura ferromagnética com polos salientes que é excitado pelas bobinas de campo ou por um ímã permanente. A distribuição do fluxo criado pelos enrolamentos de campo é simétrica em relação à linha central dos polos de campo, o que gera um eixo de campo (FITZGERALD; CHARLES; UMANS, 2006). Na Figura 6, apresenta-se um desenho esquemático de um motor de corrente contínua de dois polos com enrolamento de campo.

Figura 6 – Esquema de um motor de corrente contínua de dois polos.



Fonte: Extraído de Siemens (2006).

O rotor é constituído por um eletroímã, que possui um núcleo de ferro com enrolamentos em sua superfície, ou por um ímã permanente, além de um sistema mecânico de comutação. O comutador possui uma superfície cilíndrica com diversas lâminas, às quais são conectados os enrolamentos do rotor e também por escovas fixas, que exercem uma pressão sobre o comutador e são ligadas aos terminais de alimentação da máquina (FITZGERALD; CHARLES; UMANS, 2006). A função do comutador é inverter a corrente na fase de rotação, de forma que o torque sempre seja desenvolvido na mesma direção (SIEMENS, 2006). Na Figura 7, ilustra-se o sistema de comutação.

Figura 7 – Sistema de comutação.

Fonte: Extraído de Siemens (2006).

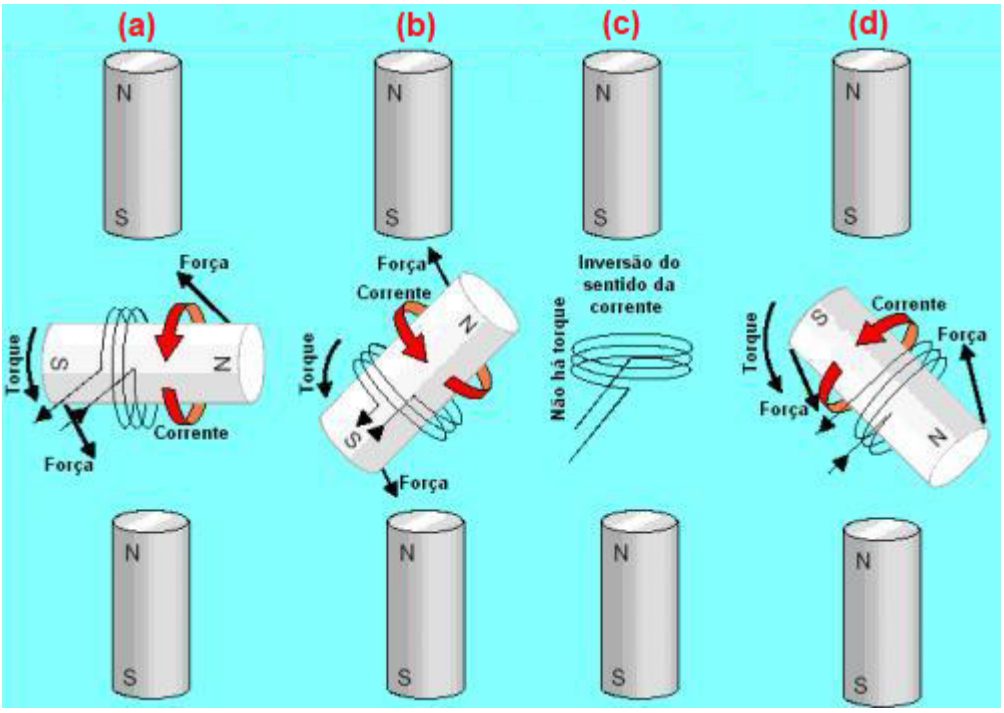
O enrolamento do rotor é inserido em sulcos que possuem um espaçamento igual ao da distância entre dois polos do estator, formando assim, em lado, um polo norte e, no outro, o polo sul. As bobinas do rotor são conectadas em série por meio das lâminas do comutador, de modo que o final da última bobina é conectado ao início da primeira, o que faz com que o enrolamento não possua um ponto específico (SIEMENS, 2006).

2.3.1.1 Princípio de Funcionamento de uma Máquina CC

O princípio de funcionamento de uma máquina de corrente contínua, em que o estator é constituído por um ímã permanente e o rotor é constituído por uma bobina de cobre esmaltado, por onde circula a corrente elétrica, como pode ser observado na Figura 8. O ímã permanente possui dois polos magnéticos (norte e sul) e a corrente que circula pelo rotor produz um campo magnético, o que faz com que a bobina se comporte também como um ímã.

A Figura 8 pode ser explicada a partir de cada um dos momentos de rotação do rotor. Na Figura 8 (a), a bobina do rotor está ortogonal em relação ao ímã do estator. Devido ao princípio magnético de que os polos opostos se atraem, a bobina experimenta um conjugado que age no sentido anti-horário, se a corrente seguir no sentido contrário os polos do rotor são invertidos, o que faz com que o torque faça o rotor girar no sentido horário (SIEMENS, 2006).

Figura 8 – Princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua.



Fonte: Extraído de Siemens (2006).

Na Figura 8 (b), a bobina experimenta uma aceleração angular e mantém o giro no sentido do movimento. O torque continua até que ocorra o alinhamento dos polos magnéticos do rotor com os polos do ímã do estator, a bobina girou 90º em relação a posição inicial do rotor, neste momento não há nenhum conjugado eletromecânico (SIEMENS, 2006).

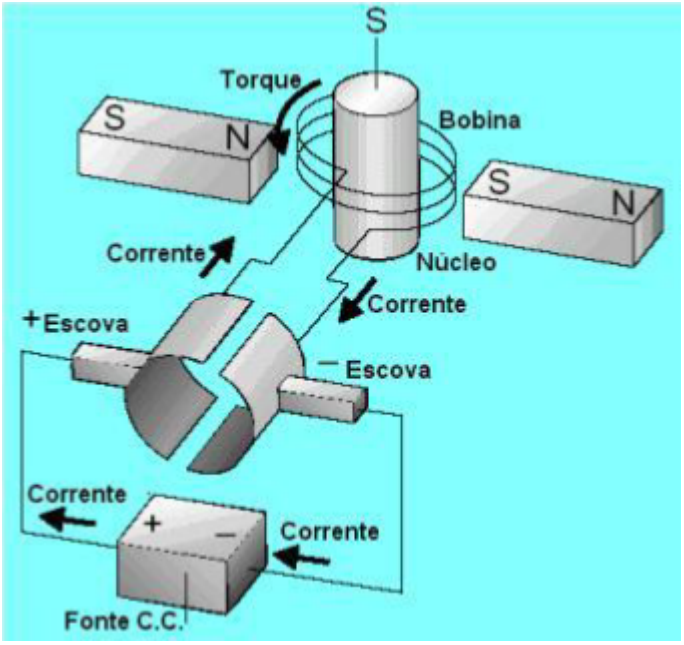
O instante em que os polos se alinham é o mais adequado para inverter o sentido da corrente na bobina, conforme ilustrado na Figura 8 (c). Devido à repulsão dos polos do estator e do rotor, o movimento é mantido no sentido anti-horário devido ao momento angular apresentado na bobina e também à inércia do rotor. E na Figura 8 (d), as forças de repulsão corroboram para que o movimento de rotação continue até o início do próximo ciclo (SIEMENS, 2006). O sentido da corrente no início do movimento é que define qual será o sentido de rotação, se horário ou anti-horário.

O princípio de atração e repulsão nos momentos adequados é que permite o rotor girar. Dessa forma, o momento mais importante para manutenção do movimento é a inversão no sentido da corrente. A comutação consiste em um curto-circuito momentâneo das escovas, o que libera a energia armazenada antes da corrente fluir no sentido oposto (SIEMENS, 2006).

Após o curto-circuito momentâneo, a corrente passa a fluir no sentido oposto, o que faz gerar um campo magnético inverso. Na Figura 9, apresenta-se um esquema simplificado de um motor de corrente contínua, com o comutador e as escovas. Como é

possível observar, o comutador possui duas placas de cobre curvadas e fixadas de maneira isolada no eixo do rotor. A corrente flui através de uma das escovas, entrando pela bobina e saindo pela segunda placa do comutador, retornando para a fonte através da segunda escova (SIEMENS, 2006).

Figura 9 – Circuito comutador e escovas.



Fonte: Extraído de Siemens (2006).

A cada comutação das escovas, o rotor realiza meio ciclo, dessa forma, ao se completar o ciclo, as placas do comutador invertem seus contatos fazendo com que as escovas invertam o sentido da corrente que percorre a bobina, mantendo assim sempre o mesmo sentido de rotação.

2.3.1.2 Controle de Velocidade

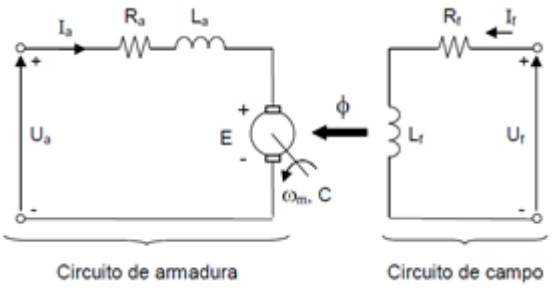
Para o entendimento do controle de velocidade de um motor de corrente contínua, faz-se necessário compreender as relações físicas e matemáticas que regem o funcionamento do dispositivo. A Figura 10 ilustra o modelo do circuito elétrico de um motor CC.

Por meio da Lei de Kirchhoff das tensões, a tensão *Ua* é desenvolvida na armadura e pode ser expressa por

$$U_a = R_a I_a + E, \tag{2.1}$$

em que R_a é a resistência de armadura, I_a, a corrente de armadura e E, a força eletromotriz induzida (FITZGERALD; CHARLES; UMANS, 2006). A lei da indução de Faraday postula

Figura 10 – Modelo do circuito elétrico do motor de corrente contínua.



Fonte: Extraído Siemens (2006).

que a força eletromotriz induzida é proporcional ao fluxo e à rotação, dessa forma,

$$E = k_1 \phi \eta, \tag{2.2}$$

em que k_1 é a constante dependente do tamanho do rotor, do número de polos e da forma com a qual os polos são interconectados, ϕ é o fluxo no entreferro e η, a velocidade de rotação. Substituindo (2.2) em (2.1), obtém-se a expressão para a velocidade η de um motor CC, dada por

$$\eta = \frac{U_a - R_a I_a}{k_1 \phi}. \tag{2.3}$$

Considerando que, a queda de tensão na armadura é pequena, então aproximando $R_a I_a = 0$, a expressão (2.3) pode ser reduzida a

$$\eta = \frac{U_a}{k_1 \phi}. \tag{2.4}$$

A partir dessa aproximação, conclui-se que a velocidade de rotação do motor é proporcional à tensão de armadura e inversamente proporcional ao fluxo no entreferro (FITZGERALD; CHARLES; UMANS, 2006). Portanto, o controle de velocidade é feito por meio da variação da tensão de armadura, mantendo o fluxo no entreferro constante (SIEMENS, 2006).

2.3.1.3 Vantagens da Utilização de Motores de Corrente Contínua

Dependendo do tipo de aplicação, os motores CC apresentam maiores benefícios em termos de confiabilidade, operação amigável e dinâmica de controle. Dentre as vantagens, destacam-se a possibilidade de operação em ciclo contínuo, ampla variação de velocidade, facilidade no controle da velocidade e flexibilidade (SIEMENS, 2006).

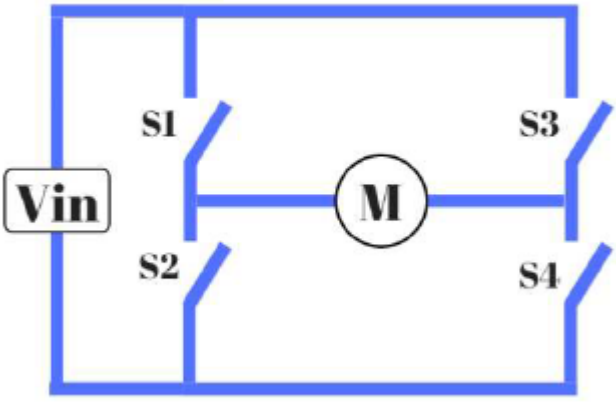
2.3.2 Ponte H

Em processos robóticos e de automação, é necessário implementar circuitos que permitam ações como a inversão do movimento, seja no sentido horário ou anti-horário, para frente ou para trás, para direita ou para esquerda. Existem algumas formas para realizar essas ações. A primeira delas é inverter os terminais de alimentação do motor, entretanto, é algo muito complexo, pois envolve a utilização de chaves ou relés (MAIMON, 2004).

Outra opção seria gerar uma tensão negativa, porém tal alternativa não é viável, devido à necessidade de se projetar um circuito externo e também pela necessidade de uma bateria para a alimentação de todo o circuito. A terceira opção é a utilização de uma ponte H. Trata-se da melhor escolha para a reversão da polaridade nos terminais de um motor, pois a sua implementação é relativamente simples, e existem circuitos integrados construídos para esse propósito (MAIMON, 2004).

A ponte H consiste em quatro transistores polarizados operando como chaves eletrônicas nos modos de saturação e corte. A topologia da ponte permite que o motor de corrente contínua seja polarizado de maneira direta ou reversa (MAIMON, 2004). Esses circuitos também são conhecidos como *drivers* de corrente bidirecionais. Na Figura 11, apresenta-se o circuito de uma ponte H. O acionamento das chaves S1 e S4 ou S2 e S3 possibilitam o funcionamento do dispositivo.

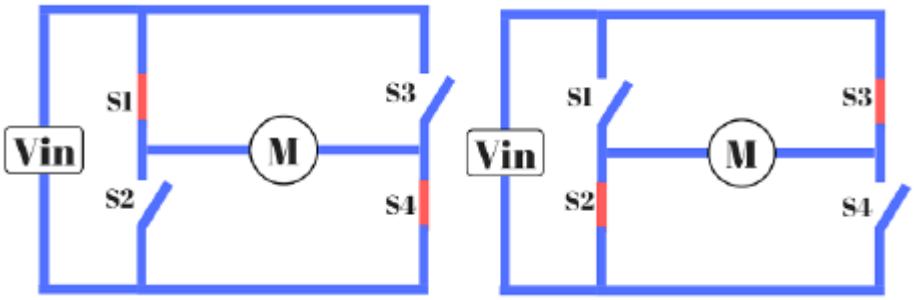
Figura 11 – Modelo esquemático de uma ponte H.



Fonte: Extraído de Neto (2017).

Quando as quatros chaves estão todas abertas não passa corrente pelo circuito, assim, o motor mantém-se parado. Para que o movimento da máquina seja iniciado, as chaves devem ser fechadas de maneira cruzada, ou seja, ou se aciona o par S1 e S4 ou o par S2 e S3. Na Figura 12, apresenta-se o esquema de fechamento para as duas possíveis combinações que permitem o funcionamento do motor (NETO, 2017).

Figura 12 – Modelo esquemático de acionamento direto e reverso de uma ponte H.



Fonte: Extraído de Neto (2017).

As chaves são acionadas por um dos lados da ponte, desta forma, S1 e S2 possuem o mesmo acionamento, e S3 e S4 outro acionamento. Essa configuração para o acionamento permite realizar o controle por meio de níveis lógicos em cada um dos lados da ponte. Na Figura 13, apresenta-se a configuração do nível lógico em cada um dos lados da ponte permitindo que o circuito feche de maneira a se ter corrente fluindo pelo motor (NETO, 2017).

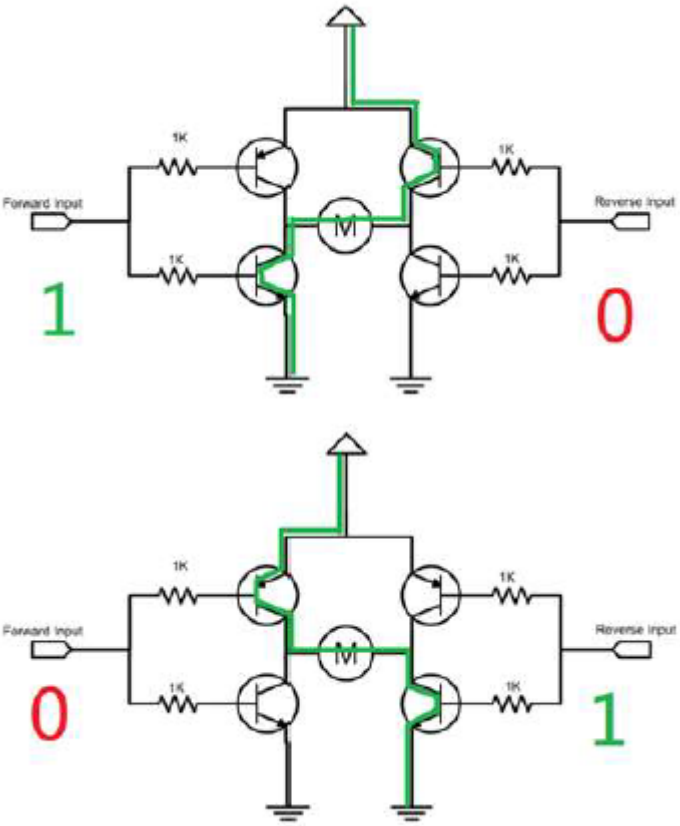
Analisando a Figura 13, nota-se que ao se ter nível lógico alto em S1 e S2, S1 entra em corte e S2 em condução, e com um nível lógico baixo em S3 e S4, S3 entra em modo de condução e S4 fica em corte, assim, o motor é polarizado e começa a girar no sentido anti-horário. O processo inverso faz com que S1 e S4 entrem em condução e S2 e S3 em corte, fazendo com que o motor gire no sentido horário (NETO, 2017).

Entretanto, existe um problema nas pontes H que é o efeito conhecido como *shoot-through*, que ocorre quando duas chaves do mesmo lado são fechadas, provocando um curto-circuito na fonte alimentadora. O curto pode provocar danos irreversíveis nas chaves acionadoras e, caso não existam elementos de proteção, podem também ocorrer danos à fonte (MAIMON, 2004).

Uma maneira de contornar possíveis falhas nas pontes H, se dá por meio da utilização de portas lógicas ou arranjos lógicos, que impeçam o acionamento que possam causar danos ou falhas ao sistema. Devido à vasta utilização de pontes H nas mais variadas aplicações, existem diversos circuitos integrados que, além de realizar as ações de inversão da polaridade dos terminais de um motor, atuam também com os mecanismos de segurança para o perfeito funcionamento de todo o sistema.

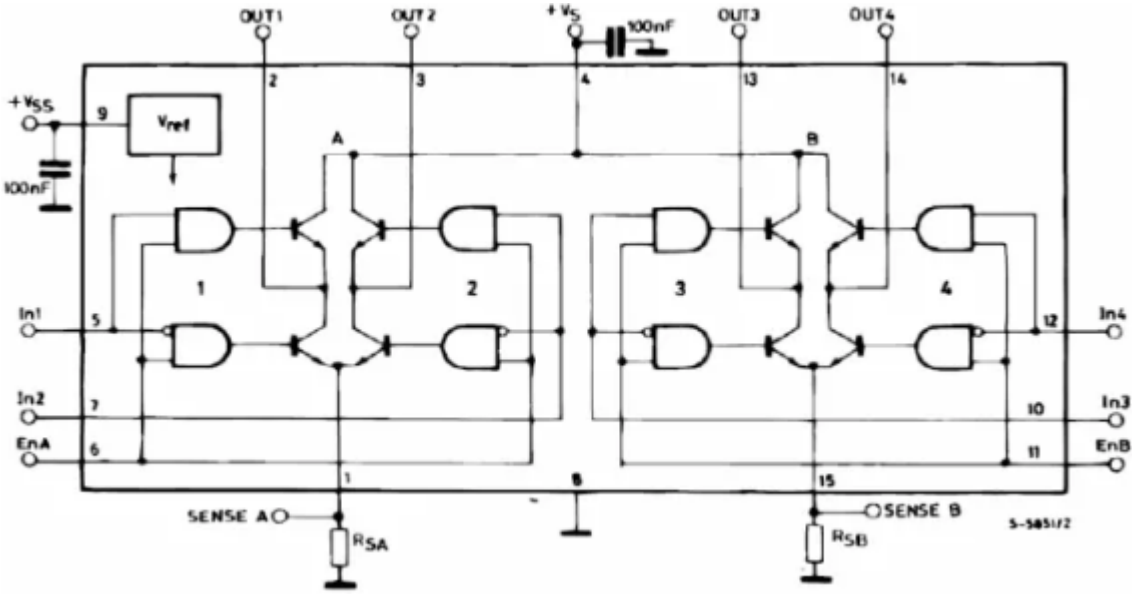
Um exemplo de tipo circuito integrado com pontes H é o *Dual Full-Bridge Driver* ou L298N, que possui a versatilidade de operar em altas tensões, com duas pontes H que podem ser operadas em simultâneo suportando altas correntes. Além disso, trabalha em níveis lógicos TTL (*Transistor–transistor logic*) ou cargas indutivas como relés, solenoides, motores de corrente contínua e de passo (STMICROELECTRONICS, 2000). Na Figura 14, apresenta-se o diagrama de blocos do L298N.

Figura 13 – Polarização dos transistores de uma ponte H.



Fonte: Extraído de Neto (2017).

Figura 14 – Diagrama de blocos da ponte H L298N.



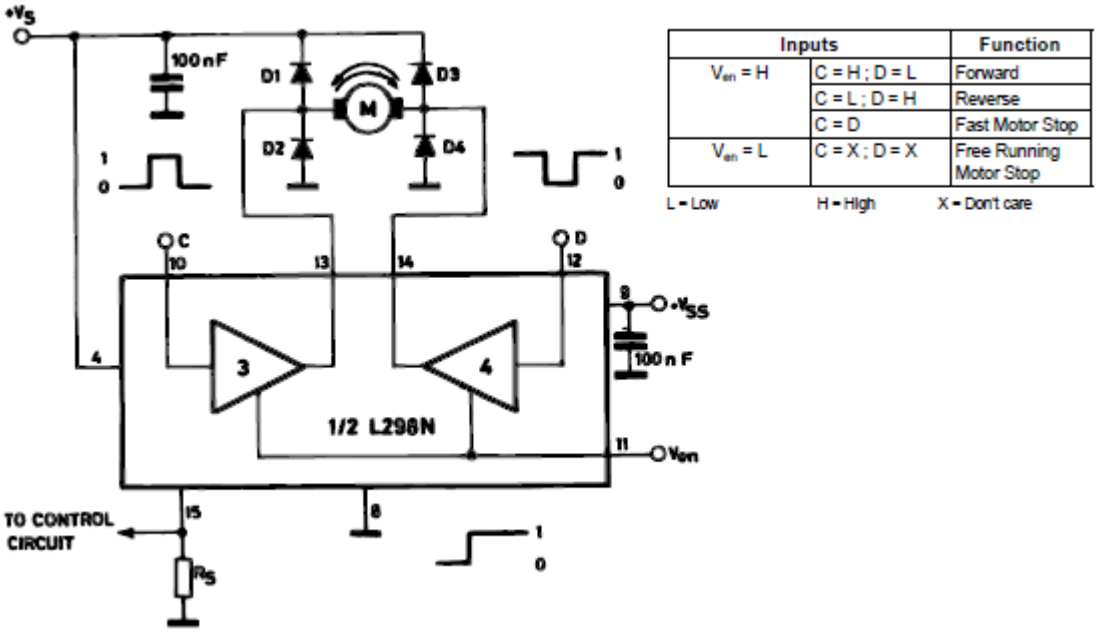
Fonte: Adaptado de Datasheet STMicroelectronics (2000).

Como é possível observar na Figura 14, o sistema possui duas pontes H, cada uma das pontes é acionada por entradas de ativação, independente da entrada dos sinais (*EnA e EnB*). Os transistores inferiores de cada uma das pontes são interconectados e sua saída pode ser conectada a um resistor externo para a detecção da saída (*SENSE A e SENSE B*) (STMICROELECTRONICS, 2000).

Além disto, o dispositivo possui um conjunto de portas *AND's*, que tem como objetivo atuar como dispositivo de proteção, impedindo possíveis curtos circuitos externos e internos no dispositivo. Por fim, as saídas (*OUT1 e OUT2, OUT3 e OUT4*) são conectadas aos terminais do motor a ser controlado. Os demais pinos são para alimentação e referência (STMICROELECTRONICS, 2000).

Na Figura 15, apresenta-se o digrama do controle bidirecional para um motor de corrente contínua. Nota-se que, de acordo com as entradas *Ven*, *C* e *D* se tem a configuração para a polarização direta (rotação sentido horário), reversa (rotação no sentido anti-horário), parada rápida do motor e circuito desativado (STMICROELECTRONICS, 2000).

Figura 15 – Diagrama do controle bidirecional para um motor de corrente contínua.

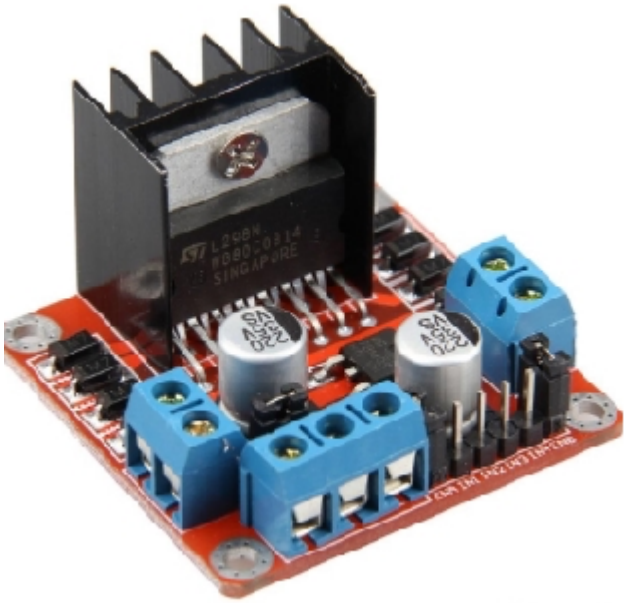


Fonte: Adaptado de Datasheet STMicroelectronics (2000).

Contudo, como é possível observar na Figura 15, faz-se necessário implementar componentes externos para o perfeito acionamento do dispositivo, como diodos, capacitores e resistores. Embora todos os componentes citados possuam um baixo custo e o circuito ser de simples construção, existe uma alternativa para o emprego do L298N, que já vem com todo o arranjo externo embarcado em uma única placa, o *Driver* L298N ilustrado na Figura 16.

A utilização do *Driver* L298N em alguns casos pode ser mais vantajosa do que o

Figura 16 – Driver Ponte H (L298N).



Fonte: Adaptado de Datasheet STMicroelectronics (2000).

uso do CI L298N e a construção do circuito externo. Dentre as vantagens se destaca o fato do *Driver* ser produzido industrialmente, o que reduz possíveis interferências indesejáveis e melhora o acoplamento do sistema. Além de já possuir pinos para conexão com microcontroladores, bornes de alimentação e conexão dos motores, dissipador de temperatura e o fator do custo do *Driver* ser o mesmo do CI do L298N vendido separadamente.

2.3.3 Microcontrolador

Microcontroladores são dispositivos eletrônicos capazes de realizar ações de processamento e execução de instruções, comunicando com outros circuitos periféricos. Os microcontroladores são constituídos de CPU (Unidade de Processamento Central), ALU (Unidade Lógica Aritmética), linha para dados e endereços, acesso a memória externa, memória interna, periféricos para a comunicação serial, *timer*, osciladores, portas de entrada e saída, PWM (Modulação de Largura de Pulso), dentre outros (BELO, 2004).

O uso de microcontroladores tem como objetivo atender às funcionalidades desejadas de maneira eficiente, reduzindo a necessidade de implementar circuitos lógicos complexos para a execução de tarefas. Além disso, o uso do dispositivo apresenta uma boa relação custo-benefício, devido ao tamanho do circuito integrado, além de possuir uma plataforma de programação gratuita, com possibilidade de comunicação com computadores e preços acessíveis (CAIRES, 2013).

Um dos microcontroladores mais populares são os da família PIC (Controlador de Interface Programável) fabricados pela Microchip. As vantagens do uso das famílias do

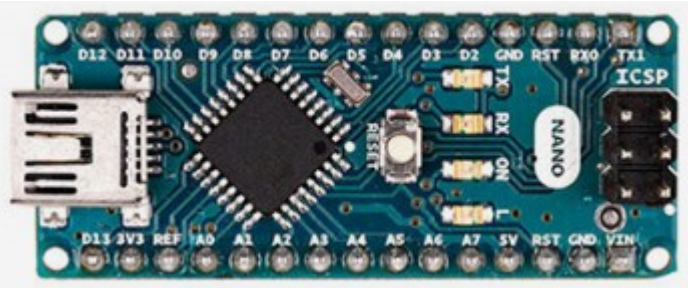
PIC é a facilidade de encontrá-los no mercado e por possuírem periféricos que substituem algumas soluções por *software*, como é caso do PWM. O PIC é programado em *assembler*, entretanto existem compiladores que permitem a programação por meio da linguagem C, devido à simplicidade dessa linguagem computacional (BELO, 2004).

As famílias PIC variam de acordo com aspectos como, a quantidade de bits de configuração, frequência, tensão de alimentação e número de instruções realizadas simultaneamente, que podem variar de cerca de 35 a 80 instruções. Existem famílias de PIC para 8 bits (PIC10, PIC12, PIC16 e PIC18), 16 bits (PIC24, dsPIC30, dsPIC33) e 32 bits (PIC32). Cada um dos modelos apresenta diferentes aspectos construtivos e de implementação, podendo assim ser utilizados para as mais diferentes aplicações de controle de processos.

Existem também outras famílias de microcontroladores, como por exemplo, o Arduino. Esse microcontrolador é uma plataforma de código aberto baseada em *hardware* e *software*, sendo capazes de comunicar com periféricos, recebendo e enviando informações tanto de maneira analógica quanto de forma digital. O conjunto de instruções pode ser programado em linguagem C e C++, por meio do Software Arduino (IDE) e com comunicação USB com outros dispositivos (ARDUINO, 2019b).

Além disto, o Arduino possui várias famílias, que variam desde a quantidade de memória, a velocidade de processamento, o número de entradas e saídas, de portas PWM, a alimentação, dentre outros. São fabricados em diversos tamanhos, o que facilita seu uso em diferentes projetos e aplicações. A família Arduino é composta pela UNO, LEONARDO, 101, ESPLORA, MICRO e NANO. Na Figura 17, apresenta-se o modelo NANO, que tem como dimensões 18x45 mm, uma velocidade de processamento de 16 MHz e memória RAM de 2 Kb (ARDUINO, 2019a).

Figura 17 – Arduino Nano.



Fonte: Adaptado de Arduino (2019a).

A família Arduino apresenta diversas vantagens no seu uso, dentre elas se destaca o custo — são relativamente baratos —, além de possuir diversos módulos pré-montados com custos muito acessíveis, comunicação com os principais sistemas operacionais — Windows e Linux —, programação simples e clara, além de possuir o software aberto e extensível (ARDUINO, 2019b). Um dos módulos do Arduino é o *Driver* L298N, que opera

com tensões entre 4 e 35 V, podendo alimentar através de dois circuitos ponte H, dois motores simultaneamente.

2.4 Modelagem e Estruturas do Protótipo

O sistema inicialmente foi idealizado para que o dispositivo permitisse ao usuário trocar a lâmpada de forma eficiente e segura, além disso, pensou-se também nas estruturas para acomodação dos componentes eletroeletrônicos. Nas seções anteriores, foram apresentadas possíveis alternativas que possibilitariam segurar e realizar a troca e também cada um dos possíveis componentes eletroeletrônicos para executar as tarefas.

2.4.1 *Software* para a Modelagem 3D

Para a modelagem computacional do dispositivo, definiu-se a utilização do *software Autodesk® AutoCAD® LT 2019*, versão estudante. A escolha se deu devido à familiaridade com o *software* e por ser um dos mais utilizados para a elaboração de projetos para a impressão 3D, que utiliza arquivos no formato *.dwg*.

2.4.2 Estruturas Físicas

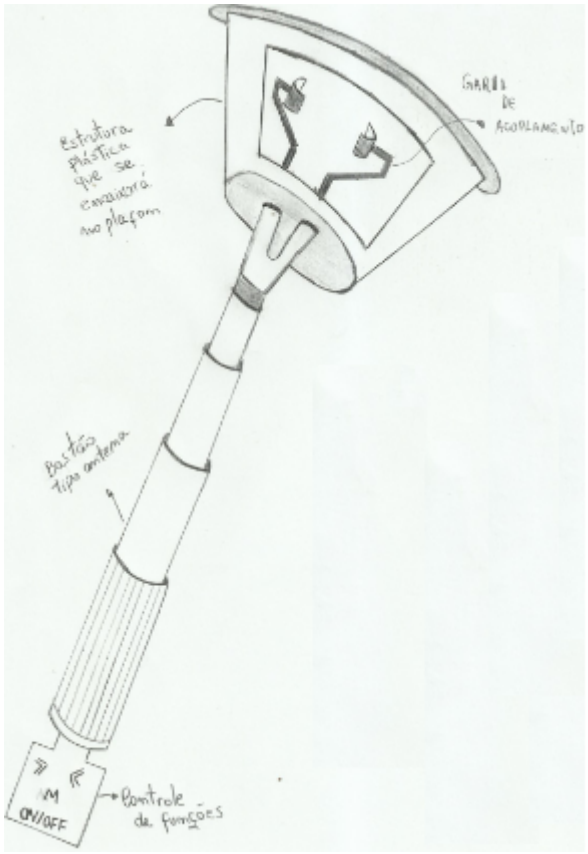
Inicialmente, idealizou-se um sistema que fosse capaz de comportar os circuitos e estruturas do sistema, conectando-se por meio de um bastão regulável os circuitos de acionamento na base, com a garra e o sistema enroscador. Desta forma, primeiramente, esboçou-se um modelo que poderia ser capaz de realizar as ações desejadas. Na Figura 18, apresenta-se o esboço inicial pensado para o trocador de lâmpadas.

2.4.3 Impressão 3D

Devido à engenharia construtiva do protótipo, buscou-se um método capaz de projetar as peças separadamente e, por meio de encaixe ou parafusamento, as peças fossem unidas de modo a realizar o trabalho desejado. Diante dessa condição, uma técnica que se mostrou atraente para uma futura construção física do protótipo é a impressão 3D, que é um processo em que um modelo tridimensional é desenhado em *software* e enviado para uma impressora realizar a confecção da peça. O processo de impressão 3D consiste no fatiamento do modelo computacional em camadas, e então um filamento termoplástico é aquecido e depositado em camadas formando assim a peça (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Uma das principais vantagens da impressão 3D é sua versatilidade, qualidade na impressão, a possibilidade de utilizar diferentes materiais e com características mecânicas e químicas muito diversificadas, ideais para os mais variados tipos de aplicação, seja no

Figura 18 – Primeiro esboço do protótipo.



Fonte: Do Autor.

campo industrial, médico, aeroespacial, dentre outros. Existem uma variedade de filamentos termoplásticos utilizados na impressão 3D, dentre eles se destacam o PLA, o ABS, o PET, o Nylon, o PC e os flexíveis (TPE, TPN e TPC) (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

O PLA (Ácido Polilático) é um poliéster alifático, semicristalino, biocompatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido lático obtido do amido de milho, cana-de-açúcar, amido de batata e mandioca. É o filamento mais utilizados na impressão 3D e tem como vantagem o fato de ser biodegradável e ser um material barato. Como pontos negativos, destaca-se o fato de ter uma rigidez média, uma baixa flexibilidade e baixa resistência a choques mecânicos (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Outro filamento muito utilizado é o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estiren), que tem propriedades mecânicas superiores ao PLA, além de ser durável, forte e considerado leve. Uma das suas desvantagens é o fato de ser derivado do petróleo, o que gera muitos impactos ambientais, mas o ABS é o termoplástico mais barato do mercado de filamentos para impressão 3D (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Ainda existem outros tipos de filamentos, como o Polietileno Tereftalato (PET), é o mesmo utilizado em garrafas plásticas, tem como características positivas o fato de ser um meio termo entre o PLA e o ABS, sendo mais durável e flexível que o PLA, e mais

fácil de imprimir do que o ABS. Além desse, ainda se encontra no mercado o Nylon, que é um polímero sintético. É utilizado em muitas aplicações industriais, além de ser um plástico de baixo custo, forte, leve e flexível em comparação com os demais filamentos (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

O PC (Policarbonato) também é um material termoplástico, é considerado o mais resistente no uso em impressão 3D. É utilizado em muitas aplicações industriais, pode trabalhar em altas temperaturas, é empregado em projetos luminotécnicos e em telas digitais. Por fim, existem os Flexíveis (TPE - Elastômero Termoplástico, TPU - Poliuretano Termoplástico e TPC - Copoliéster Termoplástico) que são constituídos de termoplásticos rígidos combinados com borracha, possuem um baixo custo, são resistentes a impactos, porém não suportam muito atrito (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.5 Considerações

Por meio dos elementos e técnicas apresentadas nas seções anteriores, é possível observar que existem diferentes meios para modelar e posteriormente construir as estruturas do sistema. Dessa forma, o capítulo se organiza a partir do elemento responsável por segurar a lâmpada, em seguida são apresentados os meios capazes de proporcionar os movimentos mecânicos fundamenteis tanto para abrir e fechar a garra, quanto para enroscar e desenroscar a lâmpada. Por sua vez, esses sistemas de atuação apresentam a necessidade de movimentos em sentidos opostos e, para atender essas demandas são apresentados estruturas eletroeletrônicas que possuem a capacidade de gerenciar e permitir a realização desses movimentos.

Além disso, o capítulo indica qual o *software* a ser empregado na modelagem das estruturas. E, apresenta um esboço inicial de como as estruturas físicas serão após os processos de modelagem, testes e construção do protótipo. Por fim, com o intuito de nortear a modelagem computacional é apresentada uma alternativa para a futura construção das peças, a impressão em três dimensões, algo essencial para que o processo de modelagem atenda os requisitos necessários para a futura impressão.

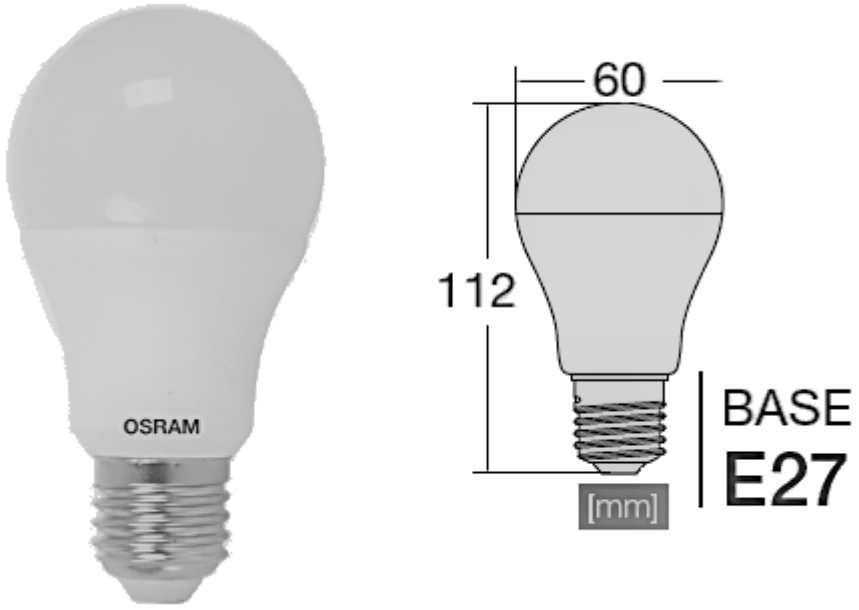
3 Definição e Construção dos Mecanismos de Teste para as Estruturas Adotadas

Para a construção do protótipo, faz-se necessário definir quais são os mecanismos, circuitos e componentes que possibilitam alcançar os objetivos propostos de maneira eficaz e segura. Baseando-se nas informações apresentadas no capítulo anterior, pode-se analisar quais são os melhores sistemas, alternativas e componentes que apresentam uma boa relação custo-benefício e eficiência na realização da troca de uma lâmpada.

3.1 Lâmpada a ser Utilizada no Protótipo

Para a realização da modelagem do protótipo foi definida uma lâmpada LED, fabricada por uma grande empresa do mercado brasileiro a OSRAM. O modelo escolhido foi a LED *Superstar Classic A* (OSRAM, 2015). A definição de um modelo específico de lâmpada, se dá pelo fato de existirem inúmeros modelos, tamanhos e marcas de lâmpadas LED. Desta forma, a tentativa de construção de um protótipo universal aumentaria a complexidade de todos os mecanismos do protótipo. Na Figura 19, apresenta-se o esquema da lâmpada LED adotada, bem como as dimensões físicas disponibilizadas pelo fabricante.

Figura 19 – Modelo e dimensões lâmpada LED Osram *Superstar Classic A*.



Fonte: Extraído e Modificado de Osram (2015).

3.2 Tipo de Garra Robótica Adotada

Conforme apresentado na Seção 2.1, as garras robóticas são equipamentos muito versáteis, possuindo uma vasta utilização em processos que exigem precisão e confiabilidade. Analisando as dimensões da lâmpada LED adotada como modelo, destacam-se dois tipos de garras que poderiam ser utilizadas para a construção do protótipo.

O primeiro modelo é a garra de dois dedos para objetos cilíndricos. Entretanto, devido à forma irregular do corpo da lâmpada, esse tipo de garra apresentaria dificuldades de implementação, pois a área de contato entre a garra e a lâmpada seria pequena. Além disso, a garra em questão tem a capacidade de transportar apenas 40% dos objetos por possuir apenas dois dedos (MATSOUKA, 1995).

O segundo modelo é a garra com três dedos, que também é indicado para segurar objetos cilíndricos e esféricos. Esse modelo é o mais indicado para aplicação desejada pois, além de possuir uma maior segurança e uma maior precisão no manuseio de objetos devido às características construtivas, também é capaz de transportar cerca de 90% dos objetos (MATSOUKA, 1995), o que futuramente pode ser interessante para manusear outros tipos de lâmpadas.

Com o tipo de garra definido, iniciou-se o projeto de desenvolvimento da garra. Esta etapa consistiu em definir a forma e características físicas da garra, além de determinar como o mecanismo seria acionado. Alguns pontos relevantes foram levantados para melhor compreensão de todo o dispositivo, analisando possíveis condições de operação, conforme listado abaixo.

- Posição da lâmpada: A boquilha sempre deverá estar voltada para cima, visto que esta é a parte que possui a rosca.
- Rotação: A lâmpada deve possuir uma boa área de contato com a garra, impedindo que a lâmpada gire livremente ou escape da garra.
- Massa da lâmpada: Como a massa da lâmpada escolhida é pequena (cerca de 50 gramas), a carga exigirá do sistema pouca potência.

A partir dos tópicos listados anteriormente, chegou-se à conclusão de que o melhor modelo para o dispositivo seria se os três dedos seguissem o formato do bulbo da lâmpada. Além disso, a garra deve acondicionar o bulbo da lâmpada na parte inferior do dispositivo, impedindo que o usuário coloque a lâmpada no dispositivo de maneira incorreta.

Outro ponto definido, nesta etapa, foi a configuração dos dedos da garra, um dos dedos será fixo, ou seja, não se movimentará. Este dedo terá como objetivo ajustar a posição que o usuário deve colocar a lâmpada, servindo de guia para que o produto seja acondicionado na posição correta. Um dos outros dois dedos será acoplado ao eixo de um motor de corrente contínua e, por meio de engrenagens, se conectará a outra garra, permitindo o movimento de abertura e fechamento.

Na Figura 20, apresenta-se um protótipo inicial da garra construído a partir de palitos de madeira, cola, engrenagens e parafusos. O modelo foi desenvolvido a partir das condições acima elucidadas, a fim de constatar a eficiência de uma garra construída de acordo com o especificado.

Figura 20 – Modelo preliminar da garra protótipo.

Fonte: Do Autor.

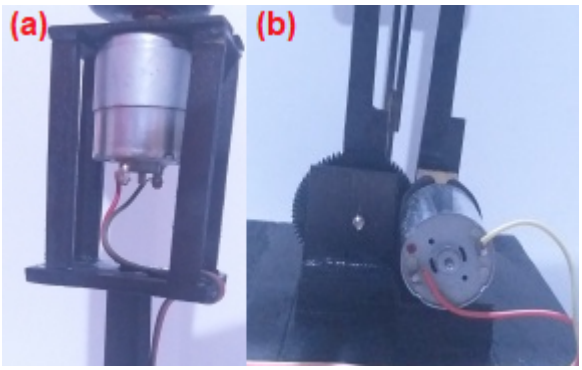
3.3 Atuadores

O protótipo possuirá dois atuadores, o primeiro deles é responsável pela abertura de fechamento da garra. O segundo é responsável pelo movimento de enroscar e desenroscar a lâmpada do plafon. O tipo de atuador utilizado, em ambos os casos, é eletromecânico, uma vez que ele é recomendado para processos que exigem precisão e alta repetibilidade.

Serão empregados dois motores de corrente contínua, que possuem vantagens como dimensões físicas pequenas, massa pequena e confiabilidade de operação. Outras características importantes são o fato de que motores CC possuem um baixo custo, são facilmente encontrados no mercado, não necessitam de manutenção e também são amplamente utilizados em diversos dispositivos eletroeletrônicos. Tendo assim uma ótima relação custo-benefício para aplicações de baixa potência, como neste caso.

Na Figura 21 (a), apresenta-se o motor que enroscará e desenroscará a lâmpada do plafon. Na Figura 21 (b), apresenta-se o motor que será utilizado para a abertura e fechamento da garra, além da estrutura de engrenagens que permite a realização do movimento.

Figura 21 – (a) Motor do circuito enroscador. (b) Motor do circuito da garra.



Fonte: Do Autor.

Também desenvolveu-se um dispositivo para encaixar a lâmpada, que é acoplada ao eixo do motor do sistema de rosquear. Como é possível observar na Figura 22, a estrutura tem o diâmetro pouco maior do que o da lâmpada, o que permite o encaixe. Foram utilizados palitos de madeira, cola, parafusos e parte de um recipiente plástico, para realizar testes e comprovar a eficácia do atuador empregado. Nesta etapa do projeto, optou-se pela montagem da garra e do rosqueador em estruturas separadas para a melhor compreensão da dinâmica de cada um dos sistemas do dispositivo.

3.4 Circuito Acionador

A partir da definição dos atuadores, iniciou-se a definição dos circuitos e componentes para o devido acionamento dos motores, uma das características mais importantes é a necessidade de fazer o motor girar em dois sentidos (horário e anti-horário). Assim, levou-se em consideração fatores como a facilidade de encontrar as peças e componentes no mercado brasileiro e também o custo.

3.4.1 Microprocessador

Tanto a família PIC quanto a Arduino são capazes de realizar as atividades pretendidas, entretanto, a escolha baseou-se em critérios técnicos para determinar o dispositivo mais vantajoso para o projeto. Desta forma, optou-se pelo uso do Arduino Nano, pelo fato de o dispositivo vir totalmente preparado para uso e conexão com outros dispositivos, além de possuir uma gama de *drivers* que podem ser conectados a ele e o fato de suas dimensões serem bem reduzidas, o que reduzirá também o tamanho do dispositivo.

Figura 22 – Modelo do copo do rotacionador preliminar.

Fonte: Do Autor.

3.4.2 Ponte H

Para realizar o acionamento do circuito optou-se pelo uso de uma ponte H, que facilita o processo de inversão da polaridade de um motor CC. A definição pelo uso Arduino Nano, também se deu pelo fato de se encontrar o *driver* L298N da empresa STMicroeletronics que possuem duas pontes H, totalmente preparado para comunicação com o Arduino. Além da facilidade de compra no mercado, e também por ser um sistema embarcado que ocupa uma área pequena, facilitando a sua utilização.

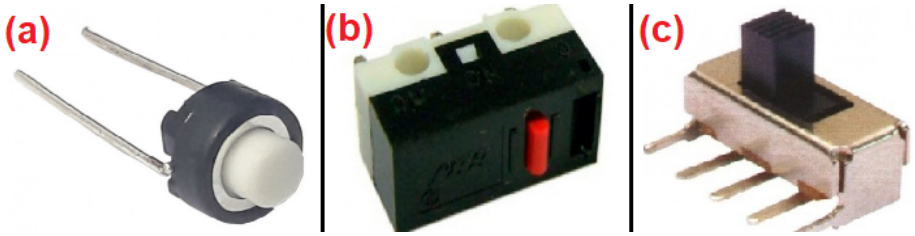
Caso fosse optado pelo uso do CI L298N, o fabricante do CI recomenda a utilização de capacitores acoplados nos sistemas de alimentação (Vs e Vss), resistores nos terminais de saída dos sensores de tensão (SENSE A e SENSE B), conforme apresentado na Figura 14, e também diodos conectados em ponte, conforme ilustrado na Figura 15. Todos os componentes passivos são facilmente encontrados no mercado, contudo o *Driver* L298N possui todos os componentes embarcados na própria placa, devido à essas vantagens, optou-se pelo emprego do *Driver* L298N.

3.4.3 Circuito de Acionamento e Controle

No circuito acionador, são utilizadas 3 chaves Táctil, sendo uma responsável pela abertura e fechamento da garra e outras duas para o movimento de enroscar e desenroscar a lâmpada. Além disto, será utilizado uma chave Micro *Switch* para atuar como chave de fim de curso, indicando que a garra está fechada ou aberta. E, por fim, será empregada uma chave SS, responsável pela alimentação geral do dispositivo. Na Figura 23, apresentam-se

os três modelos de chaves empregadas no protótipo.

Figura 23 – (a) Chave Táctil. (b) Chave Micro *Switch*. (c) Chave SS.

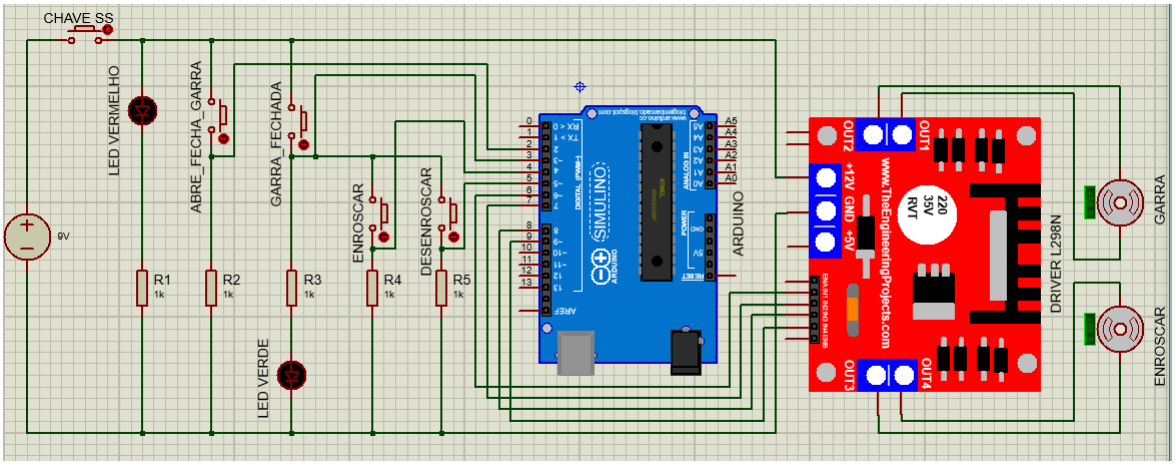


Fonte: Do Autor.

As chaves são conectadas nas entradas do Arduino que, por meio de um código executável, identifica qual é o objetivo do usuário. Para a identificação do status da garra (aberto ou fechado) será utilizado uma chave *Switch* com a posição em normalmente aberta, que será pressionada mecanicamente quando a garra fechar, habilitando as funções de enroscar e desenroscar. Desta forma, só quando a chave *Switch* estiver pressionada será possível ativar o circuito de enroscar e desenroscar.

Além disto, o Arduino será conectado ao *Driver* L298N, que por sua vez será conectado aos terminais do motor. Para facilitar a operação do dispositivo serão empregados dois Leds, um na cor vermelha, para indicar que o dispositivo está alimentado e outro na cor verde, para indicar que a garra está fechada e pronta para o acionamento do circuito rotacionador, além de resistores de 1k Ohms. Na Figura 24, apresenta-se o esquema do circuito projetado no *software* Proteus 8 Professional.

Figura 24 – Circuito projetado.



Fonte: Do Autor.

3.4.4 Código Implementado para Acionamento dos Motores

Partindo das concepções apresentadas anteriormente, desenvolveu-se um código lógico executável na linguagem C++ programado no *software* Arduino (IDE) de código aberto, ideal para comunicação via USB com o microprocessador utilizado, conforme apresentado no Apêndice A.

3.5 Estrutura de Conexão entre o Usuário e a Lâmpada

Para facilitar a troca da lâmpada será empregado no protótipo um bastão tipo antena (*pau de selfie*), esse dispositivo tem como finalidade original, auxiliar no registro em primeira pessoa de uma fotografia a partir de *smartphones*. A utilização do bastão será útil para regular a distância entre o usuário e a altura do local onde o plafon está instalado, além de também permitir guardar o dispositivo ocupando um menor espaço. Na Figura 25, apresenta-se a estrutura de um bastão tipo antena.

Figura 25 – Bastão tipo antena (*Pau de selfie*).

Fonte: Adaptado de TobComputers. (2018).

3.6 Preparação para a Modelagem 3D

Desta forma, ao definir cada um dos componentes e estruturas a serem utilizadas faz-se necessário levantar as dimensões dos elementos a serem empregados no dispositivo. De modo a possibilitar inicialmente a modelagem 3D computacional das peças, dando uma noção do tamanho final do equipamento.

3.6.1 Dimensões dos Componentes Eletroeletrônicos

Com o auxílio de um paquímetro, realizou-se a medida das dimensões dos principais componentes eletrônicos empregados no protótipo, o *Driver* L298N, o Arduino nano, a bateria, a chave táctil, a chave SS, a chave micro *Switch*, os leds e foram definidas as dimensões do circuito a ser construído para o acionamento do dispositivo.

Essas informações são necessárias para a modelagem, primeiramente em duas dimensões de cada uma das peças a serem empregadas no projeto e, posteriormente, na modelagem 3D. Na Tabela 1, apresentam-se as medidas dos principais elementos eletrônicos utilizados.

Tabela 1 – Medidas dos principais componentes eletrônicos empregados.

Componente	**Largura (mm)**	**Comprimento (mm)**	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**
***Driver* L298N**	44	47	26	-
Arduino Nano	60	21	3	-
Bateria	26	17	47	-
Chave Táctil	-	-	3	6
Chave SS	4	13	9,4	-
Chave Micro *Switch*	5,7	12,6	6,5	-
Led	-	-	-	3
Circuito	60	21	-	-

Fonte: Do autor.

3.6.2 Dimensões e Medidas das Demais Estruturas Empregadas

Também foi realizada a medição das principais dimensões da lâmpada modelo, dos dois motores empregados, do plafon modelo e do bastão tipo antena. Essas dimensões permitiram desenvolver as bases para as estruturas a serem empregadas no projeto. Na Tabela 2, apresentam-se as medidas da lâmpada.

Tabela 2 – Principais medidas da lâmpada modelo.

Parte da estrutura	**Largura (mm)**	**Comprimento (mm)**	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**
Dimensão Máxima	-	-	112	60
Rosca	27	-	27	27
Estrutura central	36	22,5	43	-
Bulbo	60	-	42	60

Fonte: Do autor.

Na Tabela 3, apresentam-se as principais medidas dos dois motores empregados no projeto. Enquanto que na Tabela 4, exibem-se as principais medidas do plafon modelo

usado nos testes. Por fim, na Tabela 5, mostram-se as principais medidas do bastão tipo antena empregado no projeto.

Tabela 3 – Principais medidas dos motores.

Parte da estrutura	**Rosqueador (mm)**	**Garra (mm)**
Tamanho Máxima	32	31
Largura Máxima	28	24
Diâmetro eixo	1	1
Diâmetro dos parafusos	1	1

Fonte: Do autor.

Tabela 4 – Principais medidas do plafon modelo.

Parte da estrutura	**Largura (mm)**	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**
Dimensão Máxima	-	5	142,5
Rosca interna	27	27	27
Rosca externa	52	38	52
Borda superior	-	1	142,5

Fonte: Do autor.

Tabela 5 – Principais medidas do bastão tipo antena.

Parte da estrutura	**Largura (mm)**	**Comprimento (mm)**	**Altura (mm)**	**Diâmetro (mm)**
Dimensão aberto	17	-	100	17
Dimensão recolhido	17	-	25	17
Dimensão interna	15	-	-	15
Estrutura de encaixe	15	13	15	3

Fonte: Do autor.

4 Resultados

Os resultados foram divididos em quatro partes. Na primeira parte, é apresentada a simulação feita no *software* Proteus Professional 8, certificando que o circuito projetado atende aos requisitos do projeto. Na segunda parte, são apresentados os resultados obtidos com testes aplicados nas estruturas preliminares, identificando possíveis melhorias no funcionamento do dispositivo. Na terceira parte, apresentada-se a modelagem em 2 dimensões de cada uma das peças a serem empregadas no protótipo e, na quarta parte, o passo a passo da modelagem 3D.

4.1 Simulação Computacional

O circuito foi projeto de modo a realizar as funções necessárias para a troca da lâmpada. Assim, elaborou-se o *layout* do circuito em ambiente simulacional testando seu funcionamento, bem como definiram-se as lógicas que permitirão maior segurança na operação do dispositivo. Na Figura 24, apresentou-se o circuito implementado, indicando as ligações necessárias para o funcionamento do sistema.

Como é possível observar na Figura 24, o dispositivo possui uma chave SS que ao ser colocada na posição ligado, um Led vermelho acende indicando que o dispositivo está alimentado e pronto para a receber os comandos do usuário. Além disso, o circuito para enroscar ou desenroscar a lâmpada só pode ser acionado quando a chave fim de curso (GARRA_FECHADA) estiver acionada. Essa configuração foi adotada para aumentar a segurança do dispositivo, impedindo o acionamento dos dois motores simultaneamente.

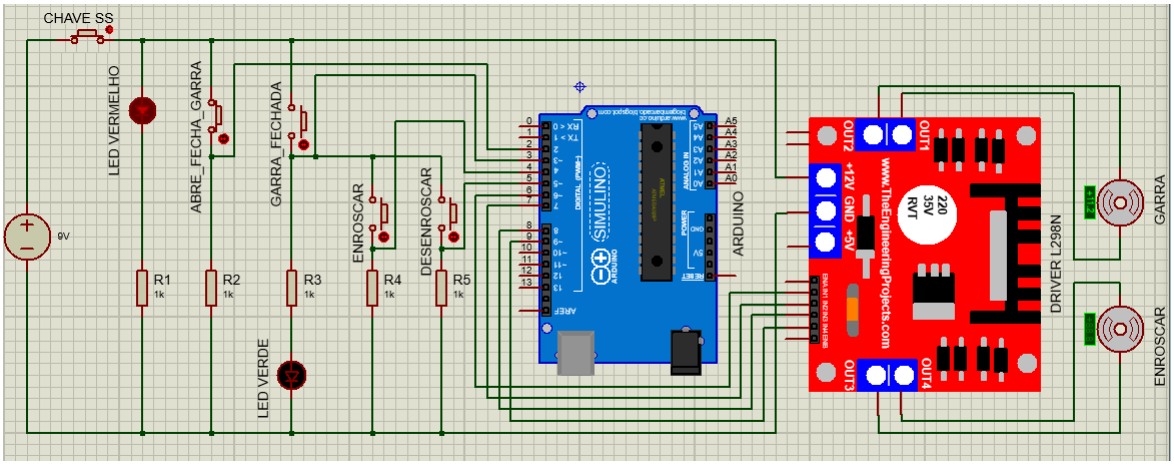
O sistema foi idealizado tendo como posição inicial de trabalho a garra do dispositivo aberta, ou seja, a primeira ação é sempre fechar a garra para segurar a lâmpada, seja ela instalada no plafon ou na mão do usuário. Desta forma, os testes simulacionais foram realizados de modo a seguir os seguintes passos, fecha a garra, desenrosca a lâmpada, abre a garra, coloca a nova lâmpada e fecha a garra, enrosca, abre a garra.

Na Figura 26, apresenta-se a configuração de fechamento da garra. Como é possível observar a chave SS está fechada e o Led vermelho acesso, indicando que o sistema está alimentado. Quando o usuário envia um pulso ou mantém a chave táctil ABRE_FECHA_GARRA pressionada, o nível de tensão no terminal 2 do Arduino passa a ser diferente de zero, com isso o microprocessador, por meio de seu programa executável, analisa se o sensor fim de curso (GARRA_FECHADA) tem nível lógico alto ou baixo.

Como a chave GARRA_FECHADA, na Figura 26, está na posição aberta, o pino 6 do Arduino recebe um sinal alto, enquanto o 7 permanece em nível baixo, com isto a entrada IN1 do *Driver* L298N recebe um valor alto e a IN2 um valor baixo. Assim, a saída

OUT1 recebe um sinal alto e a OUT2 um valor baixo, alimentando o motor de modo a girar no sentido horário, fechando a garra.

Figura 26 – Comando fecha garra.



Fonte: Do Autor.

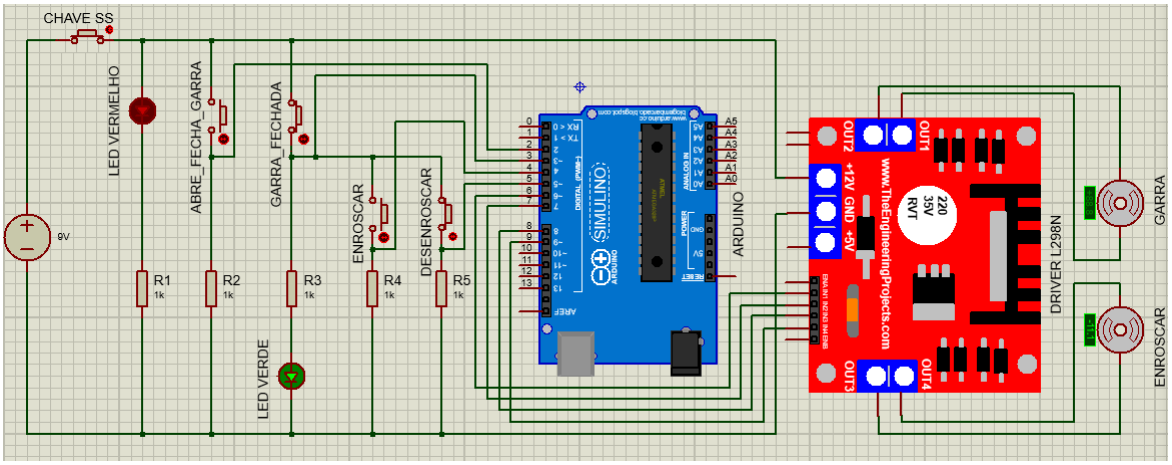
Quando a garra fecha, a chave GARRA_FECHADA passa a ter nível lógico alto, desta forma, o pino 3 do Arduino passa a ter nível de tensão diferente de zero. Com isto, o sistema fica habilitado para realizar a ação de enroscar ou desenroscar a lâmpada dependendo da ação desejada. É importante destacar que, mesmo que o usuário mantenha o botão ABRE_FECHA_GARRA pressionado, o código entenderá que foi uma única instrução, o que manterá a garra fechada.

Após a lâmpada estar presa entre os dedos das garras, o usuário poderá realizar a ação de desenroscar a lâmpada. Na Figura 27, a GARRA_FECHADA permite que o Led verde acenda. Essa ação sinaliza para o usuário que a lâmpada já pode ser desenroscada. Desta forma, ao pressionar DESENROSCAR um nível lógico de tensão alto chega ao pino 5 do Arduino, que processa a informação e avalia as condições de operação.

Se não houver informações conflitantes, como pressionar os botões de ENROSCAR e DESENROSCAR simultaneamente, um sinal lógico alto sai pela porta 8 do Arduino e um sinal baixo pela porta 9, chegando ao IN3 e IN4 do *Driver*, respectivamente. Com isto, a saída OUT4 é alimentada com um sinal alto, enquanto OUT3 é alimentada com um sinal baixo, polarizando os terminais do motor. Consequentemente, a máquina gira no sentido anti-horário desenroscando a lâmpada do plafon.

Após retirar a lâmpada, o botão ABRE_FECHA_GARRA pode ser pressionado novamente pelo usuário, com isto o Arduino comparará o estado atual da chave GARRA_FECHADA. Como o nível lógico estava alto, o microprocessador habilitará a saída 7 do Arduino com nível lógico alto e a saída 6 com nível baixo. Assim, IN2 terá nível lógico alto e IN1 nível lógico baixo, a saída OUT2 será alimentada e OUT1 ficará em nível baixo, por conseguinte, o motor girará no sentido anti-horário abrindo a garra. Na

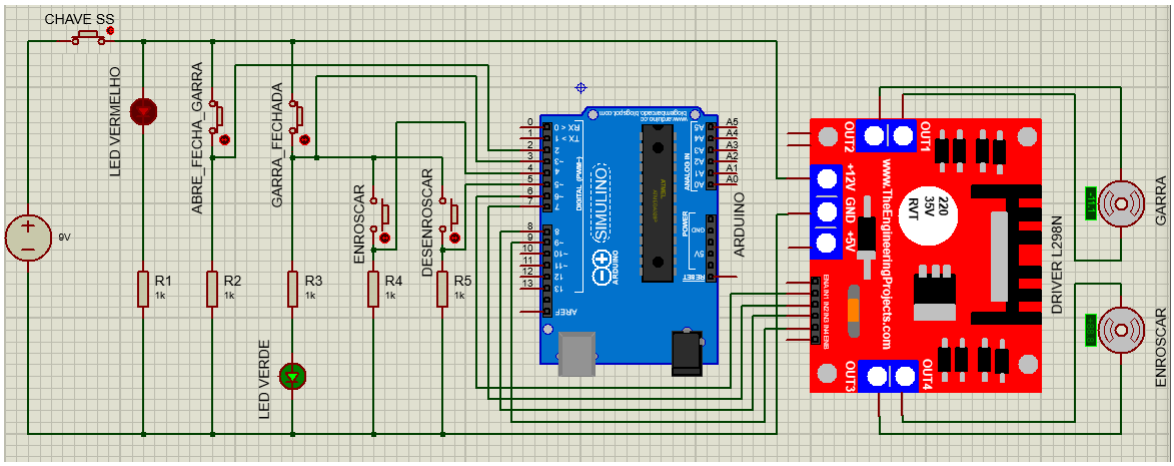
Figura 27 – Comando desenrosca lâmpada.



Fonte: Do Autor.

Figura 28, exibe-se o estado do sistema, quando o usuário pedir para abrir a garra.

Figura 28 – Comando abre garra.



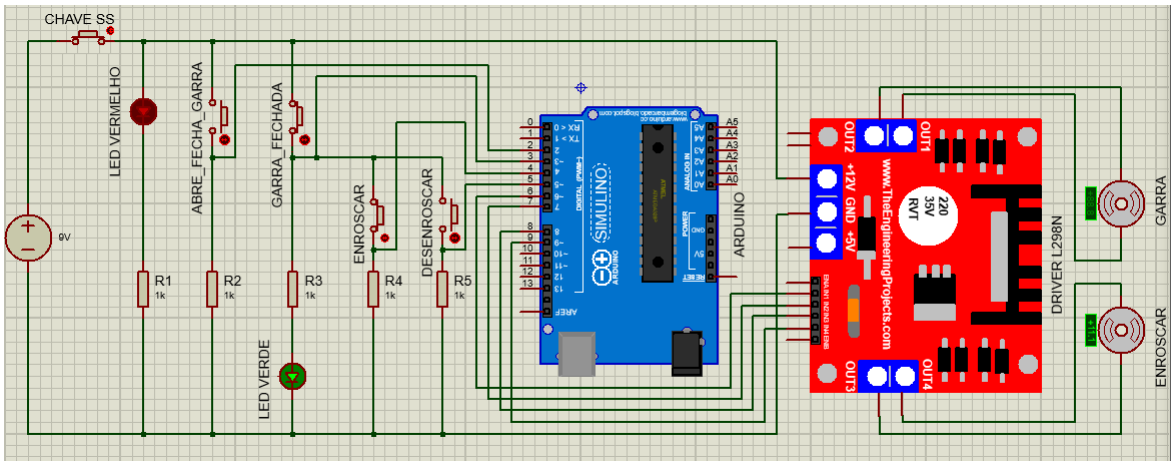
Fonte: Do Autor.

Assim que a garra for aberta, o status da chave fim de curso terá seu estado alterado. Para evitar que o sistema após a atualização entenda que a garra deve ser fechada novamente, foi inserida no código executável a função *millis* que retorna o número de milissegundos passados desde que o programa iniciou (ARDUINO, 2019b). Desta forma, um *Delay* é contado impedindo que a garra se feche novamente.

Assim que o usuário posicionar a lâmpada na posição correta, a garra pode ser fechada novamente, o funcionamento do circuito será idêntico ao apresentado na Figura 26. Com a garra fechada novamente, a lâmpada deverá ser posicionada próxima a rosca interna do plafon. Com a chave de fim de curso GARRA_FECHADA e o Led verde aceso, o usuário pode pressionar o botão ENROSCAR.

Com o botão ENROSCAR pressionado, o pino 4 do Arduino recebe nível lógico alto. Caso não ocorra instruções conflitantes, o pino 8 do Arduino tem um sinal lógico alto enquanto o pino 9 um nível lógico baixo. Assim, IN3 tem sinal alto e IN4 baixo, e isto faz com que OUT3 seja alimentado e OUT4 permaneça em baixo o que faz com que o motor gire no sentido horário, enroscando a lâmpada como indicado na Figura 29.

Figura 29 – Comando enrosca lâmpada.



Fonte: Do Autor.

Na Tabela 6, apresentam-se os status de cada uma das variáveis de entrada do sistema, nos processos descritos anteriormente, de fechamento da garra, de desenroscar a lâmpada, de abertura da garra e de enroscar a lâmpada.

Tabela 6 – Tabela-verdade com os status dos componentes de entrada do sistema.

Componente	**Fecha Garra**	**Desenrosca**	**Abre Garra**	**Enrosca**
Chave SS	1	1	1	1
Led Vermelho	1	1	1	1
Abre_Fecha_Garra	1	0	1	0
Garra_Fechada	0	1	1	1
Led Verde	0	1	1	1
Chave_Enroscar	0	0	0	1
Chave_Desenroscar	0	1	0	0

Fonte: Do autor.

Na Tabela 7, apresentam-se os status de cada uma das variáveis de processamento do sistema, ou seja, os status dos pinos usados como entrada (pinos 2 à 5) e os pinos usados como saída (pinos 6 à 9) do Arduino. Os níveis lógicos recebidos nos pinos de entrada são processados pelo código executável e, posteriormente, os pinos de saída são alimentados, e conectados nos pinos de entrada do *Driver*.

Tabela 7 – Tabela-verdade com os status das variáveis de processamento do sistema.

Pinos do Arduino	**Fecha Garra**	**Desenrosca**	**Abre Garra**	**Enrosca**
Pino 2	1	0	1	0
Pino 3	0	0	1	1
Pino 4	0	0	0	1
Pino 5	0	1	0	0
Pino 6	1	0	0	0
Pino 7	0	0	1	0
Pino 8	0	0	0	1
Pino 9	0	1	0	0

Fonte: Do autor.

Por fim, na Tabela 8, apresentam-se os status das variáveis de saída do sistema. Os pinos IN_1, IN_2, OUT_1 e OUT_2 são os responsáveis por realizar as ações de abertura e fechamento do motor da garra e os pinos IN_3, IN_4, OUT_3 e OUT_4 são responsáveis pelas ações do motor enroscador.

Tabela 8 – Tabela-verdade com os status das variáveis de saída do sistema.

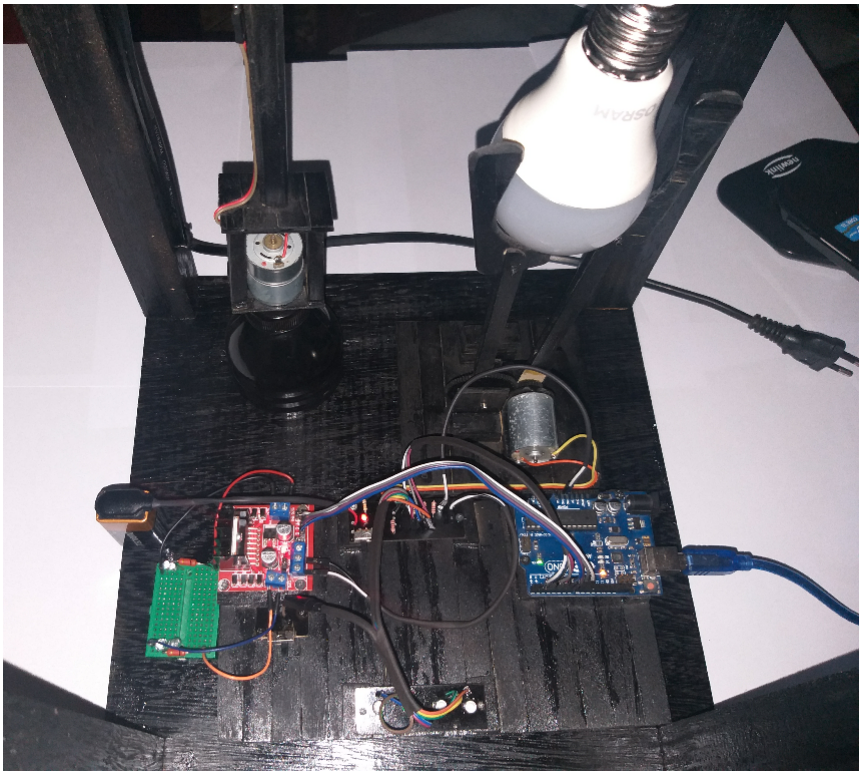
Pinos do *Driver*	**Fecha Garra**	**Desenrosca**	**Abre Garra**	**Enrosca**
IN_1	1	0	0	0
IN_2	0	0	1	0
OUT_1	1	0	0	0
OUT_2	0	0	1	0
IN_3	0	0	0	1
IN_4	0	1	0	0
OUT_3	0	0	0	1
OUT_4	0	1	0	0

Fonte: Do autor.

4.2 Testes na Estrutura Preliminar

Com o intuito de identificar possíveis melhorias para o protótipo final, realizaram-se três testes com o objetivo de avaliar o acionamento da garra, o processo de troca da lâmpada e o acionamento múltiplo de funções. A Figura 30, apresenta as estruturas e circuitos projetados para realizar os testes, e também, analisar o código executável com o objetivo de constatar sua funcionalidade para a operação segura do dispositivo. Desta forma, os testes de acionamento da garra — abertura e fechamento —, enroscar e desenroscar foram realizados 50 vezes cada um, e três testes de acionamento múltiplo.

Figura 30 – Estruturas e circuitos empregados nos testes.



Fonte: Do Autor.

4.2.1 Teste de Acionamento da Garra

O teste de acionamento da garra foi eficiente em 44 das 50 vezes que foi realizado, tendo uma taxa de sucesso de 88%. As seis vezes em que o teste falhou foram após a quadragésima tentativa, isto ocorreu após a necessidade de apertar o parafuso que fixa uma das engrenagens. Em todos os seis casos, o motor não teve força suficiente para vencer a inércia e a resistência mecânica gerada pelo aperto do parafuso. Na Figura 31, mostra-se a estrutura com a garra fechada segurando a lâmpada.

Como a estrutura foi construída com palitos de madeira, a resistência ao atrito entre as partes fixas e móveis é baixa, o que levou a um relaxamento da estrutura, fazendo com que a garra se abrisse após o fechamento e a lâmpada se soltasse do dispositivo. Apesar disso, o resultado do teste foi muito satisfatório, visto que o objetivo do teste era determinar se as três garras seriam suficientes para segurar a lâmpada e também foi possível avaliar a importância da garra fixa para guiar o usuário no posicionamento correto da lâmpada.

4.2.2 Teste de Enroscar e Desenroscar

O teste de enroscar a lâmpada no suporte do plafon foi eficiente em 42 das 50 vezes testadas, tendo uma taxa de sucesso de 84%. As 8 falhas ocorreram devido à lâmpada

Figura 31 – Teste de abertura da garra.

Fonte: Do Autor.

ter entrado na rosca de forma enjambrada — em 5 casos — ou então a lâmpada não acendeu — em 3 casos. Já os testes de desenroscar foram eficientes em 39 das 50 tentativas, resultando em 78% de sucesso. Todas as 11 falhas ocorrem devido ao motor não conseguir partir para realizar o desaperto da lâmpada. Na Figura 32, exibe-se um teste enroscando a lâmpada ao plafon.

Figura 32 – Teste de enroscar e desenroscar a lâmpada.

Fonte: Do Autor.

Contudo, em todas as tentativas de desenroscar que falharam ao girar levemente o dispositivo no sentido anti-horário, o aperto diminuiu e a lâmpada pode ser desenroscada pelo motor. Desta forma, mesmo que a lâmpada esteja muito apertada, o sistema pode ser capaz de girar a lâmpada para diminuir o aperto e, em seguida, o motor pode realizar o trabalho.

4.2.3 Teste de Acionamento Múltiplo

Foram realizados três testes de acionamento múltiplo, com o intuito de certificar o funcionamento seguro do protótipo. O primeiro teste realizado foi para certificar que o motor responsável por enroscar e desenroscar a lâmpada não acionasse com a garra aberta, e esse teste foi eficaz. Visto que a proteção do circuito é realizada eletricamente e não no código executável do Arduino.

O segundo teste realizado foi para certificar que, caso o usuário abra a garra com o motor rosqueador em movimento, a alimentação do motor rosqueador é cortada. Como no teste anterior, o teste também foi eficaz. Obviamente, neste caso, a lâmpada pode cair, por isto é necessário que exista uma estrutura externa que impeça que a lâmpada caia sobre o usuário.

O terceiro teste foi realizado com a garra fechada para analisar o funcionamento do circuito do motor rotacionador. O teste objetivou certificar que o motor gire no sentido correto e também para garantir que, ao pressionar o sentido horário e anti-horário ao mesmo tempo, o motor mantenha-se parado. Assim, como ocorreu anteriormente, o teste também se mostrou eficiente, portanto, o motor não correrá o risco de entrar em curto-circuito, caso a alimentação se alterne rapidamente em seus terminais.

4.3 Modelagem das Peças

Com a realização dos testes na estrutura preliminar e com as observações coletadas, iniciou-se a modelagem computacional das peças, tendo como parâmetro as medidas dos principais componentes e elementos a serem utilizados na construção do protótipo. Desta forma, a modelagem foi dividida em duas etapas, a primeira, em duas dimensões, e a segunda, em três dimensões.

A modelagem em duas dimensões consiste no desenho de diferentes vistas de uma peça (ABNT, 1993), ela deve ser representada em quantas seções forem necessárias para o total detalhamento de suas características. Comumente, as peças são apresentadas em três vistas, entretanto, dependendo da complexidade ou formato o número pode variar, de modo a facilitar o processo de modelagem 3D computacional, ou de usinagem, ou fundição da peça a ser desenvolvida. Optou-se neste estudo, representar as vistas das peças no 3º diedro conforme a Norma Técnica NBR nº 10067/1993 (ABNT, 1993).

A modelagem em três dimensões computacional é realizada através da extrusão, união, intercessão, diferença das vistas em duas dimensões de uma peça. Criando assim, um sólido que representa como a estrutura será após a construção física. Além disso, a modelagem 3D permite determinar outras características que o produto final terá como, por exemplo, a massa da peça após o processo de construção.

4.3.1 Modelagem 2D

De modo a facilitar a modelagem e construção do protótipo, a estrutura foi divida em 7 partes distintas, sendo elas: (p1) a caixa de comando e circuitos, (p2) a base externa inferior, (p3) o suporte para o motor rosqueador, (p4) base de suporte do motor da garra, (p5) a base da garra fixa, (p6) as garras móveis e (p7) a base externa superior. Como o bastão tipo antena a ser utilizado é uma estrutura previamente fabricada, não realizou-se a sua modelagem.

4.3.1.1 Caixa de Comando e Circuitos

A caixa de comando e circuitos (p1) é a estrutura para o armazenamento dos componentes eletrônicos responsáveis pela alimentação, sinalização, processamento e ativação dos motores. A peça é composta por duas partes distintas unidas por meio de três parafusos de 4 mm de diâmetro. Na Figura 33, apresentam-se as vistas superior e frontal da caixa de comandos (a), e também as seções superior, frontal (b) e posterior da caixa de circuitos (c).

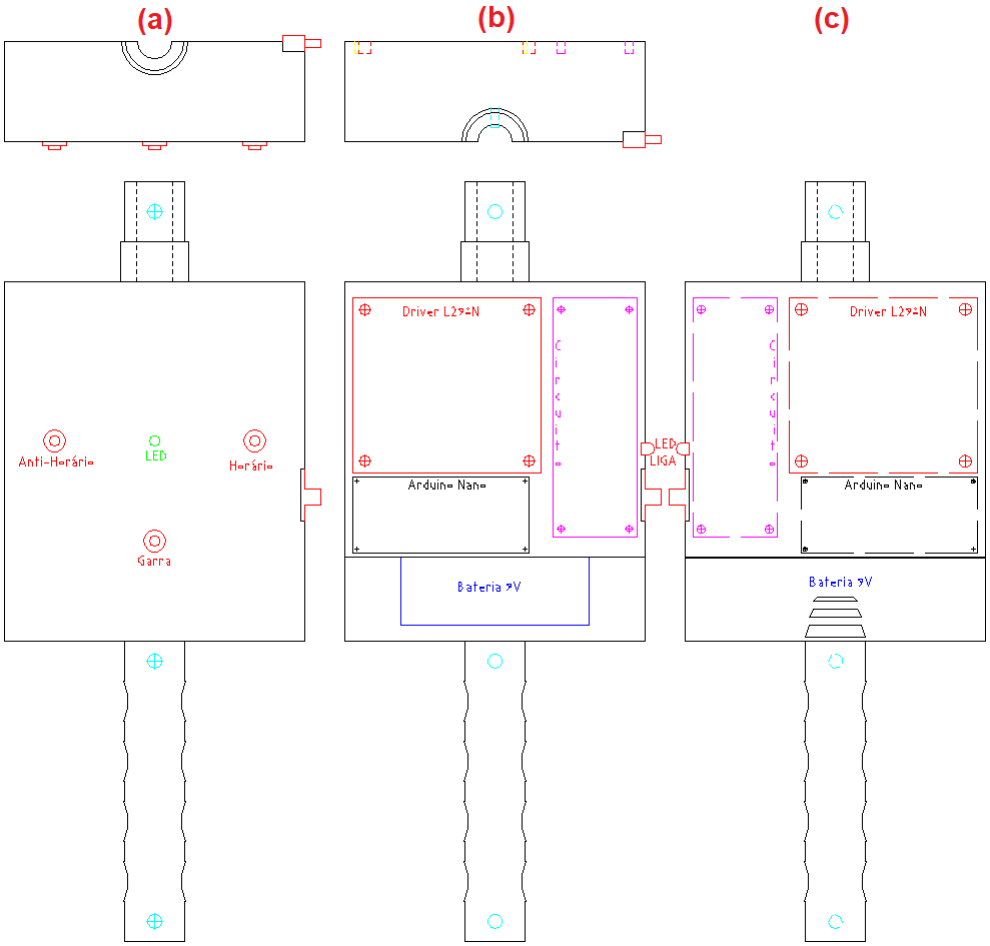
A caixa de comandos é uma estrutura que possui quatro furos na parte frontal, sendo três com 6 mm e um com 3 mm de diâmetro. As chaves táctil responsáveis pela ativação dos motores são encaixadas nos furos maiores, enquanto o furo central de 3 mm de diâmetro é o local para o encaixe do Led na cor verde, responsável pela sinalização visual de que a garra está fechada e o usuário pode ativar o motor responsável por enroscar e desenroscar a lâmpada.

A caixa de circuitos é a estrutura para a acomodação dos circuitos do protótipo. Como pode ser observado na Figura 33 (b), o *Driver* L298N está posicionado na parte esquerda superior, o Arduino Nano na parte esquerda central, enquanto que o circuito de conexão está posicionado no lado direito e a bateria na parte inferior do dispositivo. Além disso, a peça possui um furo na parte lateral direita com 3 mm de diâmetro, local onde será acondicionado o Led na cor vermelha que indicará se o dispositivo está ligado e uma tampa traseira para acesso à bateria.

Ambas as peças compartilham de estruturas semelhantes, como por exemplo, a parte lateral direita das peças possuem um entalhe de 13 x 2,5 mm para o encaixe da chave SS, responsável por ligar e desligar o equipamento. A parte superior e inferior das peças são compostas por semi-cilindros que são presos por três parafusos. A parte superior será conectada na base do bastão tipo antena, enquanto a base inferior servirá para que o usuário segure e manipule o equipamento de maneira segura.

A base inferior foi projetada de modo que os dedos da mão fiquem acomodados nos 4 entalhes da peça, aumentando o contato e a aderência entre a mão e a peça, a qual possui 75 mm de altura e 15 mm de diâmetro. Ao todo, a peça possui 190 mm de altura por 75 mm de largura. A caixa de circuitos possui uma área útil de 6750 milímetros quadrados.

Figura 33 – (a) Vista superior e frontal da caixa de comandos. (b) Vista superior e frontal da caixa de circuitos. (c) Vista posterior da caixa de circuitos.



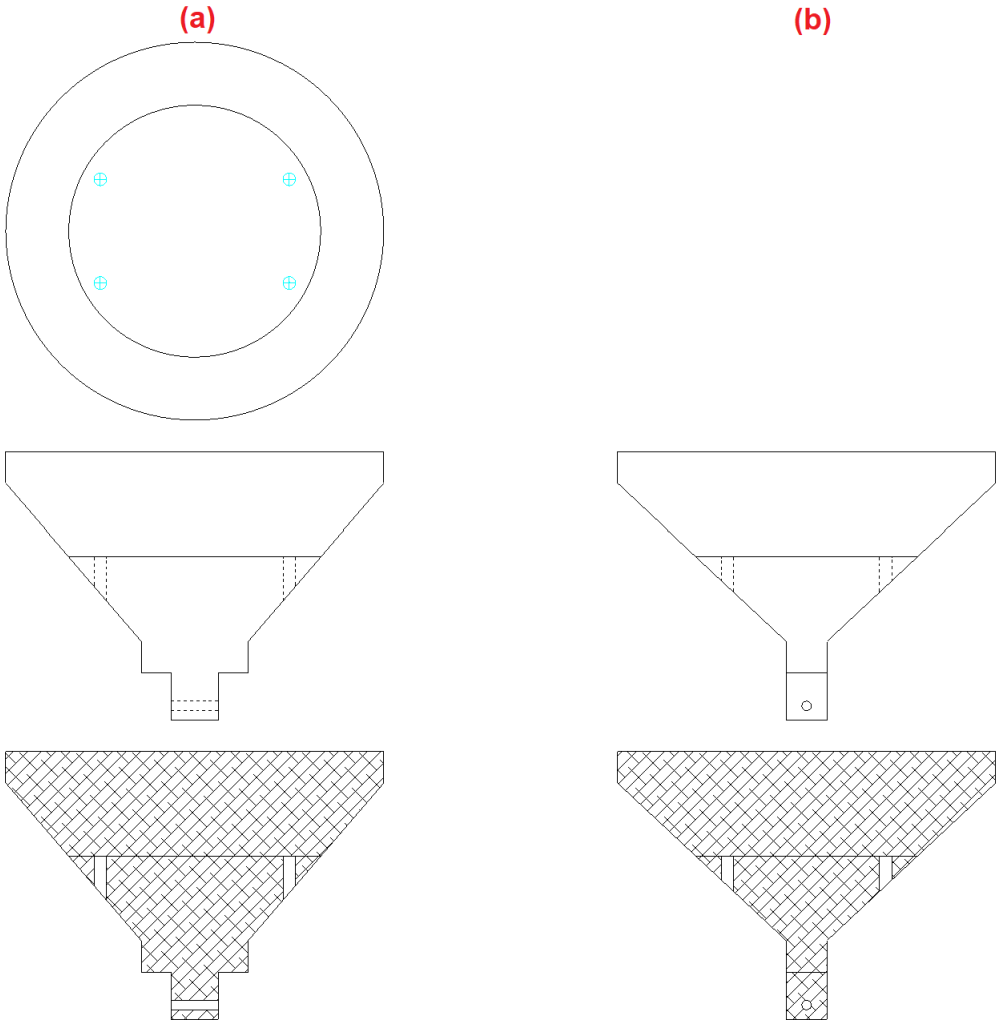
Fonte: Do Autor.

4.3.1.2 Base Externa Inferior

A base externa inferior (p2) é composta por uma única peça, que por meio de um parafuso é presa à estrutura superior do bastão tipo antena, enquanto sua borda superior é encaixada na base externa superior (p7). Além disso, a peça possui um disco em seu centro com 80 mm de diâmetro, onde possui quatro furos passantes de 4 mm de diâmetro para fixar o suporte para o motor rosqueador (p3).

Na Figura 34, apresentam-se as vistas superior, frontal (a) e lateral direita (b) da base externa inferior (p2). Além disto, exibem-se também a vista frontal e lateral direita em corte da peça com as extensões dos furos para passagem dos parafusos de fixação. A parte superior da peça possui o formato circular com um diâmetro de 120 mm e 10 mm de altura. Essa parte foi desenvolvida com este formato para facilitar o encaixe da peça na base externa superior (p7), o que elimina a necessidade de parafusos para conectar uma peça a outra.

Figura 34 – (a) Vista superior, frontal e frontal em corte base inferior. (b) Vista lateral esquerda e esquerda em corte da base inferior.



Fonte: Do Autor.

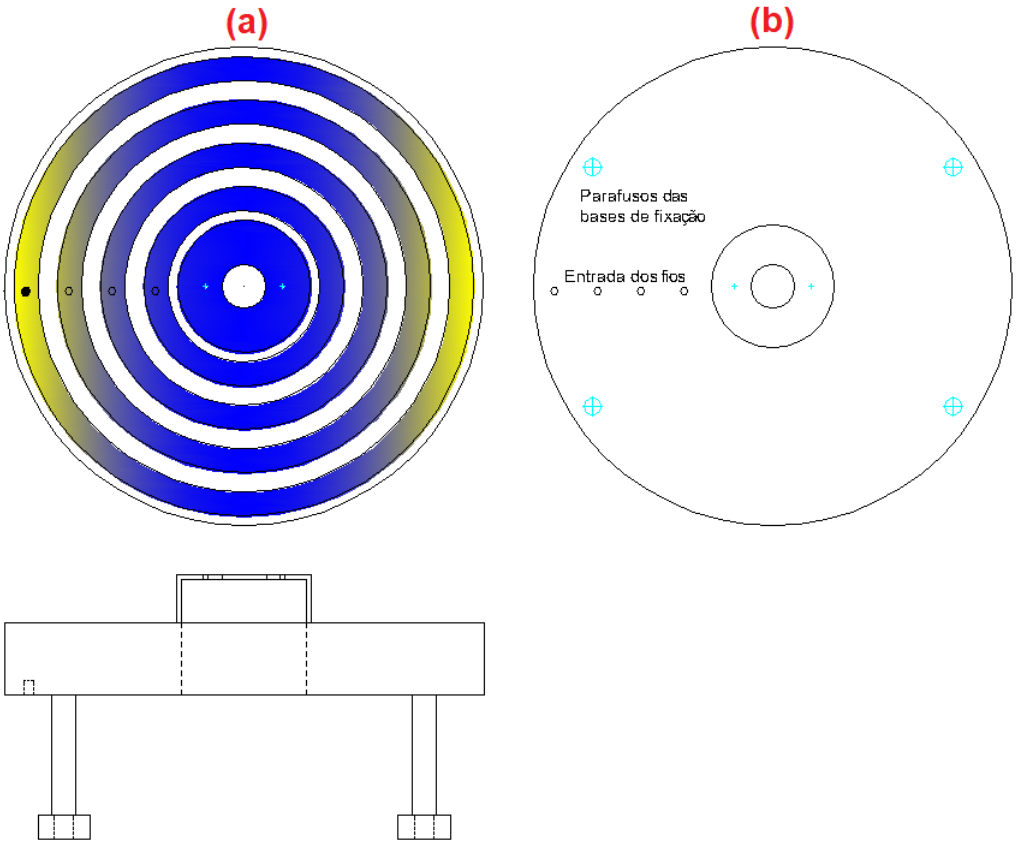
4.3.1.3 Suporte para o Motor Rosqueador

O suporte para o motor rosqueador (p3) foi projetado com dois objetivos distintos. O primeiro deles é fixar o motor responsável por enroscar e desenroscar a lâmpada, e o segundo é ser um dispositivo que permita a transferência de energia elétrica entre as partes fixas do protótipo e as partes conectadas ao eixo do motor rosqueador. Além disso, a peça possui quatro pés que fixam a estrutura à base externa inferior (p2).

Na Figura 35, mostram-se as três principais vistas da peça. A vista superior (a) é composta por pistas que possuem 12 mm de profundidade e 3 mm de espessura até a base da peça, enquanto as demais partes em branco possuem 15 mm de altura, exceto os dois círculos centrais que são vazados para encaixe do motor. Nas partes mais fundas serão colocadas fitas metálicas de cobre, lubrificadas com graxa condutora para permitir a condução elétrica da parte fixa do protótipo para as partes móveis.

A peça ainda possui quatro furos centrados em cada uma das pistas, para que os cabos vindos da caixa de comando e circuitos possam ser soldados na parte inferior das fitas metálicas. A parte central da peça possui uma estrutura com 10 mm de altura por 28 mm de largura, além de um furo central de 9,2 mm de diâmetro, onde o motor rosqueador é encaixado. E, a uma distância de 2,9 mm da borda do furo central, se encontram dois furos de 1 mm de diâmetro para passar os parafusos que manterão o motor rosqueador na posição correta.

Figura 35 – (a) Vista superior e frontal do suporte para o motor rosqueador. (b) Vista inferior do suporte para o motor rosqueador.



Fonte: Do Autor.

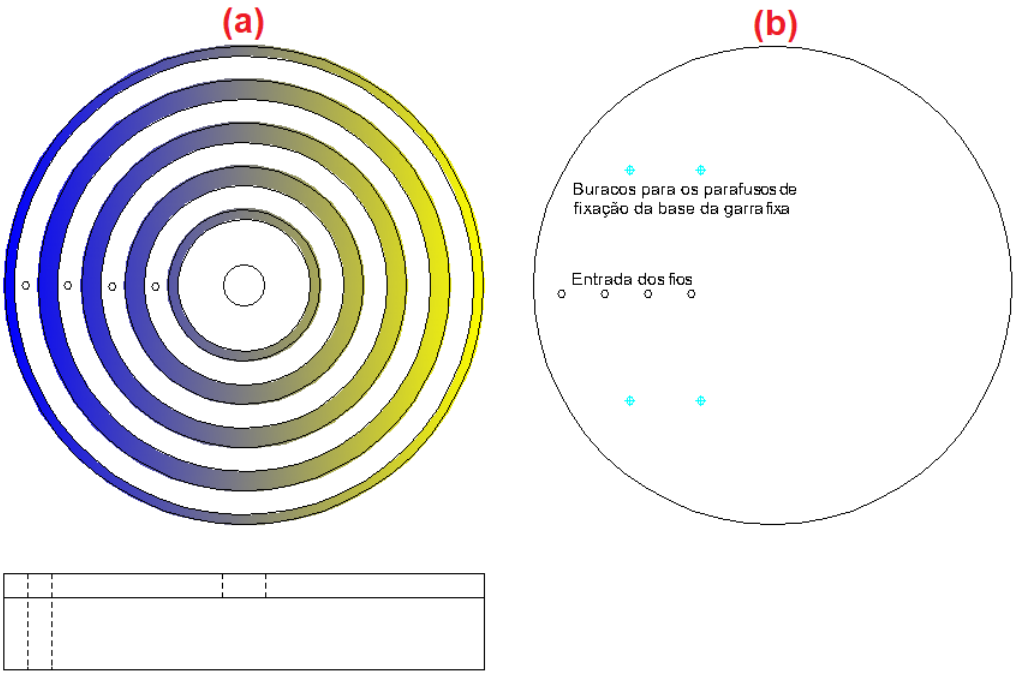
4.3.1.4 Base de Suporte do Motor da Garra

A base de suporte do motor da garra (p4) foi projetada para se encaixar perfeitamente com suporte para o motor rosqueador (p3). De maneira similar a peça apresentada anteriormente, o suporte do motor da garra (p4), também possui quatro pistas 15 mm de altura (partes em branco). Enquanto as partes coloridas possuem 5 mm de altura até o início da peça. Contudo, as fitas metálicas condutoras não serão coladas no fundo das pistas como no caso anterior, mas sim, na parte superior, de modo a permitir a condução elétrica entre as duas peças.

Na Figura 36, são apresentadas as vistas inferior, frontal e superior da estrutura. O disco central na vista superior da peça não é vazado, ele possui 3 mm de profundidade e serve para encaixe da parte plástica do eixo do motor enroscador com a base da peça. Como na peça anterior, há buracos para os fios atravessarem a peça e serão soldados à fita condutora de cobre.

Além disso, a peça possui quatro furos com 4 mm de profundidade, que servirão para fixar a base da garra fixa (p5) que será abordada a seguir. Inicialmente a base de suporte do motor da garra (p4) e a base da garra fixa (p5) seriam concebidas em uma única peça, mas, nessa etapa de modelagem, identificou-se que a colocação dos fios, da chave Micro *Switch* e das garras móveis seriam mais difíceis, assim, optou-se pela construção de duas peças separadas.

Figura 36 – (a) Vista inferior e frontal do suporte para o motor rosqueador. (b) Vista superior do suporte para o motor rosqueador.



Fonte: Do Autor.

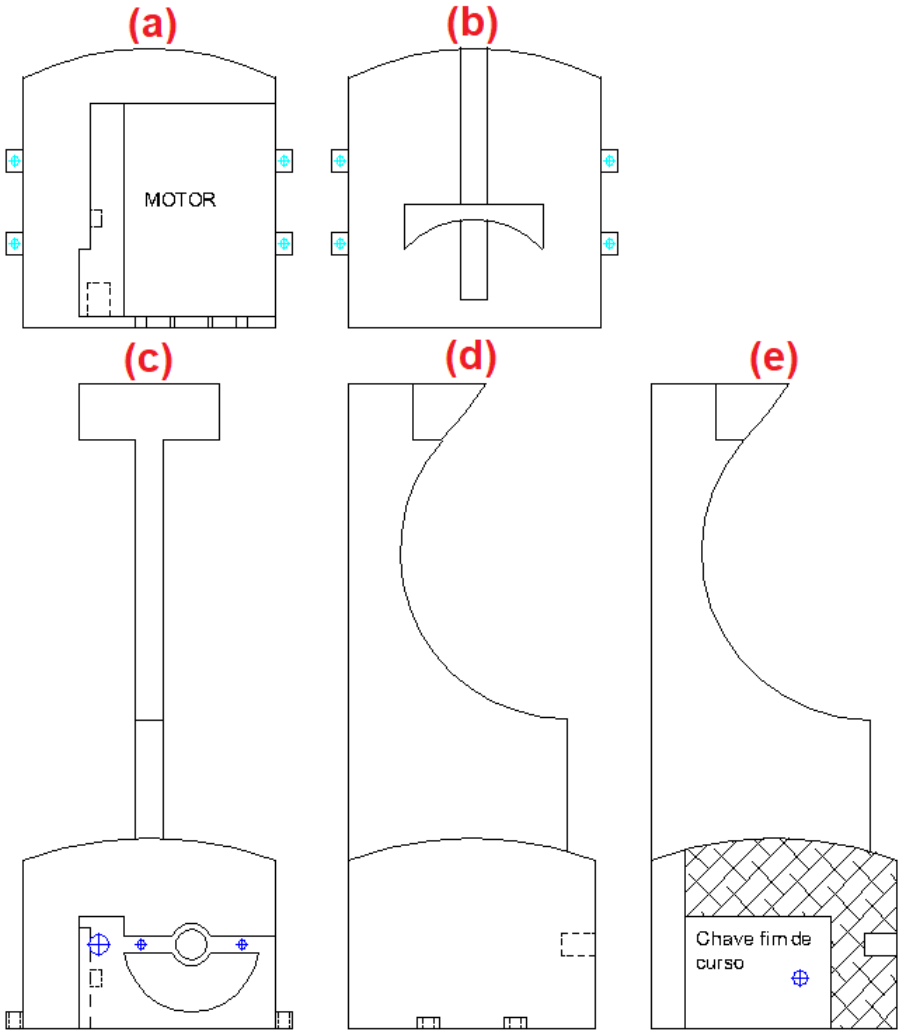
4.3.1.5 Base da Garra Fixa

Como apresentado anteriormente, a base da garra fixa (p5) será presa por 4 parafusos à base da garra fixa (p4). Essa peça tem algumas funções importantes para permitir o funcionamento e operação correta de todo o sistema. Sendo elas, servir de guia para o posicionamento correto da lâmpada, acomodar o motor responsável por abir e fechar as garras, prender o pino de fixação da garra móvel da esquerda, acomodar a chave Micro *Switch* e responsável por identificar qual é a posição das garras.

Na Figura 37, mostram-se os principais detalhes da peça, a vista superior em corte (a), a visa superior completa (b), a vista frontal (c), a vista lateral direita (d) e a vista lateral direita em corte (e). As dimensões principais da peça são 115 mm de altura, por 51 mm de largura (considerando os pontos de parafusamento), a garra tem 81 mm de altura, 5 mm de largura na parte mais estreita, 25 mm na parte mais larga.

A base de fixação do motor tem um formato cilíndrico com diâmetro de 24,1 mm, apenas 1 mm a mais que o motor e 31 mm de comprimento. E, o motor será encaixado na estrutura e parafusado. A estrutura permitirá que a garra seja acoplada ao motor, ficando alinhada e ortogonal à estrutura, a uma distância de 2 mm. A garra móvel será encaixada por meio de um pino com 4 mm de diâmetro, que estará a 16,5 mm de distância do centro do furo onde será encaixado o motor.

Figura 37 – (a) Vista superior em corte. (b) Vista superior completa. (c) Vista frontal. (d) Vista lateral direita. (e) Vista lateral direita em corte da base da garra fixa.



Fonte: Do Autor.

A chave Micro *Switch* será encaixada e parafusada em um ponto projetado especi-

almente para seu encaixe, a garra móvel foi desenvolvida de modo que uma haste pressione a chave, por isto ela foi posicionada neste ponto. A garra fixa tem o mesmo formato da lâmpada, a modelagem da garra foi feita por meio da medição de pontos específicos na lâmpada modelo, de modo a construir uma estrutura com o mesmo formato.

Desta forma, a garra tem 60 mm de superfície de contado com a lâmpada desde a sua base, pouco mais da metade do comprimento da lâmpada. Além disso, o topo da garra tem um arco com 17,5 mm de raio por 10 mm de altura, o que aumenta consideravelmente a área de contado com a lâmpada. Como as três garras tem o mesmo formato, a lâmpada fica bem presa, o que aumenta a segurança do dispositivo.

4.3.1.6 Garras Móveis

As garras móveis (p6) foram projetadas para fecharem em harmonia e segurar a lâmpada. As duas garras trabalham em conjunto se abrindo ou fechando dependendo das condições de operação do dispositivo. A parte superior da garra possui as mesmas dimensões e formato da garra fixa, a diferença se dá na base da peças, enquanto a garra fixa é conectada a estrutura que acomoda o motor e a chave fim de curso, as garras móveis possuem na base engrenagens que, ao serem encaixadas, realizam o movimento de abertura e fechamento.

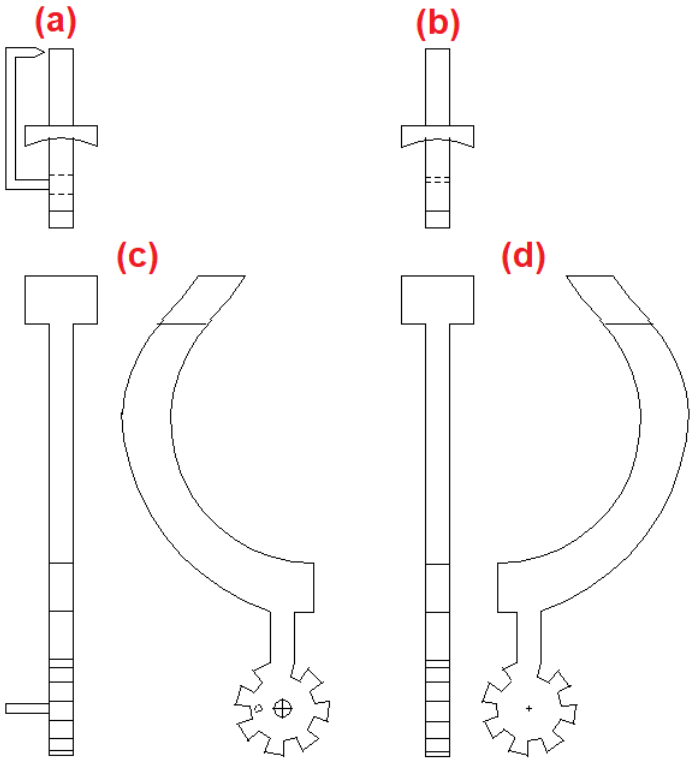
Como a garra fixa possui 60 mm de altura, as garras móveis (p6) foram projetadas de modo que as três garras ficassem na mesma altura, segurando a lâmpada no mesmo diâmetro. Para cumprir esse critério, as garras móveis precisariam ser 15 mm maiores que a garra fixa. Desta forma, inicialmente projetou-se as engrenagens com 30 mm de diâmetro externo, entretanto esta configuração exigiria que a base da garra fixa fosse reprojetada, pois as engrenagens ao serem encaixadas possuiriam 56 mm de largura, enquanto a base da garra fixa possui apenas 45 mm de largura, o que impossibilitaria fixar as engrenagens móveis a estrutura.

Para contornar esse problema, as engrenagens foram projetadas para terem um diâmetro externo de 20 mm, o que reduziu a largura das engrenagens conectadas para 36 mm, considerando uma altura da cabeça dos dentes de 2 mm. Os 10 mm faltantes para que as garras ficassem na mesma altura foram acrescidos à base da garra, como é possível observar na Figura 38 (c) e (d). Apesar das garras possuírem as mesmas dimensões, elas possuem algumas diferenças. A garra da esquerda representada na Figura 38 (a) e (c), possui um furo no centro da engrenagem com 4 mm de diâmetro onde será encaixado o pino para fixação na base da garra fixa.

Além disso, a garra possui uma haste cilíndrica com 29 mm de comprimento e 2 mm de diâmetro, que possui uma ponta fina, que acionará a chave fim de curso quando a garra fechar, o que possibilitará o acionamento do circuito rotacionador. Por outro lado, a garra ilustrada na Figura 38 (b) e (d), possui um furo no centro da engrenagem com 1

mm de diâmetro, que permitirá que a garra seja encaixada no eixo do motor responsável pela abertura e fechamento.

Figura 38 – (a) Vista superior da garra esquerda. (b) Vista frontal e lateral da caixa da garra esquerda. (c) Vista superior da garra direita. (d) Vista frontal e lateral da caixa da garra direita.



Fonte: Do Autor.

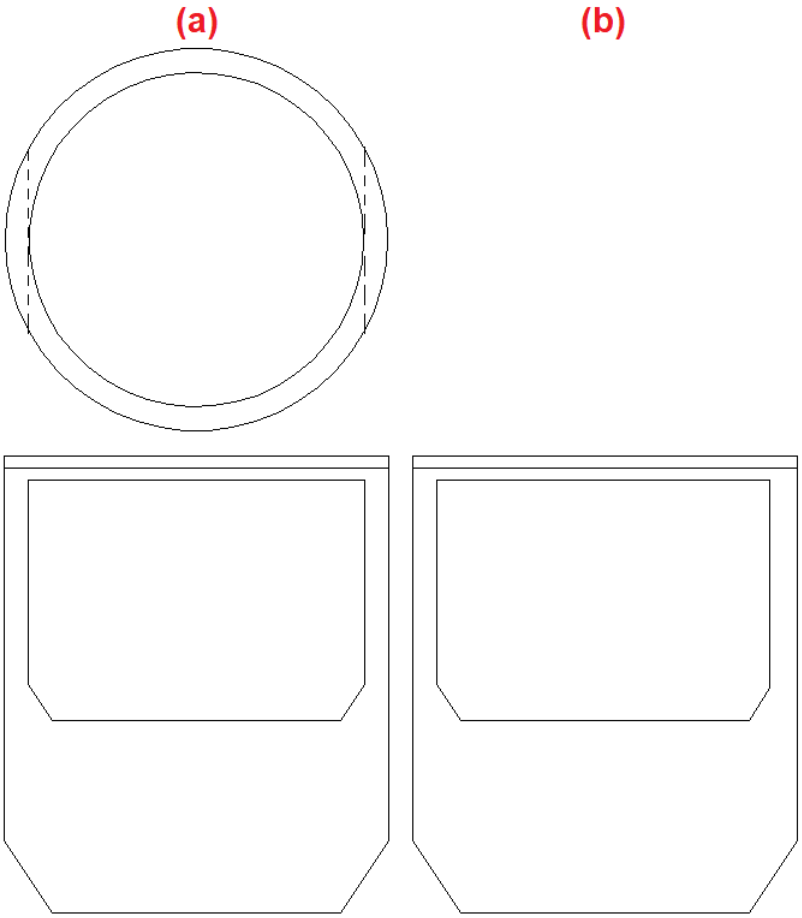
4.3.1.7 Base Externa Superior

Por fim, a última peça do protótipo a ser desenvolvida foi a base externa superior (p7). A peça foi projetada como uma estrutura de proteção ao usuário. Na Figura 39, exibem-se as características da estrutura, possuindo 190 mm de altura, um diâmetro máximo de 160 mm na parte superior e 120 mm na parte inferior. A parte inferior da peça se conectará a base externa inferior (p2), as duas peças foram projetadas de modo que o encaixe entre as duas fosse perfeito, eliminando o uso de parafusos.

Cabe destacar também que a base externa superior (p7) possui duas janelas de observação com dimensões máximas de 100 mm de altura por 140 mm de largura. As janelas serão cobertas por um material plástico transparente, que ao mesmo tempo que permitirão o usuário ter contato visual da lâmpada com o plafon, servirá de escudo de proteção caso a lâmpada se solte ou quebre, eliminando o risco de queda de materiais sobre a cabeça ou olhos do operador.

O diâmetro de 160 mm da parte superior da peça permite a abertura e fechamento da garra com significativa folga, com isto, caso o dispositivo apresente uma falha elétrica ou mecânica e seja acionado com as garras abertas, elas não se chocarão com as paredes internas da base externa superior. Outro ponto importante é que o usuário só conseguirá posicionar a lâmpada segurando pela boquilha, o que impedirá que o usuário posicione os dedos entre lâmpada e as garras, evitando possíveis acidentes.

Figura 39 – (a) Vista superior e frontal da base externa superior. (b) Vista lateral da base externa superior.



Fonte: Do Autor.

4.3.2 Modelagem 3D

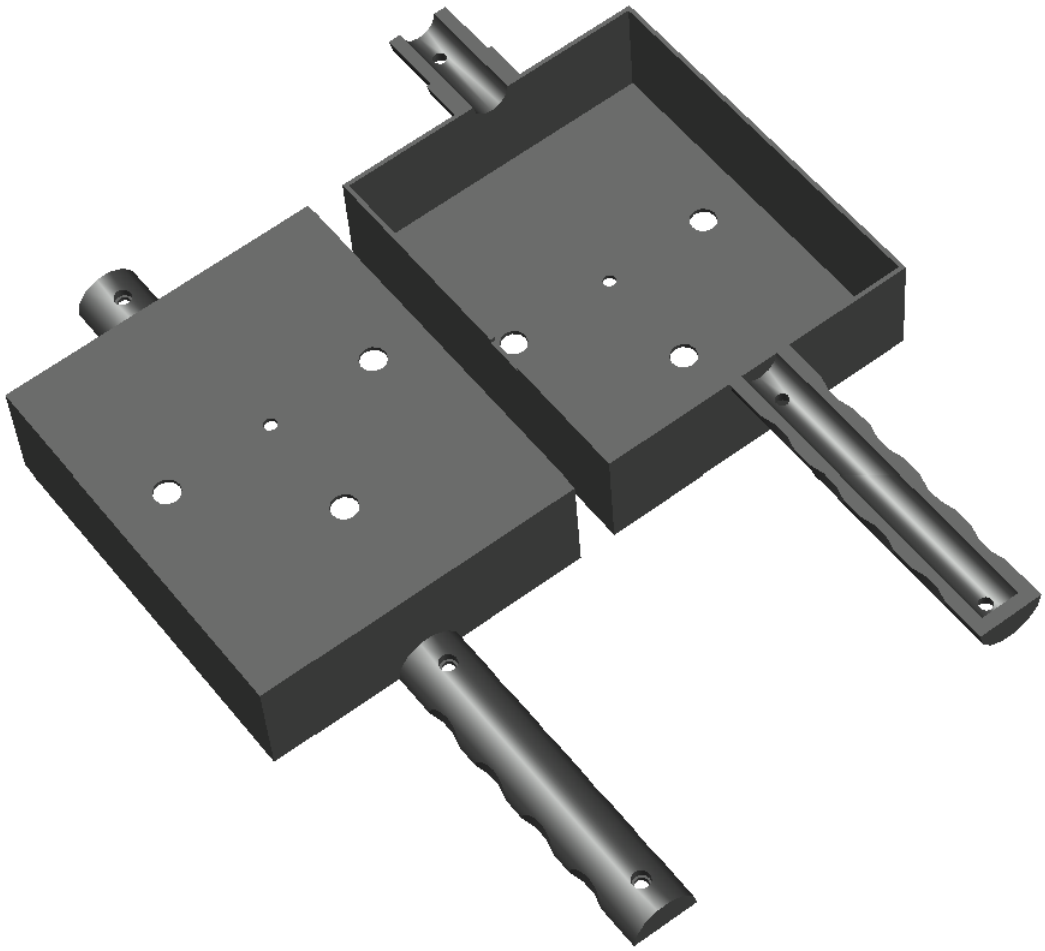
Por meio das vistas projetadas na modelagem em duas dimensões, realizaram-se os processos de extrusão, união, intercessão de cada uma das sete peças inicialmente projetadas. Mesmo o bastão tipo antena sendo uma peça pré-fabricada, sua modelagem em 3 dimensões foi realizada para a visualização completa de todo o protótipo. Para uma melhor visualização de cada uma das estruturas, as peças serão apresentadas primeiramente separadamente, em seguida com todas as partes unidas.

4.3.2.1 Caixa de Comando e Circuitos

Para a melhor apresentação dos detalhes da caixa de comando e circuitos (p1) as peças que compõem serão apresentadas em 3 partes, sendo elas, a caixa de comandos, a caixa de circuitos e a tampa que dá acesso à bateria. Na Figura 40, apresenta-se a caixa de comandos. Sua principal função é acomodar as chaves táctil para acionamento dos motores e o led que indica que a garra está fechada.

O furo de 3 mm posicionado no centro da peça tem como objetivo manter a luz dentro do campo de visão do usuário, o que aumenta a segurança no manuseio do dispositivo. As posições dos furos para os botões de acionamento foram dispostas de maneira a não confundir qual ação a ser executada. O furo inferior é para abrir e fechar a garra, o superior esquerdo para desenroscar e o superior direito para enroscar a lâmpada.

Figura 40 – Vista externa e interna da caixa de comandos.

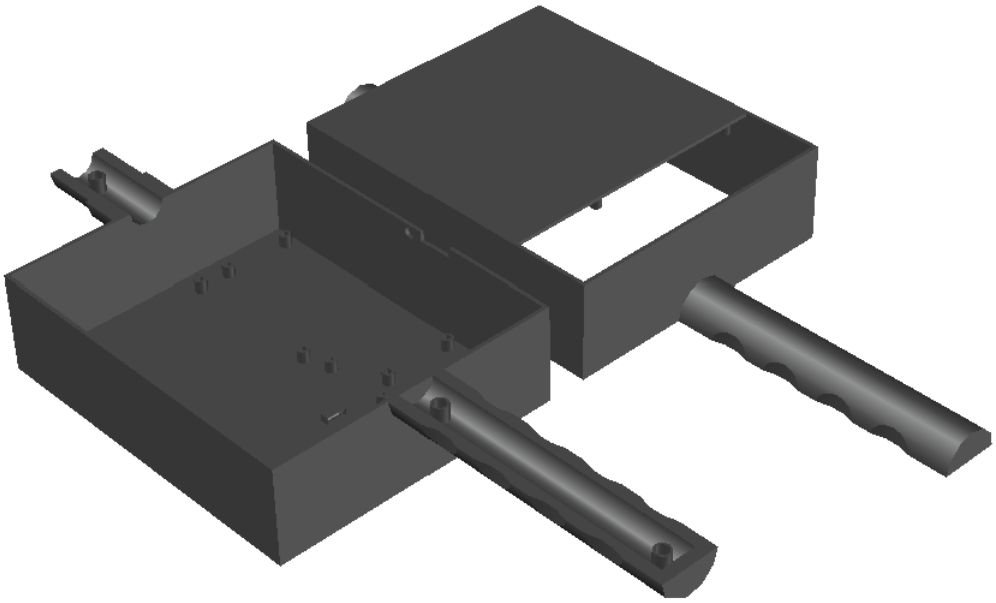


Fonte: Do Autor.

Na Figura 41, exibem-se as vistas externa e interna da caixa de circuitos. Na parte interna da peça existem cilindros com 3 mm de altura que servirão para parafusar as placas dos circuitos à caixa. Além disso, a caixa possui um furo na base inferior para o

encaixe de uma tampa que dará acesso à bateria, desta forma também existe na parte interna da caixa uma estrutura que permite o encaixe perfeito da tampa.

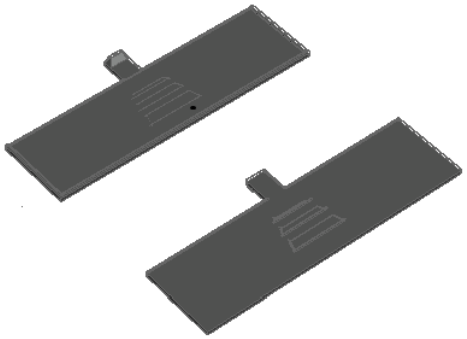
Figura 41 – Vista externa e interna da caixa de circuitos.



Fonte: Do Autor.

Na Figura 42, mostra-se a tampa que permite o acesso à bateria. A peça possui em sua extremidade superior uma estrutura em formato de pirâmide que se encaixa na caixa de circuitos. Além disto, na parte superior da tampa existem três trapézios com 0,5 mm de profundidade, que geram atrito entre o dedo e a tampa, facilitando a abertura e o acesso à bateria.

Figura 42 – Vista interna e externa da tampa da caixa de circuitos.

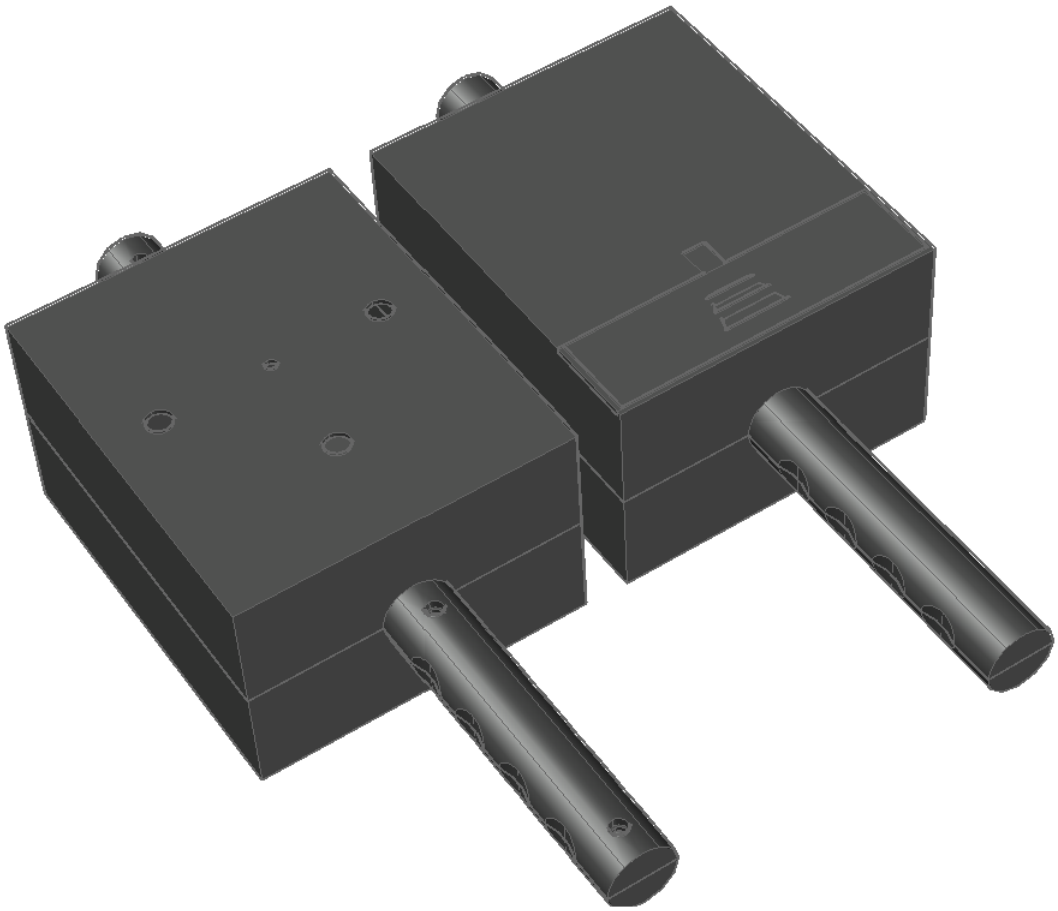


Fonte: Do Autor.

Na Figura 43, apresenta-se como o dispositivo ficará após sua montagem. As partes serão unidas por meio de três parafusos, um localizado no cilindro superior e os outros

dois nas extremidades do cilindro inferior. Além disto, o cilindro inferior possuir quatro cortes que permitem a melhor aderência da estrutura com os dedos.

Figura 43 – Vista superior e inferior da caixa de comando e circuitos.



Fonte: Do Autor.

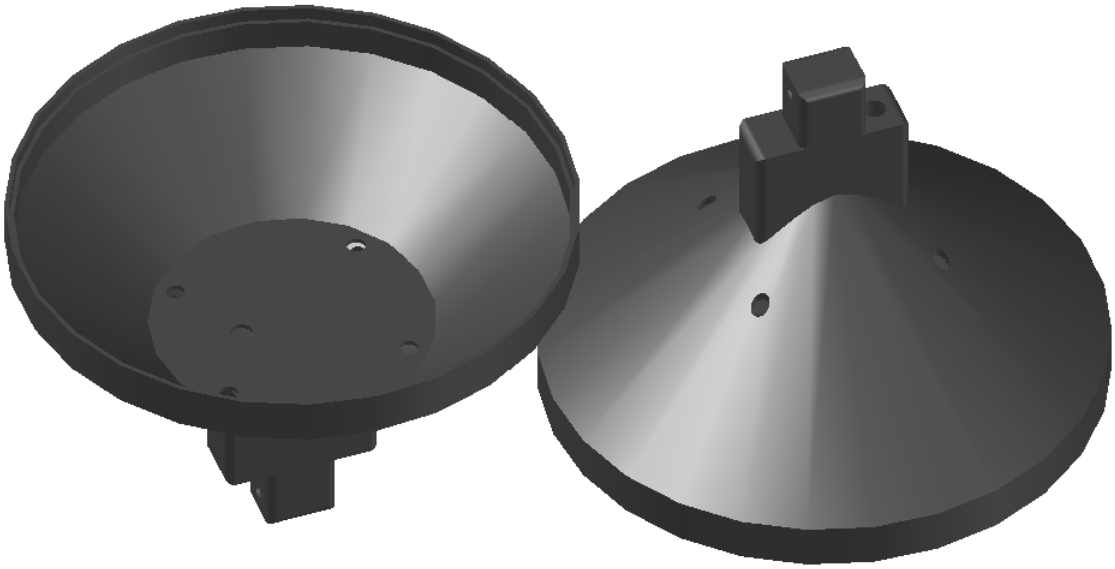
4.3.2.2 Base Externa Inferior

Na Figura 44, mostra-se a modelagem em três dimensões da base externa inferior (p2). A peça possui seis furos que atravessam a peça, sendo quatro para fixarem a base do motor enroscador, um para fixar a base ao bastão tipo antena e o último para a passagem dos cabos de alimentação e controle. A borda superior possui um corte de 5 mm de altura em todo o perímetro, e tem como objetivo se encaixar na base externa superior (p7).

A parte inferior da peça foi concebida tendo como modelo a peça original do bastão tipo antena, o que permitiu desenvolver uma estrutura que permita ao usuário posicionar a estrutura em um ângulo diferente do bastão. Os graus extras de liberdade auxiliarão no posicionamento do protótipo para a troca de lâmpadas em locais de acesso mais limitado, por exemplo, quando houver móveis abaixo do plafon instalado no teto.

Além disto, facilitará a troca de lâmpadas de usuários cadeirantes, aumentando o campo de visão para realizar a troca de forma eficiente.

Figura 44 – Vista superior e inferior da base externa inferior.



Fonte: Do Autor.

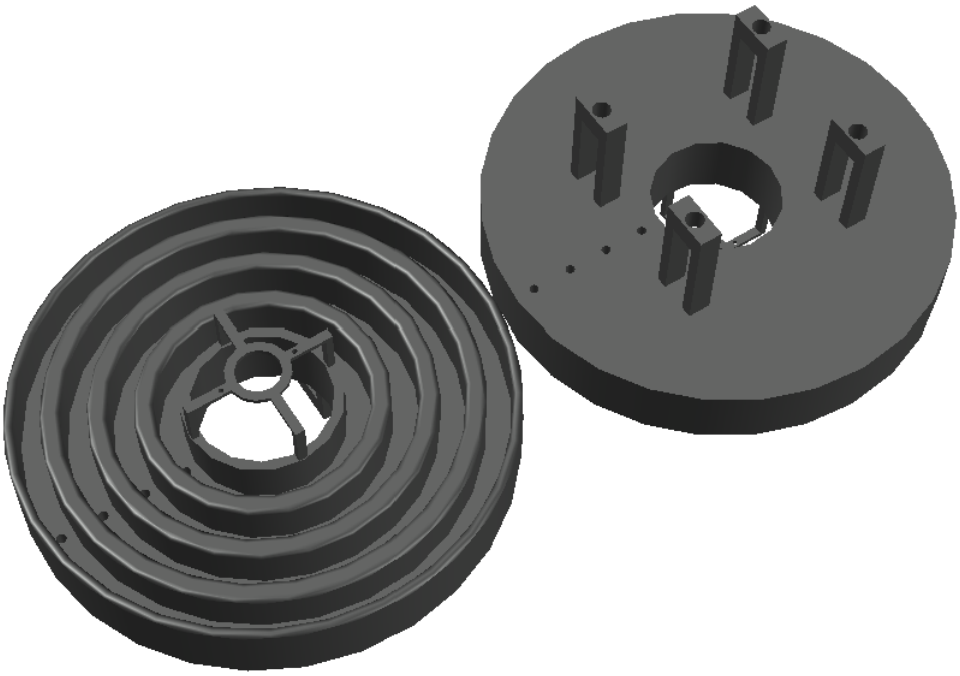
4.3.2.3 Suporte para o Motor Rosqueador

Na Figura 45, exibe-se o modelo para o suporte do motor rosqueador (p3). Os quatro pés da peça foram projetados de modo que a estrutura fique estável, impedindo que a peça se desloque horizontalmente no caso do usuário soltar o equipamento com ele preso a uma lâmpada ainda enroscada no plafon. Além disso, os furos dos pés estão localizados no centro para impedir que a estrutura quebre caso uma tensão seja aplicada na região, além da posição facilitar a união do suporte à base externa inferior.

Nos fundos das pistas, serão coladas fitas de cobre e, posteriormente, serão lubrificadas com graxa condutora para assegurar a condução entre o suporte do rosqueador e o suporte da garra fixa. A profundidade das pistas aumentam a segurança e reduzem significativamente o risco de curto-circuito. Os cabos de alimentação serão soldados na parte inferior das fitas de cobre. A fita será ligeiramente maior do que pista em seu perímetro, de modo que uma extremidade seja soldada a outra.

Por fim, a estrutura de fixação do motor rosqueador foi projetada seguindo as dimensões do motor. Apesar do motor ser fixado por dois parafusos, a estrutura foi construída no formato de cruz para distribuir melhor o peso de toda a estrutura colocada acima, impedindo também que essa parte da peça quebre, caso uma força lateral seja aplicada, criando assim uma harmonia entre a base e o topo do suporte.

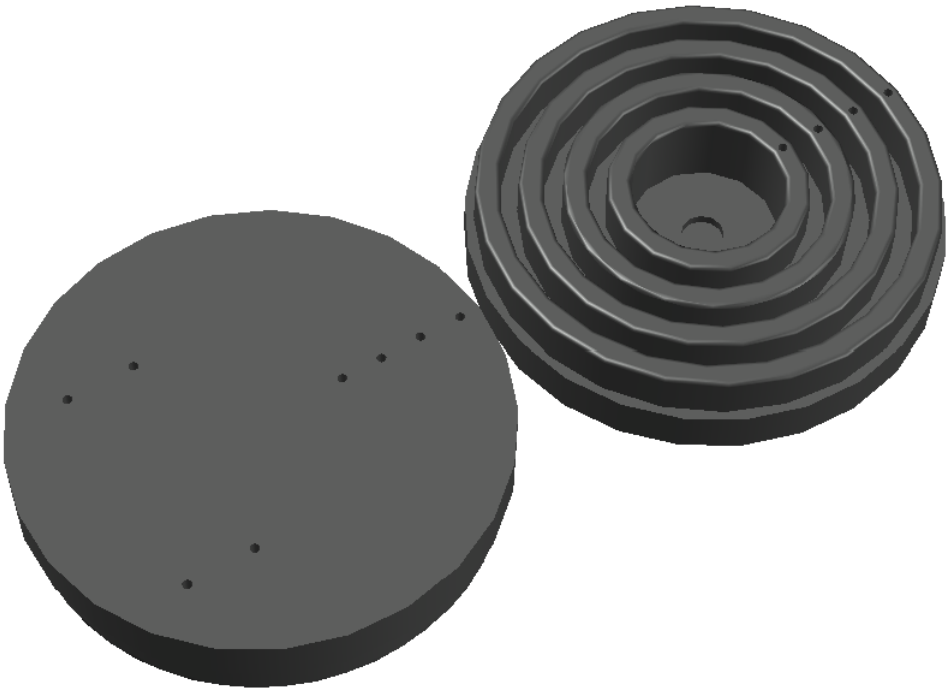
Figura 45 – Vista superior e inferior da base do suporte para o motor rosqueador.



Fonte: Do Autor.

4.3.2.4 Base de Suporte do Motor da Garra

Figura 46 – Vista superior e inferior da base do suporte para o motor da garra.



Fonte: Do Autor.

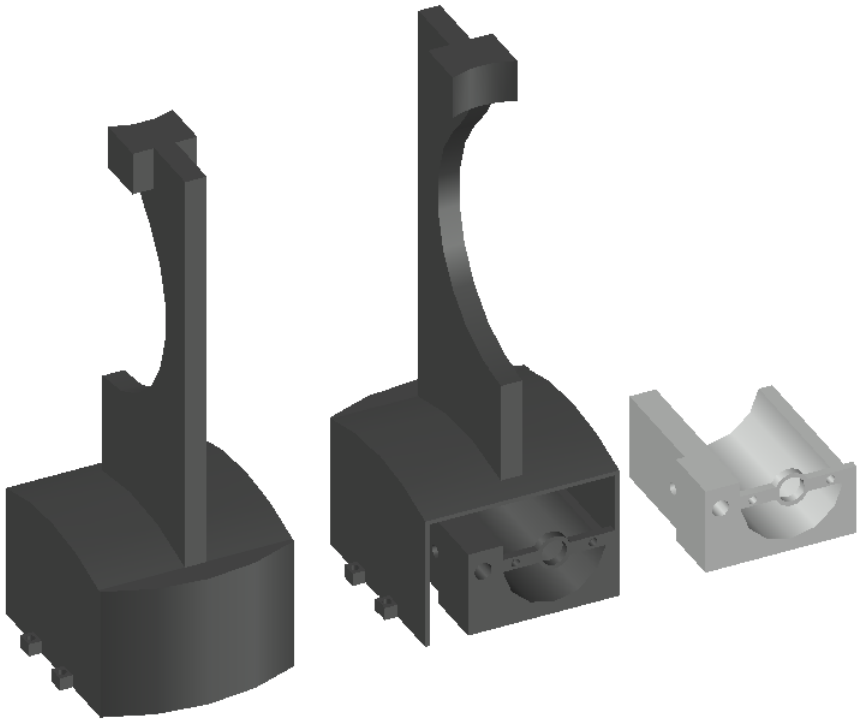
Na Figura 46, apresenta-se a estrutura da base de suporte do motor da garra (p4). A parte inferior da peça se encaixará na parte superior do suporte do motor rosqueador (p3), desta forma a fita metálica será colocada nas protuberâncias da peça ao invés das pistas. Serão seguidos os mesmos passos apresentados anteriormente para a colocação da fita condutora, inclusive a lubrificação com a graxa condutora para certificar que a condução ocorra em toda a extensão da fita.

Além disso, a estrutura será encaixada no suporte plástico acoplado ao eixo do motor, o que permitirá que a peça gire para permitir a troca da lâmpada. Na parte superior da peça será fixada a base da garra fixa, local destinado para a colocação do motor da garra, da chave fim de curso e das garras móveis (p6). Os cabos também sairão na parte superior da peça e serão unidos por meio de uma braçadeira plástica e levados aos pontos de contato.

4.3.2.5 Base da Garra Fixa

Na Figura 47, exibe-se a base da garra fixa (p5), a peça é fixada na base de suporte do motor da garra (p4) por meio de quatro parafusos nas laterais da peça. Além disso, a peça possui outros pontos de fixação, na lateral esquerda do suporte do motor é o ponto de fixação da chave Micro *Switch*. Na parte fontal do suporte, existem os dois furos de fixação do motor e um para prender a garra, que juntamente da garra acoplada ao eixo do motor, permitirão segurar e soltar a lâmpada.

Figura 47 – Vista traseira, frontal e do suporte do motor da base da garra fixa.



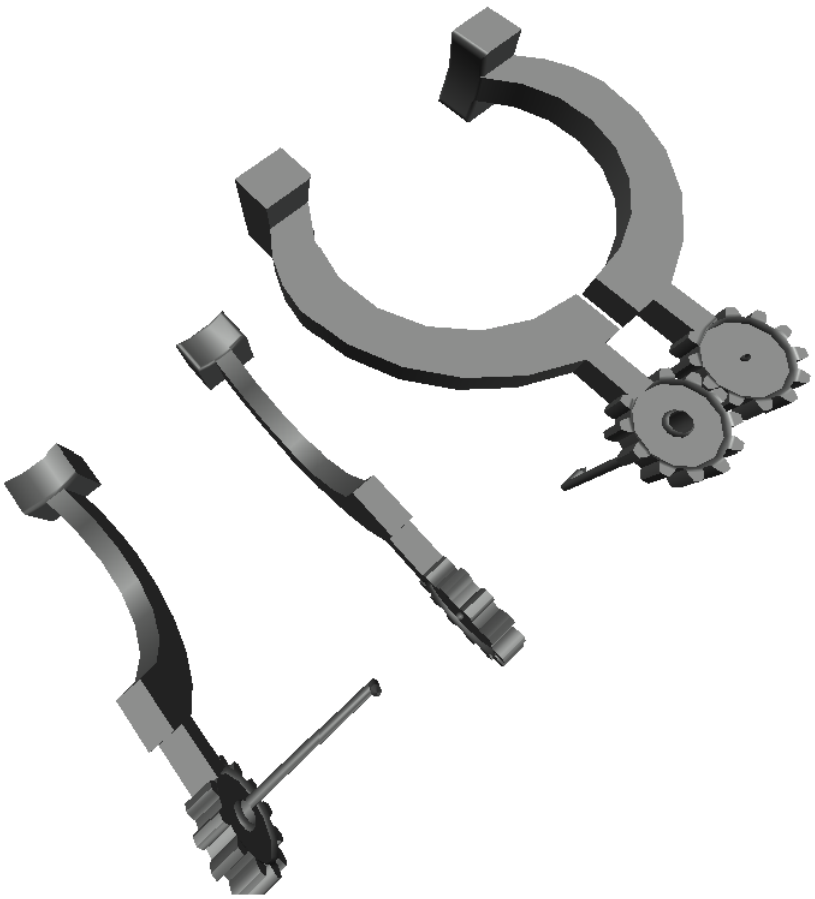
Fonte: Do Autor.

Adicionalmente, o projeto do suporte permite que o motor se encaixe pela parte posterior da peça, visto que a parte traseira da peça é totalmente fechada. Desta forma, o motor é colocado de cima para baixo e depois posicionado no local correto. Por fim, a parte superior da peça possui uma garra no formato da lâmpada modelo e tem como principal função orientar o usuário para o posicionamento correto da lâmpada, garantido que a lâmpada seja segurada sempre no mesmo ponto.

4.3.2.6 Garras Móveis

Na Figura 48, expõe-se a modelagem em três dimensões das garras móveis (p6). Como apresentado no modelo em duas dimensões, as garras foram projetadas de modo que elas segurem a lâmpada no mesmo diâmetro da garra fixa, com isto a lâmpada não correrá o risco de ficar desalinhada com o protótipo. Este desalinhamento poderia fazer a rosca entre de maneira incorreta, o que causaria danos à lâmpada e também ao equipamento.

Figura 48 – Vista frontal e lateral da garras fixas.



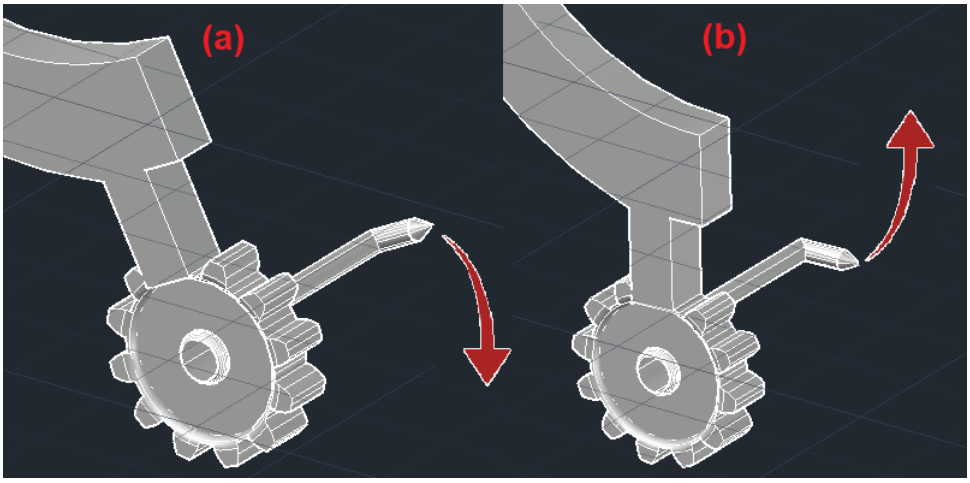
Fonte: Do Autor.

As engrenagens possuem as mesmas características externas, cada uma tem 11 dentes, com diâmetro interno de 18 mm e externo de 20 mm. A única diferença está no

centro das engrenagens, como pode ser observado na Figura 48, isto por que a engrenagem da direita será encaixada no eixo do motor. Enquanto, a da esquerda será fixada por meio de um pino na base da garra fixa.

Além disso, a haste posicionada no lado interno da garra esquerda acionará a chave Micro *Switch*, sempre que a garra se fechar. Como a chave é sensível ao contato, facilmente a haste pressionar-lhe-á, indicando que a garra está totalmente fechada, habilitando os botões que permitem enroscar e desenroscar a lâmpada. Na Figura 49, ilustra-se a direção dos movimentos de fechamento (a) e de abertura (b) da garra.

Figura 49 – (a) Movimento da garra ao fechar. (b) Movimento da garra ao abrir.



Fonte: Do Autor.

Por fim, para impedir que a garra abra mais do que o necessário e force as engrenagens ou as laterais do protótipo, a corrente do circuito será cortada após 500 ms, por meio do código executável no microcontrolador. Esse tempo foi inicialmente definido utilizando a estrutura preliminar. Destaca-se que o tempo pode ser ajustado, caso necessário, na estrutura final. Por fim, o pino de encaixe da garra da esquerda deve ser definido antes da impressão do protótipo, uma vez que as características do material de impressão influenciarão no tipo do pino que deve prender a garra.

4.3.2.7 Base Externa Superior

Na Figura 50, apresenta-se a base externa superior (p7). Sua base foi projetada para se encaixar na base interna inferior, a peça foi idealizada de forma que o usuário possa acompanhar e visualizar como a troca está ocorrendo. As janelas de visualização serão cobertas por um material plástico transparente, o que garantirá que, mesmo no caso em que a lâmpada se solte ou quebre, nenhum detrito caia sobre o usuário.

Figura 50 – Modelagem da base externa superior.

Fonte: Do Autor.

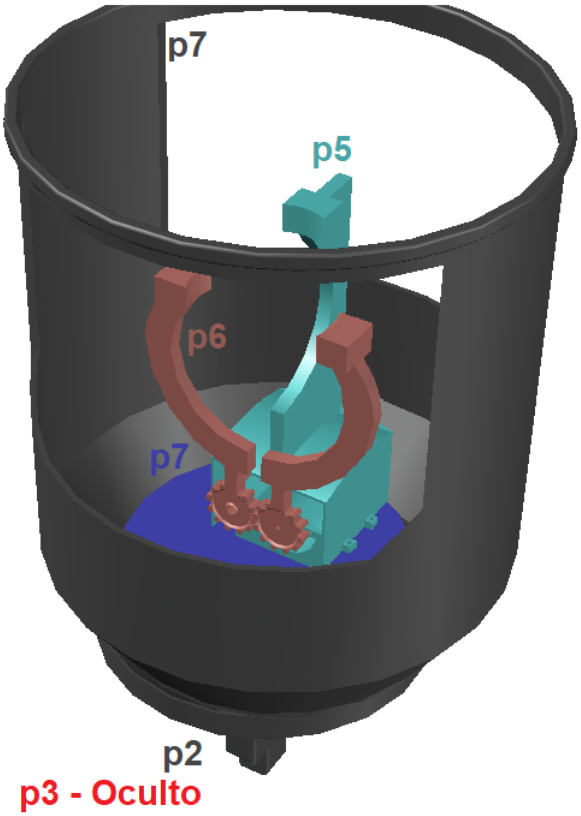
4.3.2.8 Modelo Completo

Na Figura 51, mostra-se a parte superior do protótipo com as bases externa inferior (p2) e superior (p7), o suporte do motor rosqueador (p3), a base de suporte do motor da garra(p4), a base da garra fixa (p5) e as garras móveis (p6). Por meio da Figura 51, pode-se ter uma noção do tamanho de cada uma das peças individualmente. A carcaça externa superior possui uma abertura superior suficiente para que um adulto consiga posicionar a lâmpada. Além disso, permite também que os dispositivos móveis se movimentem sem correr o risco de se chocar com as partes fixas, mesmo quando as garras móveis estão abertas.

A parte superior do protótipo tem 275 mm de altura da base até o topo. A massa estimada para a estrutura plástica ao ser impressa com o filamento PLA — que possui

uma densidade de 1,25 centímetros cúbicos — é de aproximadamente 350 gramas, dos quais cerca de 200 gramas estarão aplicadas sobre o eixo do motor rosqueador. A massa total considerando as massas dos componentes eletrônicos e elétricos estimada é de cerca de 450 gramas e sobre o eixo do motor serão cerca de 300 gramas.

Figura 51 – Parte superior do protótipo com todas as peças em suas posições de projeto.



Fonte: Do Autor.

Na Figura 52, mostra-se a estrutura de todo o protótipo incluindo o bastão tipo antena na posição recolhida. A modelagem do bastão é meramente ilustrativa. A massa estimada da caixa de circuitos e comandos utilizando o filamento PLA é de cerca de 90 gramas. Considerando os circuitos e componentes eletrônicos, a massa estimada é de cerca de 135 gramas. A massa final esperada para o protótipo considerando o bastão tipo antena é cerca de 800 gramas, e considerando a lâmpada modelo, a massa final esperada do trocador é de cerca de 850 gramas.

Quando o bastão tiver recolhido o tamanho do protótipo será cerca de 685 mm ou 65,8 cm, enquanto o tamanho do protótipo com o bastão estendido o tamanho será de 1435 mm ou 143,5 cm. Como um dos objetivos iniciais do projeto é permitir que um cadeirante consiga realizar a troca da lâmpada, o objetivo poderá ser facilmente atendido. Considerando que a altura do peito do cadeirante até o chão seja de 1,0 m e que o bastão esteja totalmente estendido, ao levantar o braço o usuário conseguirá acessar o plafon e realizar a troca.

Figura 52 – Estrutura com todas as peças modeladas.

Fonte: Do Autor.

Para um adulto que tenha 1,70 m e considerando que a altura do peito até o chão seja de 1,30 m, com o bastão totalmente estendido o alcance é de 2,73 m, com isso, ao levantar os braços um pouco acima da altura dos ombros a troca poderá ser realizada. Quanto à massa do protótipo, como o peso é distribuído por toda a estrutura, não será exigido um grande esforço para levantar o projeto acima da cabeça.

Contudo, apesar da massa total do protótipo não ser uma preocupação para o manuseio do protótipo, ela é importante para que o motor responsável por enroscar e desenroscar a lâmpada consiga trabalhar de forma eficiente, visto que a massa sobre o eixo do motor será de cerca de 350 gramas o que poderá impedir o aperto e desaperto da lâmpada. Essas questões exigirão que o sistema forneça um torque maior no eixo do motor e, por consequência, exigirá uma corrente maior do circuito de alimentação.

5 Conclusão e Melhorias Futuras

Neste trabalho foi desenvolvida a modelagem de um sistema semiautomático capaz de realizar a troca de uma lâmpada LED. Os quatro subsistemas do modelo, o mecanismo da garra, o mecanismo rotacionador, o circuito de acionamento e as estruturas físicas foram projetados com o intuito de proporcionar ao usuário a máxima segurança na operação e controle das estruturas. Além disso, em todas as etapas de modelagem, levaram-se em consideração as limitações físicas e motoras que o público alvo do dispositivo possui. Assim, a acessibilidade foi um fator norteador para que o equipamento possa promover autonomia e independência ao portador de necessidades físicas na troca de uma lâmpada LED.

Ademais, o modelo de garra projetada elimina a possibilidade do usuário posicionar a lâmpada de maneira incorreta. Pois, com a adoção de um dedo fixo na garra, o usuário não terá dúvidas no posicionamento correto da lâmpada na estrutura. Além disso, a carcaça externa foi projetada de modo que o usuário acompanhe o processo de troca e, ao mesmo tempo, a peça reduz drasticamente a possibilidade de que detritos caim sobre o usuário. Tais características demonstram a importância que foi dada para os quesitos de segurança.

Os testes realizados nas estruturas preliminares obtiveram altas taxas de sucesso, comprovando que a escolha dos elementos eletroeletrônicos e o *software* desenvolvido atendem as expectativas iniciais do projeto. Outro resultado relevante foi a decisão de separar a modelagem em sete conjuntos de peças distintas, o que permitiu trabalhar de maneira muito precisa os detalhes de cada estrutura.

A construção do modelo, nas configurações apresentadas, teriam um custo total de cerca de R$ 1200,00 — Impressão 3D: R$ 600,00; Ajustes no projeto para impressão: R$ 420,00; Peças e equipamentos: R$ 140,00; Frete e outros: R$ 40,00. Apesar do custo para a montagem do primeiro modelo ser relativamente alto, os custos de uma possível produção em série, obviamente será muito menor.

Como sugestão de melhoria que visem reduzir o custo unitário, uma alternativa é alterar o processo de fabricação das peças plásticas. Visto que o custo da impressão 3D é alto devido ao tempo gasto na impressão, pois a deposição do termoplástico é realizada em camadas depositadas uma sobre a outra. Uma alternativa seria forjar gabaritos com os formatos externos das peças em ferro fundido ou alumínio. Dessa forma, o material plástico deve ser aquecido e despejado no molde, formando assim a peça. Esse processo reduz o tempo de fabricação e possibilita aumentar a produção das peças.

Por fim, a modelagem apresentada neste estudo atingiu todos os objetivos propostos inicialmente. Desde o primeiro esboço até a modelagem em três dimensões das peças, o trabalho se demonstrou bastante desafiador, exigindo muita criatividade e de análise de cada detalhe, para que o sistema funcione harmonicamente. Além disso, a preocupação social e a valorização do indivíduo com necessidades físicas engrandecem a formação ética

e profissional, indo ao encontro dos pilares da Universidade Federal de Ouro Preto.

Referências

ABNT. *NBR 10067: Princípios gerais de representação em desenho técnico*, v. 1, n. 1, p. 1–14, 1993. 38

ARDUINO. *Arduino nano: Informações Técnicas.* 2019. Access date: 6 jul. 2019. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. 18

ARDUINO. *Família Arduino: Guia de Introdução.* 2019. Access date: 6 jul. 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. 18, 33

BELO, F. A. W. *Controle de Velocidade de um Sistema Robótico Rádio - Controlado Sentinela.* 2004. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), PUC-RIO (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, Brazil. 17, 18

BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. Princípios gerais de representação em desenho técnico. *Gestão, Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3, p. 1–10, 2017. ISSN 2595-3370. 19, 20, 21

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil (1988).* [S.l.]: Senado Federal, 2016. 393–421. p. 2

CAIRES, M. M. *Desenvolvimento de um Módulo Controlador como Ferramenta para Viabilização de Projetos de Robótica Educativa.* 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia em Ciências da Computação), UESB (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia), Vitória da Conquista, Brazil. 17

CARRARA, V. *Apostila de robótica.* [S.l.]: Universidade Braz Cubas, 2006. 4, 5, 7

FITZGERALD, A. E.; CHARLES, K.; UMANS, S. D. *Máquinas Elétricas.* [S.l.]: Bookman, 2006. 8, 9, 11, 12

GROOVER, M. P. et al. *Robótica. Tecnologia e Programação.* [S.l.]: McGraw-Hilll, 1989. 4

MAIMON, F. *Projeto de um sistema eletrônico para o controle de motores de alta potência por PWM.* 2004. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), PUC-RIO (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, Brazil. 13, 14

MATSOUKA, Y. *Embodiment and Manipulation Learning Process for a Humanoid Hand.* Dissertação (Mestrado) — Massachussets Institute of Technology, 1995. 6, 23

NETO, C. S. C. *Modelagem de um drive do tipo ponte H não ideal utilizando a linguagem modelica.* 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Eletrônica), UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), Ponta Grossa, Brazil. 13, 14

OSRAM. *Soluções em LED OSRAM.*: Luz é inovação. [S.l.], 2015. Catálogo de lâmpadas OSRAM. 22

PEDRO, L. M. *Fixação de objetos por garras de robôs: aplicações de redes neurais e proposta de auto-aprendizagem para os casos 2D e 3D.* Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2009. 4, 6

PEREZ, J. A. L. *Controle robusto de força em atuadores hidráulicos aplicando a teoria da realimanetação quantitativa.* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 8

SALISBURY, J. K. *Kinematic and force analysis of articulated hands.* Tese (Doutorado) — Stanford University, 1982. 5

SALISBURY, J. K.; CRAIG, J. J. Articulated hands: Force control and kinematic issue. *International Journal of Robotics Research*, International Journal of Robotics Research, v. 1, n. 1, p. 24–17, 1982. 6

SANTOS, W. E.; JUNIOR, J. H. C. G. *Robótica Industrial: Fundamentos, Tecnologias, Programação e Simulação.* 2018. Access date: 6 dez. 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/29695809-Robotica-industrial-fundamentos-tecnologias-programacao-e-simulacao.html>. 6

SANZ, P. et al. Grasping the not-so-obvious: vision-based object handling for industrial applications. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, v. 12, n. 3, p. 44–52, 2005. 4

SHHEIBIA, T. A. A. *Controle de um braço robótico utilizando uma abordagem de agente inteligente.* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, 2001. 7

SIEMENS. *Motores de Corrente Contínua*: Guia rápido para uma especificação precisa. [S.l.], 2006. Unidade Automação e Controle – Acionamentos e Motores Elétricos. 8, 9, 10, 11, 12

STMICROELECTRONICS. *Dual Full-Bridge Driver.*: L298. [S.l.], 2000. Datasheet. 14, 16

TOBCOMPUTERS. *Bastão para selfie monopod com cabo P2 color.* 2018. Access date: 6 dez. 2018. Disponível em: <https://www.tobdistribuicao.com.br/bast-o-para-selfie-monopod-com-cabo-p2-color.html>. 28

WANDERLEY, T. C. A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos leds. *Revista Especialize On-line IPOG*, Revista Especialize On-line IPOG., v. 1, n. 9, p. 1–17, 2014. 1

APÊNDICE A – Código Executável do Arduino

```
//Pinos de entrada e respectivas portas utilizadas no Arduino.
#define CHAVE_FIM_DE_CURSO 2
#define ABRE_FECHA_GARRA 3
#define ENROSCAR 4
#define DESENROSCAR 5

// Pinos de saída para conexão com o Driver L298N
// respectivas portas utilizadas.
#define IN_1 6  // Motor garra.
#define IN_2 7  // Motor garra.
#define IN_3 8  // Motor enroscador.
#define IN_4 9  // Motor rotacionador.

// As variáveis auxiliares abaixo tem como objetivo
// facilitar na detecção do sinal alto quando o usuário pressiona
// os botões do dispositivo, evitando assim estado flutuante.
byte ESTADO_FIM_DE_CURSO = 0;
bool ESTADO_ATUAL_FIM_DE_CURSO = true;
bool ESTADO_ANTERIOR_FIM_DE_CURSO = true;
unsigned long DELAY_FIM_DE_CURSO;

byte ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA = 0;
bool ESTADO_ATUAL_ABRE_FECHA_GARRA = true;
bool ESTADO_ANTERIOR_ABRE_FECHA_GARRA = true;
unsigned long DELAY_ABRE_FECHA_GARRA;

byte ESTADO_ENROSCAR = 0;
bool ESTADO_ATUAL_ENROSCAR = true;
bool ESTADO_ANTERIOR_ENROSCAR = true;
unsigned long DELAY_ENROSCAR;

byte ESTADO_DESENROSCAR = 0;
bool ESTADO_ATUAL_DESENROSCAR = true;
bool ESTADO_ANTERIOR_DESENROSCAR = true;
unsigned long DELAY_DESENROSCAR;

// As instruções apresentadas a seguir são as responsáveis pelo
// processamentos das ações de comando.

void setup() {

// A chave de fim de curso e de abertura e fechamento da garra foram
// definidas como INPUT desta forma, não importa se o usuário ou o
// sistema vão mante-las com sinal alto por frações de segundos ou
// por minutos, o microcontrolador entenderá como um único pulso.
```

```
  pinMode(CHAVE_FIM_DE_CURSO, INPUT);
  pinMode(ABRE_FECHA_GARRA, INPUT);

 // Já os botões de enroscar e desenroscar atuam como INPUT\_PULLUP,
 // ou seja, o micro controlador os entendem como botões que assim
 // que pressionados devem enviar a ordem de comando, assim que soltos devem parar.
  pinMode(ENROSCAR, INPUT_PULLUP);
  pinMode(DESENROSCAR, INPUT_PULLUP);

//Os pinos que são conectados ao L298N são definidas coo saídas do microcontrolador.
  pinMode(IN_1, OUTPUT);
  pinMode(IN_2, OUTPUT);
  pinMode(IN_3, OUTPUT);
  pinMode(IN_4, OUTPUT);
}

// As instruções a seguir recebem as leituras vindas dos pinos de entrada,
// e realizam uma comparação do estado atual de leitura com o estado de
// leitura anterior, se eles são diferentes, um contador é acionado e após 20
// milesegundos as variáveis são atualizadas. Caso contrário ele mantém as
// variáveis iguais. Estas funções permitem reduzir o estado de flutuação, além
// de ajudar na detecção dos sinais recebidos.
void loop() {

  ESTADO_FIM_DE_CURSO = digitalRead(CHAVE_FIM_DE_CURSO);
  if (!ESTADO_ATUAL_FIM_DE_CURSO && ESTADO_ANTERIOR_FIM_DE_CURSO) {
     if ((millis() - DELAY_FIM_DE_CURSO) > 20) {
        ESTADO_FIM_DE_CURSO++;
        if (ESTADO_FIM_DE_CURSO > 1) {
           ESTADO_FIM_DE_CURSO = 0;
        }
        DELAY_FIM_DE_CURSO = millis();
     }
  }
   else if (ESTADO_ATUAL_FIM_DE_CURSO != ESTADO_ANTERIOR_FIM_DE_CURSO) {
        DELAY_FIM_DE_CURSO = millis();
  }
  ESTADO_ANTERIOR_FIM_DE_CURSO = ESTADO_ATUAL_FIM_DE_CURSO;

  ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA = digitalRead(ABRE_FECHA_GARRA);
  if (!ESTADO_ATUAL_ABRE_FECHA_GARRA && ESTADO_ANTERIOR_ABRE_FECHA_GARRA) {
     if ((millis() - DELAY_FIM_DE_CURSO) > 20) {
        ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA++;
        if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA > 1) {
           ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA = 0;
        }
        DELAY_ABRE_FECHA_GARRA = millis();
     }
  }
  else if (ESTADO_ATUAL_ABRE_FECHA_GARRA != ESTADO_ANTERIOR_ABRE_FECHA_GARRA) {
        DELAY_ABRE_FECHA_GARRA = millis();
  }

  ESTADO_ANTERIOR_ABRE_FECHA_GARRA = ESTADO_ATUAL_ABRE_FECHA_GARRA;
```

```
ESTADO_ENROSCAR = digitalRead(ENROSCAR);
if (!ESTADO_ATUAL_ENROSCAR && ESTADO_ANTERIOR_ENROSCAR) {
   if ((millis() - DELAY_ENROSCAR) > 20) {
      ESTADO_ENROSCAR++;
      if (ESTADO_ENROSCAR > 1) {
         ESTADO_ENROSCAR = 0;
      }
      DELAY_ENROSCAR = millis();
   }
}
else if (ESTADO_ATUAL_ENROSCAR != ESTADO_ANTERIOR_ENROSCAR) {
      DELAY_ENROSCAR = millis();
}
ESTADO_ANTERIOR_ENROSCAR = ESTADO_ATUAL_ENROSCAR;

ESTADO_DESENROSCAR = digitalRead(DESENROSCAR);
if (!ESTADO_ATUAL_DESENROSCAR && ESTADO_ANTERIOR_DESENROSCAR) {
   if ((millis() - DELAY_DESENROSCAR) > 20) {
      ESTADO_DESENROSCAR++;
      if (ESTADO_DESENROSCAR > 1) {
         ESTADO_DESENROSCAR = 0;
      }
      DELAY_DESENROSCAR = millis();
   }
} else if (ESTADO_ATUAL_DESENROSCAR != ESTADO_ANTERIOR_DESENROSCAR) {
      DELAY_DESENROSCAR = millis();
}
 ESTADO_ANTERIOR_DESENROSCAR = ESTADO_ATUAL_DESENROSCAR;

// A Parte do código abaixo é o responsável pelo envio das informações para as
// portas de saída, que ativam os motores e nos sentidos de trabalho desejados.

// PARTE RESPONSÁVEL POR ABRIR E FECHAR A GARRA

  if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA == 1 && ESTADO_FIM_DE_CURSO == 1) {
        digitalWrite(IN_1, LOW);
        digitalWrite(IN_2, LOW);
   }
  else if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA == 0 && ESTADO_FIM_DE_CURSO == 1)  {
        digitalWrite(IN_1, HIGH);
        digitalWrite(IN_2, LOW);
        delay (1000);

      digitalWrite(IN_1, HIGH);
      digitalWrite(IN_2, HIGH);
      delay(500);
   }
  else if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA == 1 && ESTADO_FIM_DE_CURSO == 0) {
        digitalWrite(IN_1, HIGH);
        digitalWrite(IN_2, HIGH);
   }
```

```
  else if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA == 1 && ESTADO_FIM_DE_CURSO == 0) {
        digitalWrite(IN_1, HIGH);
        digitalWrite(IN_2, HIGH);
    }
  else if (ESTADO_ABRE_FECHA_GARRA == 0 && ESTADO_FIM_DE_CURSO == 0) {
        digitalWrite(IN_1, LOW);
        digitalWrite(IN_2, HIGH);
        delay (1000);

        digitalWrite(IN_1, HIGH);
        digitalWrite(IN_2, HIGH);
        delay(500);
    }

// PARTE RESPONSÁVEL POR ENROSCAR A LÂMPADA

   if (ESTADO_ENROSCAR == 1 && ESTADO_DESENROSCAR == 0){

       digitalWrite(IN_3, HIGH);
       digitalWrite(IN_4, LOW);

    }

    else if (ESTADO_ENROSCAR == 0 && ESTADO_DESENROSCAR == 1) {

       digitalWrite(IN_3, LOW);
       digitalWrite(IN_4, HIGH);
   }

   else if (ESTADO_ENROSCAR == 1 && ESTADO_DESENROSCAR == 1) {

       digitalWrite(IN_3, HIGH);
       digitalWrite(IN_4, HIGH);
    }


   else if (ESTADO_ENROSCAR == 0 && ESTADO_DESENROSCAR == 0) {

       digitalWrite(IN_3, LOW);
       digitalWrite(IN_4, LOW);
   }

}
```

TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “ACESS-LUZ: Modelagem de um trocador semiautomático de lâmpadas LED — Uma ferramenta para a promoção de acessibilidade e segurança” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 15 de Setembro de 2020.

Bruno Afonso da Conceição

Nome completo do(a) aluno(a)