

LORENA CARVALHO TEIXEIRA

**PROJETO DE UM BRAÇO ROBÓTICO PARA
AUTOMAÇÃO DE BANCADA EXPERIMENTAL**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2022

LORENA CARVALHO TEIXEIRA

**PROJETO DE UM BRAÇO ROBÓTICO PARA
AUTOMAÇÃO DE BANCADA EXPERIMENTAL**

Monografia de Conclusão de Curso apresentada no programa de graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**. Área de Concentração: Transferência de Calor e Sistemas Digitais para Mecatrônica. Orientadora: Profa. Dra. Priscila Ferreira Barbosa de Sousa.

UBERLÂNDIA - MG

2022

*“Tu te tornas eternamente
responsável por aquilo
que cativas”*
(Antoine de Saint-Exupéry)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para que eu nunca desistisse dessa luta. À minha mãe e ao meu pai, que já sonharam tanto comigo para que tudo fosse alcançado com sucesso. À minha irmã, que sempre foi meu socorro nas horas difíceis.

Quero agradecer à professora Priscila Ferreira Barbosa de Sousa a oportunidade, o apoio e, sobretudo, a orientação durante o processo de construção deste trabalho. Estendo estes agradecimentos a todos os meus professores que, ao longo dos anos, se dedicaram a essa jornada.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em nome da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), por proporcionar um serviço público de qualidade para que eu me tornasse uma Engenheira Mecatrônica.

RESUMO

O desenvolvimento de técnicas para a solução de problemas inversos em engenharia biomecânica é uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Transferência de Calor: Modelagem e Experimento (LTCME). O laboratório faz parte da Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia. Uma técnica inversa para a detecção precoce de câncer de mama, baseada no método da impedância térmica, é um dos trabalhos em desenvolvimento. A bancada experimental desenvolvida para este estudo simula a mama e inclusões, que são fontes internas de aquecimento. Durante os experimentos a amostra recebe uma fonte externa de calor. Esse calor é fornecido por irradiação a partir de uma lâmpada infravermelha e deve acontecer em ciclos pré-determinados. Este trabalho nasceu da demanda de otimizar a bancada experimental, tendo por objetivo a criação de um braço robótico capaz de permitir e bloquear a irradiação da amostra em ciclos programados pelo usuário. O braço robótico se faz necessário para melhor precisão, controle do tempo e possibilidade de adequação dos parâmetros durante o teste.

Palavra-chave: Braço robótico, Transferência de Calor, Protótipo, bancada experimental

ABSTRACT

The development of techniques for the solution of inverted problems in biomechanic engineering it's one of the lines of research of the Laboratory of Teaching and Research in Heat Transfer: Modeling and Experimentation (LTCME). The lab makes part of the mechanical engineering college at Federal University of Uberlândia. An inverted technic for the detection in the early stages of breast cancer, based on the method of thermal impedance, is one of the works in progress. The experimental table set for this study simulates the breast and inclusions, that are sources of internal heating. During the experiments, the sample receives an external heating supply. This heat is provided by irradiation coming from an infrared lamp and should happen in predetermined cycles. This work was conceived by the demand of optimizing the experimental table, having the objective of creating a robotic arm capable of allowing and blocking the irradiation of the sample in cycles programmed by the user. The robotic arm makes himself needed for better precision, control of time and possibility of adapting the parameters during the test.

Keywords: robotic arm, heat transfer, prototype, test bench.

Lista de Abreviaturas e Siglas

LTCME - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Transferência de Calor: Modelagem e Experimento

ABS - Acrilonitrilabutadieno estireno

MDF - Fibras de Média Densidade

CLP - Controlador Lógico Programável

Lista de Símbolos

R	Resistência elétrica	[Ω]
U	Tensão	[V]
T	Temperature	[$^{\circ}\text{C}$]
P	Potência	[W]
m	Unidade de medida	[cm]
m	Unidade de medida	[mm]
t	Unidade de tempo	[ms]

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos Gerais.....	12
1.2 Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO II.....	14
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. Teste de impedância térmica em um modelo da mama	14
CAPÍTULO III	18
METODOLOGIA.....	18
3.1 Demandas de projeto	18
3.2. Etapas do projeto	19
3.2.1 Desenvolvimento da estrutura	19
3.2.2 Detalhamento da estrutura do protótipo	24
3.2.3 Detalhamento da placa controladora	33
3.2.4 Interface via aplicativo	36
CAPÍTULO IV.....	47
RESULTADOS	47
CAPÍTULO V	52
CONCLUSÕES	52
CAPÍTULO VI.....	54
TRABALHOS FUTUROS	54
CAPÍTULO VII.....	55
REFERÊNCIAS	55
ANEXO A – TABELA ASCII	58

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

De acordo com Aldebrand (2019), sistemas automáticos estão presentes em diversos setores da economia, incluindo os setores agrícola, industrial, comercial e predial. Com o avanço da tecnologia, inúmeras atividades estão sendo realizadas por máquinas e robôs, especificamente os robôs manipuladores, cuja utilização nos campos privado, comercial e militar cresce de maneira expressiva. A utilização destes também se tornou frequente na medicina, como em cirurgias, na tele operação e na reabilitação por meio de próteses de membros inferiores e superiores.

Dentro das fábricas e montadoras, os robôs são responsáveis por diversos trabalhos, antes executados por seres humanos. Uma grande vantagem é que os robôs podem trabalhar por horas sem a necessidade de descanso, além de serem precisos e confiáveis. Outra vantagem é a possibilidade de trabalharem em áreas de riscos preservando o ser humano.

Os robôs manipuladores, ou braços robóticos, têm sido utilizados como objeto de pesquisa no desenvolvimento de aplicações, como pintura, soldagem, movimentação de objetos para fins didáticos e caseiros com caráter de baixo custo.

O desenvolvimento de um robô manipulador não é algo trivial. A robótica requer conhecimentos interdisciplinares, tais como dinâmica, cinemática, elétrica, programação de algoritmos, controle de sistema, inteligência artificial, operações em sistema em tempo real, entre outros.

No Laboratório de Ensino e Pesquisa em Transferência de Calor: Modelagem e Experimento (LTCME) a técnica da impedância térmica vem sendo desenvolvida para diversas aplicações, dentre elas a detecção do câncer de mama. Menegaz (2018) utiliza o método da impedância térmica para a detecção de inclusões em modelos, fazendo uma analogia à detecção de danos a partir do método da impedância eletromecânica. Em linhas

gerais, como as células do corpo humano, tecido saudável ou não saudável, são estruturas físicas com massa, rigidez e amortecimento, estas podem ser representadas por um sistema dinâmico. Logo, é possível representar o tecido humano por um sistema térmico equivalente, estabelecendo uma equivalência entre sistemas térmicos, elétricos e mecânicos.

A longo prazo a técnica visa contribuir para com o diagnóstico efetivo e precoce do câncer de mama, detectando anomalias de forma não invasiva, ou seja, sem causar desconforto ao paciente, com acessibilidade para pessoas com deficiência ou com baixa mobilidade, custo acessível, sem a produção de resíduos radioativos, sem instalações hospitalares. O trabalho científico para o desenvolvimento e a consolidação de uma técnica inversa envolve várias etapas, entre simulações numéricas e análises experimentais, para que a técnica seja amplamente difundida e aplicada.

Contudo, a contribuição deste trabalho com a técnica se aplica na análise experimental. A partir das demandas do experimento foi desenvolvido um braço robótico que tem por finalidade substituir a ação humana nos controles do tempo e da exposição da amostra a uma fonte de calor externa. Assim, o foco neste trabalho é o projeto e desenvolvimento do braço robótico para ampliar as possibilidades de uso da bancada experimental, otimizando os experimentos, automatizando operações, proporcionando resultados mais precisos e menos dependentes de ação e supervisão humana. Logo, a técnica da impedância térmica não será detalhada neste contexto; e sim, os detalhes experimentais da análise que definiram as variáveis de projeto.

1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento de um protótipo robótico capaz de permitir e bloquear a emissão de luz infravermelha em uma dada amostra.

1.2 Objetivos Específicos

- Análise da bancada
- Determinação das demandas de projeto
- Projeto e desenvolvimento de braço mecânico;
- Construção do braço mecânico;
- Desenvolvimento de interface gráfica para fácil manuseio de qualquer usuário;
- Utilização de servo motores;
- Conexão com o computador através de comunicação serial;
- Criação de circuito para funcionamento de protótipo;
- Realização de simulações;
- Teste de protótipo em bancada.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Problemas térmicos decorrentes do processo bioquímico existente no corpo humano podem ser representados por um sistema dinâmico. Como as células do corpo humano são estruturas físicas é possível estabelecer uma equivalência entre sistemas térmicos, elétricos e mecânicos. No trabalho de Menegaz (2019) uma analogia à detecção de danos a partir do método da impedância eletromecânica é apresentada e denominada método da impedância térmica. No método da impedância eletromecânica, transdutores piezelétricos são acoplados à estrutura analisada e permitem o monitoramento das mudanças da massa, rigidez e/ou amortecimento e a consequente detecção da inclusão. O mesmo procedimento é aplicado no método da impedância térmica que, por sua vez, consiste na razão entre a variação da resposta da temperatura superficial da estrutura em função da aplicação de um fluxo de calor externo. No modelo térmico estão presentes fontes de calor não conhecidas comportando-se, assim, como um problema inverso. Os aspectos matemáticos e teóricos da técnica inversa não serão aprofundados neste trabalho.

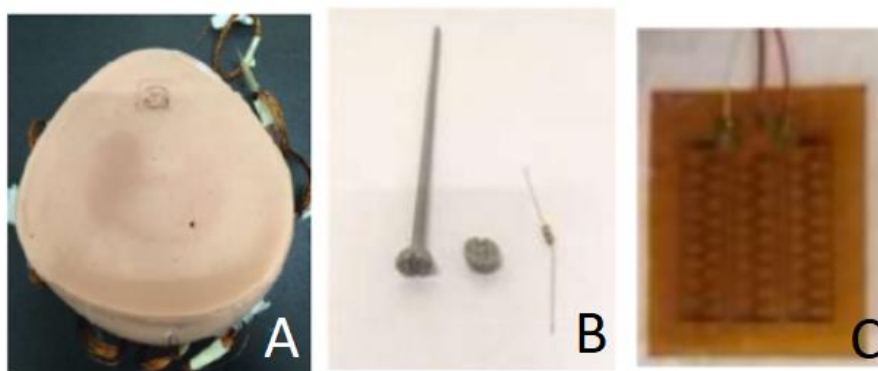
2.1. Teste de impedância térmica em um modelo da mama

O método da impedância térmica é uma técnica não invasiva que consiste em medir experimentalmente a temperatura superficial da amostra e o fluxo de calor na superfície. Os testes são feitos num modelo com geometrias semelhantes à da mama, com propriedades físicas e térmicas que simulam as propriedades do corpo humano, chamado de fantoma.

O experimento consiste em um modelo anatômico da mama feito de silicone (L55 3B *Scientific*) que simula a mama sem tumores. As inclusões são de acrilonitrilabutadieno

estireno (ABS), moldadas numa impressora 3D, nos tamanhos de 2 mm e 10 mm. Estas inclusões foram colocadas na parte inferior do modelo, conforme Figura 2.1, simulando um tumor. Este local foi escolhido por apresentar maior incidência de tumores mamários (Aguillar, Bauab e Maranhão 2009).

Figura 2.1 - (A) Modelo anatômico da mama com o orifício para inserção das inclusões. (B) Inclusão de 10 mm com a resistência utilizada nos ensaios. (C) Transdutor de fluxo de calor HFS-3 e um sensor de temperatura do tipo K (Omega®).



Fonte: Adaptado de SAAD, I. S., 2020.

A resistência elétrica utilizada para causar uma variação de temperatura em cerca de 2 °C foi de 4 Ω , e a geração de calor dentro das inclusões foi atingida com uma tensão de 30 V, seguindo estudos anteriores de detecção de câncer por termografia. Isso ocorre devido ao metabolismo de células cancerígenas existentes na mama que ocasionam a produção de óxido nítrico, que altera o fluxo sanguíneo em vasos adjacentes, causando vasodilatação nos estágios iniciais do desenvolvimento tumoral. Em razão desse aumento do fluxo sanguíneo, ocorre um aumento na temperatura se comparando com a temperatura natural da mama (Borchardt et al, 2013).

Um aumento de 2 °C no modelo foi semelhante aos observados em estudos anteriores, comparando mamas saudáveis e com tumores (Jiang, Zhan e Loew, 2011)

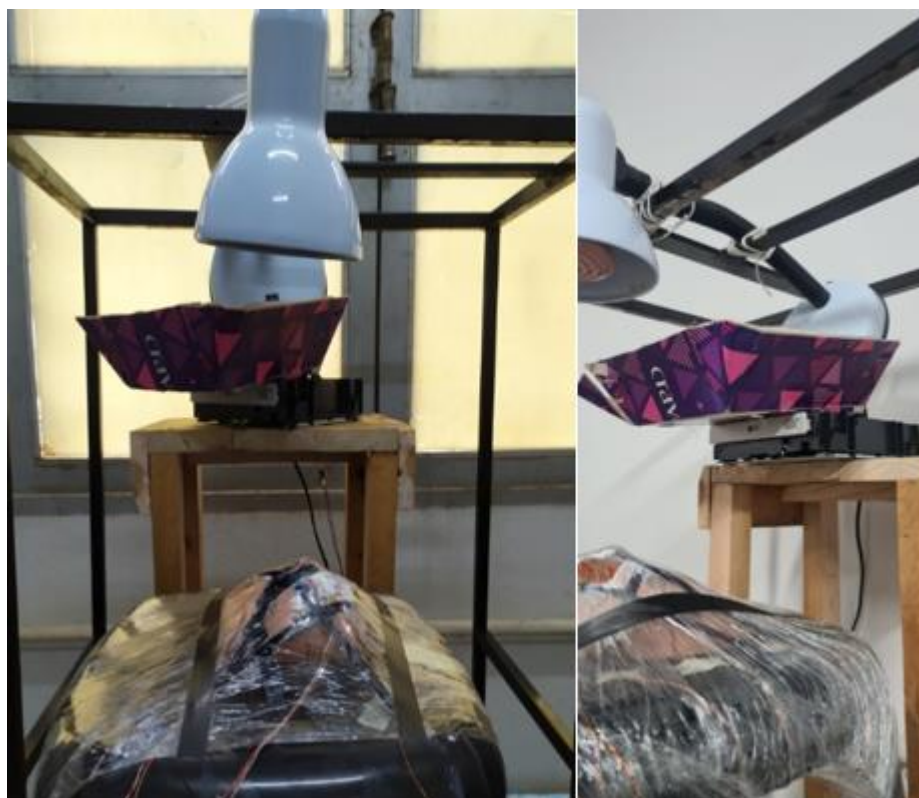
O fluxo de calor externo foi gerado por uma lâmpada infravermelha de 60 W a ser posicionada a aproximadamente 17,5 cm de altura e paralela ao modelo da mama. A medição do fluxo de calor e temperatura foram efetuadas utilizando dois transdutores de fluxo e um sensor de temperatura do tipo K, sendo que um dos transdutores foi posicionado no quadrante superior do modelo, acima da inclusão e o segundo posicionado entre os quadrantes externo

e interno inferiores. Logo após, para que o sistema possa estar em estado estacionário, espera-se duas horas para o teste com as inclusões.

Todo o aparato experimental foi colocado em um ambiente com temperatura controlada ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), para que interferências do ambiente externo sejam evitadas.

A Figura 2.2 apresenta a montagem experimental projetada para detecção do dano usando o método de impedância térmica. A estrutura consiste em um protótipo de silicone em cima de um banco e uma lâmpada infravermelha que aquece a amostra por irradiação em ciclos periódicos controlados pelo pesquisador. A fonte externa de calor precisa ser constante por isso não é possível desligar e ligar a lâmpada para estabelecer os ciclos de aquecimento. Assim, os ciclos são obtidos por meio de um anteparo opaco que bloqueia a incidência da irradiação, o responsável pelo experimento controla o tempo de exposição e de bloqueio manualmente.

Figura 2.2 - Aparato experimental.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A Figura 2.2 mostra ainda uma solução semiautomática para o avanço e recuo do anteparo, nesta solução o anteparo está acoplado a um drive de CD. Cada teste experimental é repetido 10 vezes, o teste dura cerca de 9 minutos. O aquecimento externo começa a ser aplicado após o primeiro minuto, sendo, a partir daí, 1 minuto de aquecimento e 1 minuto sem aquecimento, até o final do experimento.

Neste trabalho desenvolveu-se um braço robótico para a bancada experimental do LTCME a fim de automatizar o processo.

Com o protótipo será possível além de permitir e bloquear a irradiação, determinar o tempo de abertura e fechamento do anteparo que controla a emissão de luz, alterar a altura do anteparo e, ainda, será possível posicionar a haste nos sentidos horizontal ou vertical, conforme demanda experimental. Essas ações serão controladas via aplicativo de celular com interface amigável, o que contribui para agilizar o experimento e o trabalho do pesquisador.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

Para se executar um projeto o primeiro passo é estabelecer as demandas desse projeto. A partir das demandas, ou seja, o que é necessário que o projeto resolva, busca-se soluções executáveis de projeto. De posse das possíveis soluções, testam-se as opções. A concepção do projeto depende de material, custo, orçamento, entre outros. O protótipo final é uma somatória de acertos e erros e de uma trajetória de ações e execuções. Nesta seção descreve-se o projeto desde as demandas iniciais até o protótipo final.

3.1 Demandas de projeto

O projeto surgiu da necessidade de automatizar uma bancada experimental no que tange o aquecimento externo, que é realizado de forma cíclica através de irradiação infravermelha. A bancada é parte de um projeto que visa detectar de forma não invasiva tecidos cancerígenos na mama através de aquecimento sem contato por meio da impedância térmica.

A bancada experimental e o experimento encontram-se detalhados no Capítulo 2 deste texto. Observa-se que o aquecimento externo da amostra é realizado de forma semiautomática, com o auxílio de um drive de CD.

Este trabalho surgiu da demanda de otimizar a bancada experimental, tendo por objetivo a criação de um braço robótico capaz de permitir e bloquear a irradiação da amostra em ciclos programados pelo usuário.

As demandas específicas de projeto são listadas a seguir:

- Abertura e fechamento do anteparo automáticos
- Tempo de abertura e fechamento programáveis
- Adaptação automática da altura do anteparo
- Possibilidade de usar o anteparo nos planos horizontal e vertical
- Interface clara e amigável para executar as ações.

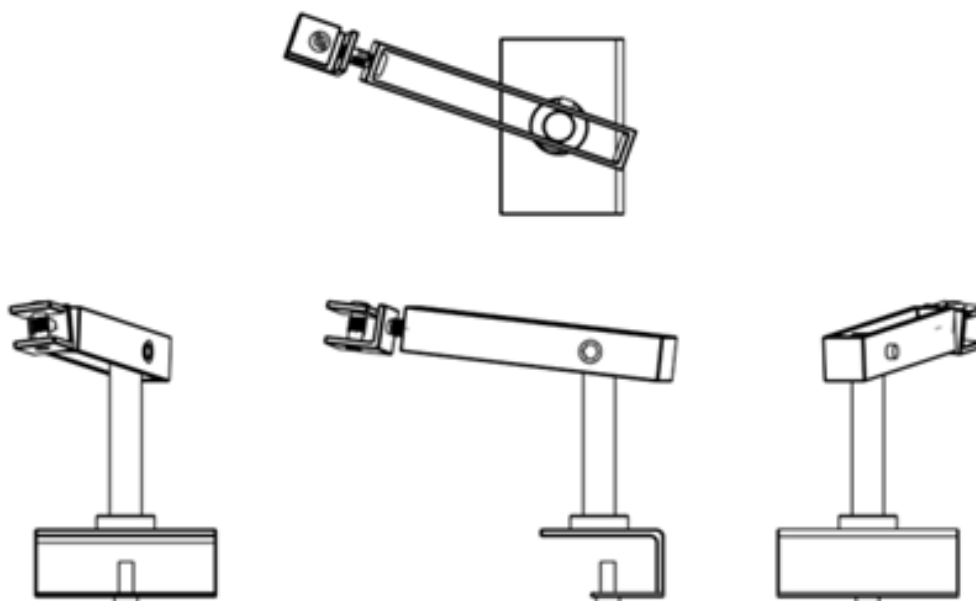
Assim, com o protótipo, será possível, além de permitir e bloquear a irradiação, determinar o tempo de abertura e fechamento do anteparo que controla a emissão de luz, alterar a altura do anteparo e, ainda, será possível posicionar a haste nos sentidos horizontal ou vertical. Essas ações serão controladas via aplicativo de celular com interface amigável, o que contribui para agilizar o experimento e dar mais liberdade ao pesquisador.

3.2. Etapas do projeto

3.2.1 Desenvolvimento da estrutura

Definidas as demandas de projeto fez-se o desenho das peças e do conjunto a ser construído, utilizando o software *SolidWorks*®. Dessa forma, foi possível visualizar o produto acabado e modificá-lo, caso houvesse necessidade, Figura 3.1.

Figura 3.1 - Desenho técnico protótipo.



Fonte: Desenho Técnico no SolidWorks®, 2020.

A avaliação do desenho leva em consideração as dimensões fixadas pelos requisitos de projeto, bem como a forma da estrutura, que deve ser reduzida e resistente suficiente para suportar o anteparo de bloqueio da lâmpada, de fácil manuseio e, ainda, deve ser leve, para que os motores suportem a carga.

Um protótipo foi feito para que fosse possível visualizar onde seriam colocados os motores e o posicionamento da lâmpada. O primeiro protótipo foi feito de aço 1020 para que tivesse alta durabilidade. Este modelo possuía 4 partes desmontáveis por parafusos, sendo possível trocar cada uma delas quando fosse necessário. Toda sua estrutura foi usinada, fresada e pintada para que ficasse com uma melhor visualização. Percebeu-se que a estrutura ficou muito pesada, então foi descartada, Figura 3.2.

Figura 3.2 – Protótipo de aço 1020.

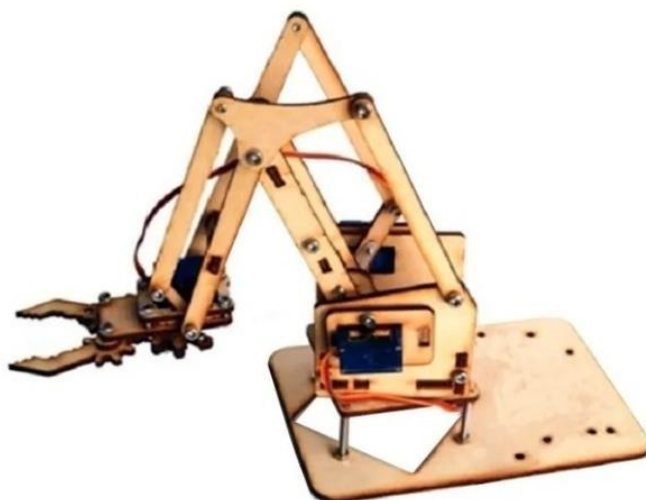


Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

O protótipo inicial, Figura 3.2, foi descartado porque não foi possível implementar o *Arduino* e motores devido ao peso elevado da estrutura. Ele se move na base no eixo z para direita e para a esquerda e, ainda, no eixo y para cima e para baixo. O elemento terminal mantém a placa na forma horizontal e vertical. Todo o movimento é feito de forma manual, no entanto, seria manual apenas a parte de colocar o anteparo, ou seja, a placa de isopor (anteparo, material que bloqueia/libera a radiação).

Após as complicações observadas no primeiro protótipo adquiriu-se um braço robótico de madeira comercial, conforme Figura 3.3. O braço comercial foi adquirido visando compreender melhor o funcionamento dos motores e realizar uma programação básica dos movimentos.

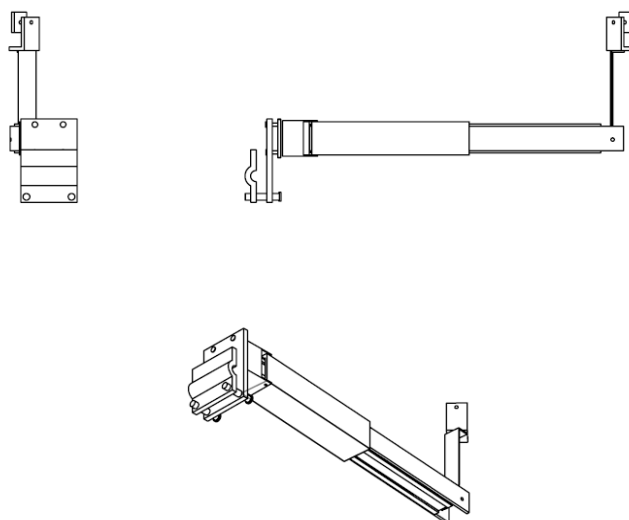
Figura 3.3 - Protótipo de madeira comercial



Fonte: BR ELETRONICA E IMPRESSÃO 3D, 2022.

Na Figura 3.4 apresenta-se o desenho técnico do protótipo feito em madeira pinus e Fibras de Média Densidade (MDF), mais leve e que apresentava uma melhor forma para a inserção dos motores. No entanto, a estrutura ainda estava pesada e a base não suportou o movimento do conjunto todo. Outro problema deste protótipo é que não foi possível implementar o motor na base do conjunto para o movimento de rotação horizontal, um dos requisitos de projeto.

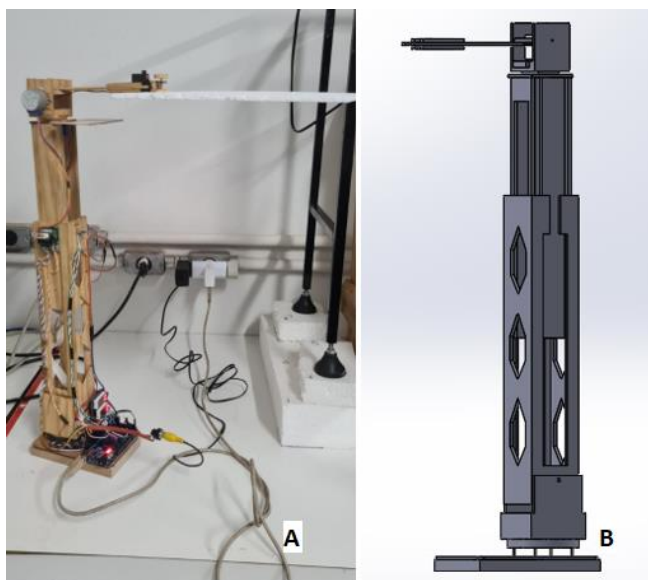
Figura 3.4 - Desenho técnico protótipo em MDF no SolidWorks®.



Fonte: Desenho Técnico no SolidWorks®, 2020.

Com os testes anteriores foi possível chegar à forma final do projeto. O braço tem estrutura em madeira MDF e pinus com peças montáveis com auxílio de parafusos e cola, conforme Figura 3.5.

Figura 3.5 – (A) Modelo final do protótipo em MDF, (B) Modelo em SolidWorks® do protótipo.



Fonte: (A) Elaborada pelo autor, 2021. (B) Protótipo no SolidWorks®, 2020.

Abaixo listam-se os materiais utilizados na confecção final do protótipo robótico:

- Madeira MDF
- Madeira pinus
- 1 placa *ARDUINO* MEGA2560
- 2 *displays* TM1637
- 1 módulo *bluetooth* HC-06
- 1 sensor VL53L0X
- 3 motores DC com controladores MOTOR DE PASSO 28BYJ-48 e ULN2003APG
- Micro Servo EMAX ES08MA II 12g. Metálico
- Cabo *flat* (Cabo em conjunto que interliga o *driver* do motor 2 aos *jumpers* que vão ao *Arduino*)
- *Jumpers* (Cabo que interliga os componentes eletrônico ao *Arduino*).

3.2.2 Detalhamento da estrutura do protótipo

Para chegar ao protótipo final avaliou-se todas as necessidades do laboratório. O tempo de abertura deveria ser diferente do tempo de fechamento, por isso fez-se uso de dois *displays*.

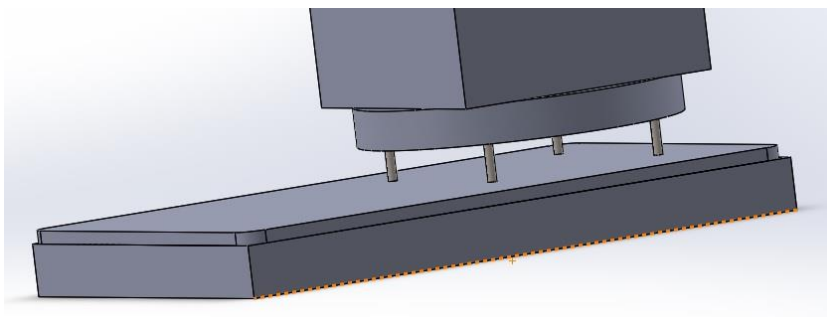
Para a comunicação entre dispositivo (*Smartphone*) e protótipo colocou-se o módulo *bluetooth*. Para a interface clara e amigável fez-se uso de um aplicativo de celular, que será descrito em outra seção do Projeto.

Para estrutura mecânica do protótipo definiu-se a altura que ele deveria trabalhar na atual configuração da bancada, entre 37,5 e 53,8 cm, o protótipo chega a uma altura de segurança limite de até 57,8 cm.

Inicialmente fez-se os desenhos de como seria montado o dispositivo, sendo um caixote acoplado a outro. A base do protótipo é composta por duas peças, uma base retangular de dimensões 94x144x150 mm e, colada a essa base, uma segunda base com dimensões 95x143x3 mm onde será acoplado o *Arduino*.

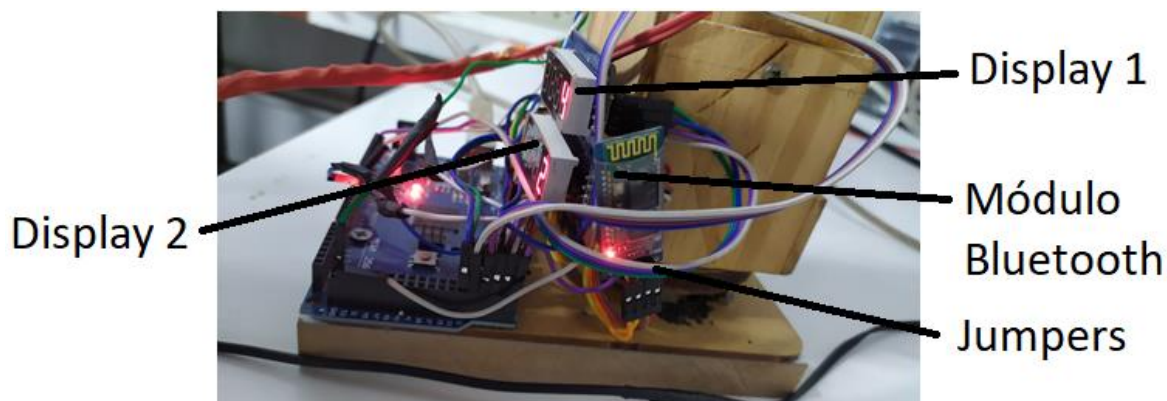
Acima desta base retangular tem uma peça redonda com diâmetro de 74 mm e altura de 9 mm que é acoplada à base por meio de quatro parafusos com porca, para ajuste de altura, sendo possível ajustar o nível da estrutura, Figura 3.6 e 3.7.

Figura 3.6 - Simulação do SolidWorks® da estrutura básica do Protótipo.



Fonte: Protótipo no SolidWorks®, 2020

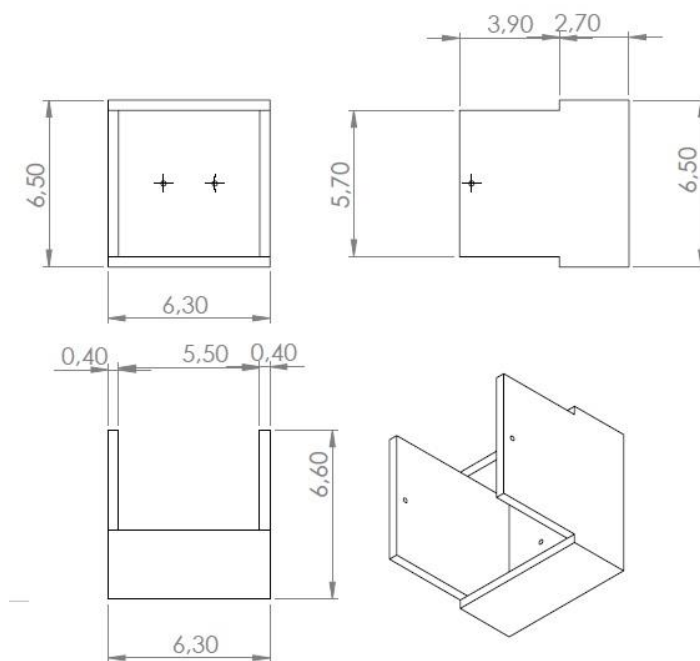
Figura 3.7 - Foto da base com o Protótipo montado.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Logo acima da base redonda visualiza-se, na Figura 3.7, a base dos caixotes. Esta peça foi montada com madeira pinus. É na base dos caixotes que são colocados os *displays* 1 (cima) e 2 (baixo), bem como o módulo *Bluetooth*. Os detalhes dimensionais desta base se encontram na Figura 3.8.

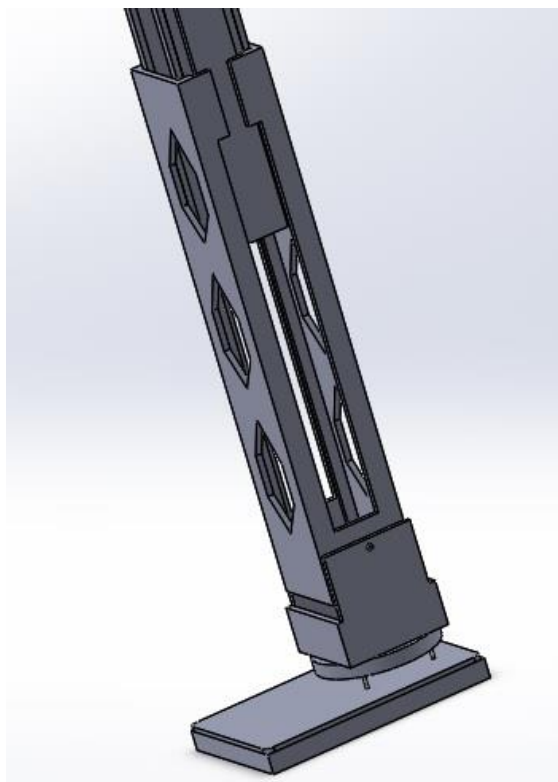
Figura 3.8 - Desenho técnico retirado do SolidWorks® da estrutura de apoio aos caixotes do Protótipo.



Fonte: Desenho Técnico no SolidWorks®, 2020

O caixote externo mede 56x58x320 mm com alguns rasgos em forma de losango, conforme Figura 3.9.

Figura 3.9 - Simulação do SolidWorks® do caixote externo do Protótipo.

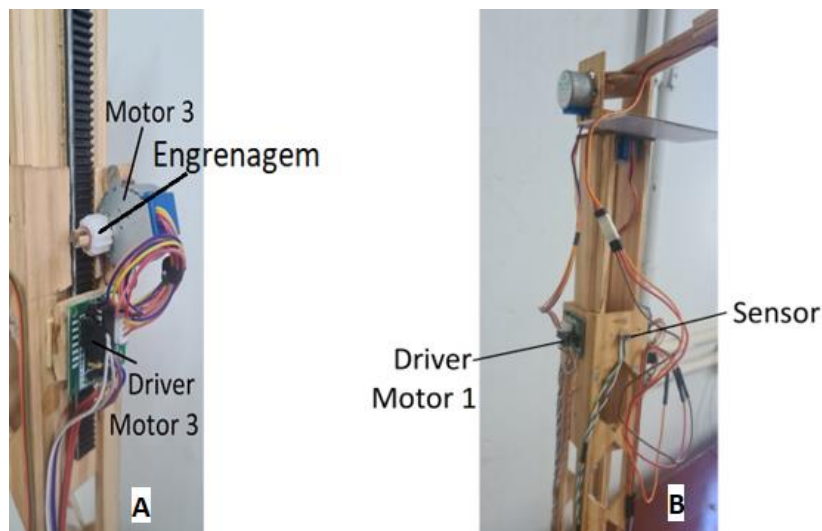


Fonte: Protótipo no SolidWorks®, 2020

Nesta estrutura, Figura 3.9, são acoplados o motor de passo 1 e seu respectivo *driver* que são responsáveis pelo movimento vertical da haste horizontal.

O *driver* do motor de passo tem como função converter sinais de pulso do controlador em movimento do motor, dessa forma, tem-se um posicionamento preciso. Ainda, no caixote externo do protótipo estão posicionados o sensor responsável por enviar dados de altura ao *display 2*, alguns *jumpers* (cabos que interligam os componentes eletrônico ao *Arduino*) que foram alinhados ao longo da estrutura para deixá-la mais organizada e o motor 3, com uma engrenagem acoplada a sua ponta que, junto com o *driver 3*, é responsável pelo movimento de subida e descida do conjunto. Essa montagem pode ser observada na Figura 3.10.

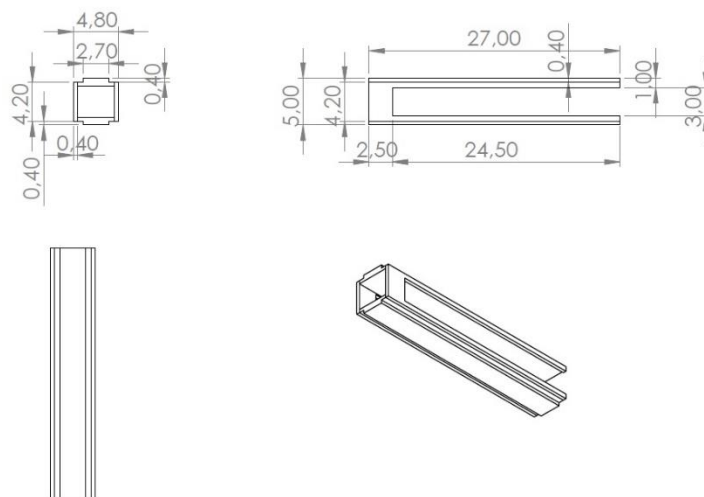
Figura 3.10 – (A) Componentes eletrônicos do caixote externo (Vista lateral direita). (B) Componentes eletrônicos do caixote externo (Vista frontal). Foto de como o Caixote externo ficou montado.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O caixote interno tem forma retangular com dimensões 42x48x270 mm, com dois ressaltos do lado maior de dimensões 27x4x270 mm e um rasgo do lado menor que mede 30x4x245 mm, conforme Figura 3.11.

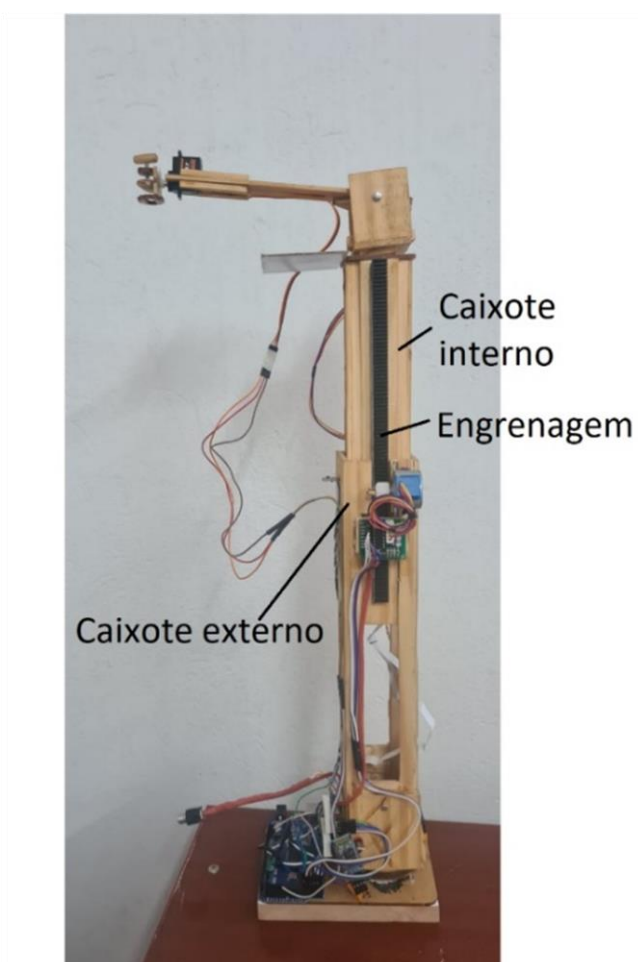
Figura 3.11 - Desenho técnico retirado do SolidWorks® do caixote interno do Protótipo.



Fonte: Desenho Técnico com cotas no SolidWorks®, 2020.

Na estrutura do caixote interno foi colada a cremalheira que, junto com o motor 3 e *driver* do motor 3, é responsável pelo movimento de subida e descida do conjunto completo. A montagem dos caixotes interno e externo é apresentada na Figura 3.12.

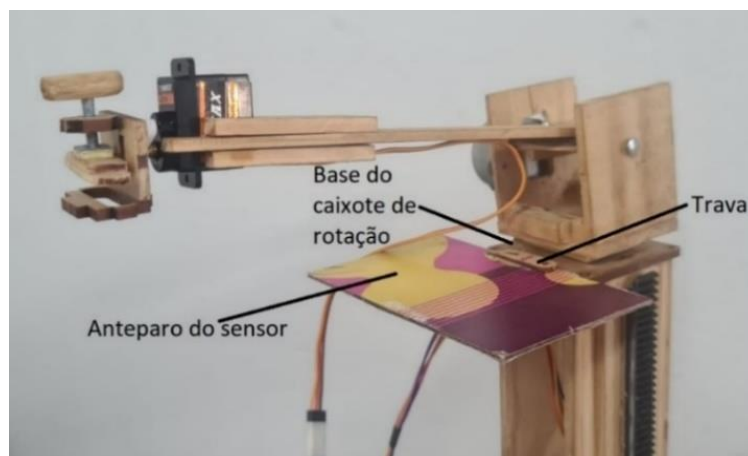
Figura 3.12 - Foto de como os Caixotes ficaram montados.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Em cima do caixote interno tem-se uma placa em MDF, aqui denominada de base do caixote de rotação. Essa estrutura mede 50x50x3 mm com um furo no meio de 2 mm. Ainda, na base do caixote de rotação está localizado o anteparo de bloqueio do sensor de altura do conjunto, o anteparo do sensor é fixado à base do caixote de rotação por uma peça chamada de trava, feita em MDF, com dimensões 30x5x3 mm, conforme Figura 3.13.

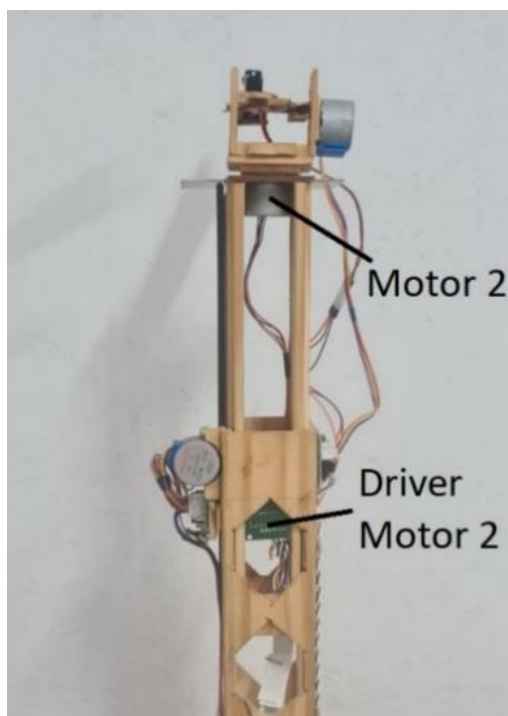
Figura 3.13 - Foto da Base do caixote de rotação montada.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na base do caixote de rotação está acoplado o motor 2 que é responsável pelo movimento de rotação. Na parte interior do caixote interno está inserido o *driver* do motor 2, que é ligado ao *Arduino* através de *jumpers* e de um cabo *Flat*, que possui maior mobilidade para o movimento de subida e descida da estrutura, Figura 3.14.

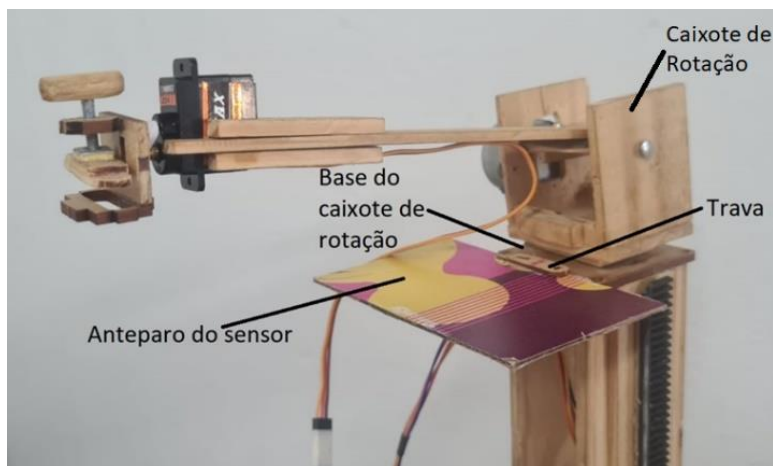
Figura 3.14 - Foto da montagem do Motor 2 e *Driver* 2.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na Figura 3.15 observa-se que acoplado ao motor 2 está o caixote de rotação, que é responsável pelo movimento de rotação horizontal.

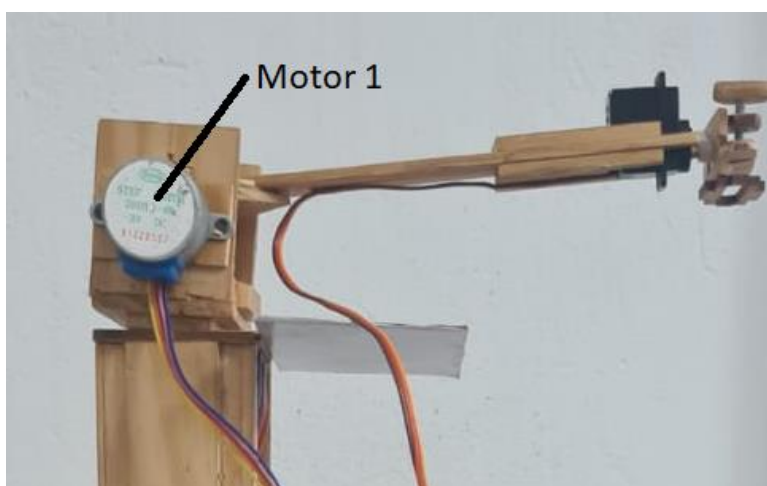
Figura 3.15 - Foto do conjunto Base do Caixote de Rotação e Caixote de Rotação.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Nesta estrutura, denominada caixote de rotação, está o motor 1, responsável pelo movimento vertical da haste horizontal, conforme Figura 3.16.

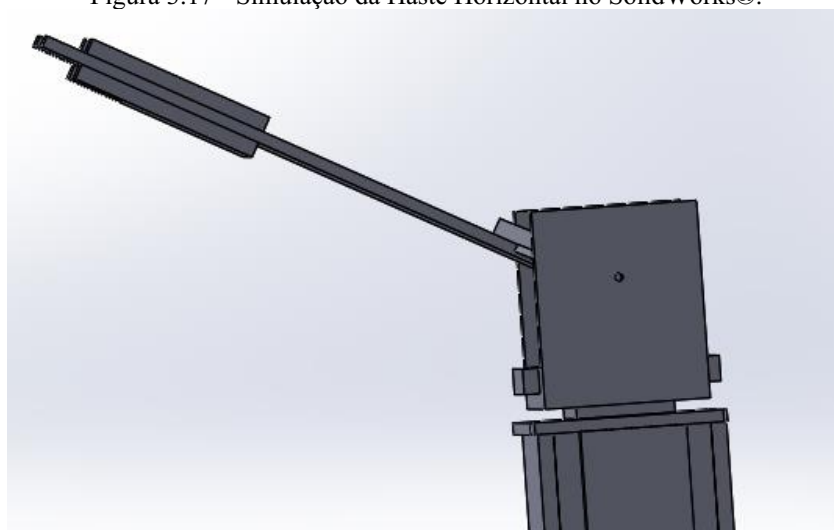
Figura 3.16 – Foto do motor 1 acoplado ao Caixote de Rotação.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A haste horizontal foi montada a partir de quatro peças, conforme Figura 3.17 da Simulação do item no *SolidWorks*®.

Figura 3.17 - Simulação da Haste Horizontal no SolidWorks®.



Fonte: Protótipo no SolidWorks®, 2020.

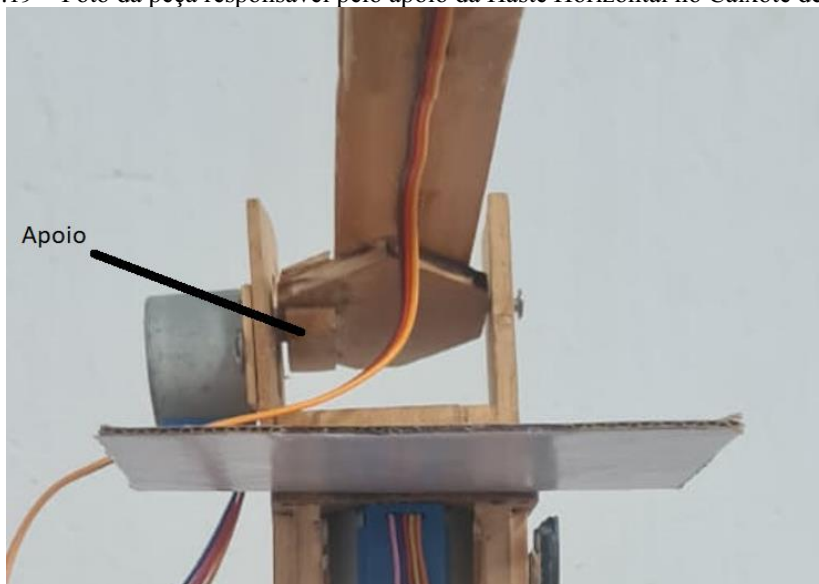
O modelo final da Haste Horizontal é apresentado em detalhes na Figura 3.18. A Figura 3.19 mostra a peça responsável pela união entre base de rotação e haste horizontal, denominada apoio.

Figura 3.18 – Foto da Haste Horizontal acoplada ao Caixa de Rotação.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

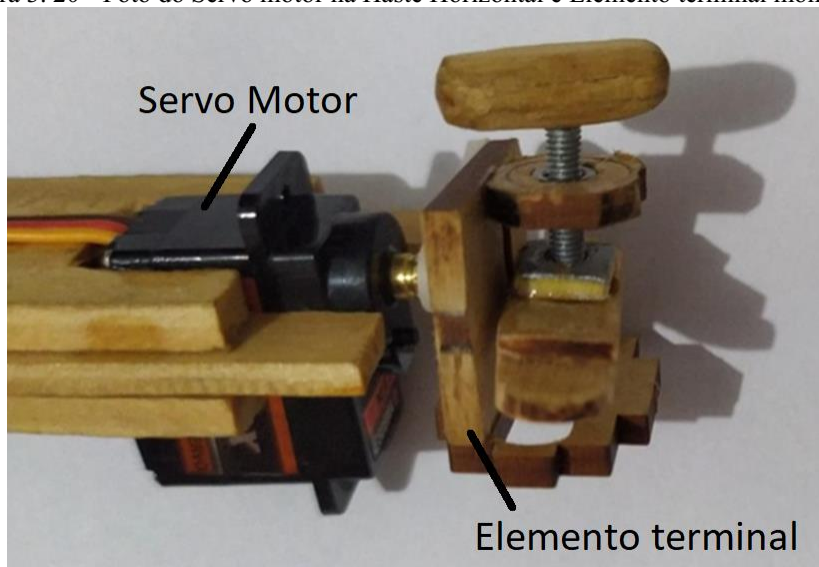
Figura 3.19 – Foto da peça responsável pelo apoio da Haste Horizontal no Caixaote de Rotação.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Na haste horizontal está o servo motor, responsável pelo movimento de rotação do anteparo de bloqueio da luz (placa de isopor). É o servo motor que permite movimentar o anteparo para a posição vertical ou horizontal, o que pode ser visto em detalhe na Figura 3.20.

Figura 3. 20 - Foto do Servo motor na Haste Horizontal e Elemento terminal montados.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na Figura 3.20 ainda se observa o elemento terminal. No elemento terminal é colocado o anteparo de bloqueio da luz. Importante observar que é limitação de projeto que o anteparo tenha um peso máximo de 5 gramas. Nesta montagem está sendo usada uma placa de isopor de 254x224x15 mm.

3.2.3 Detalhamento da placa controladora

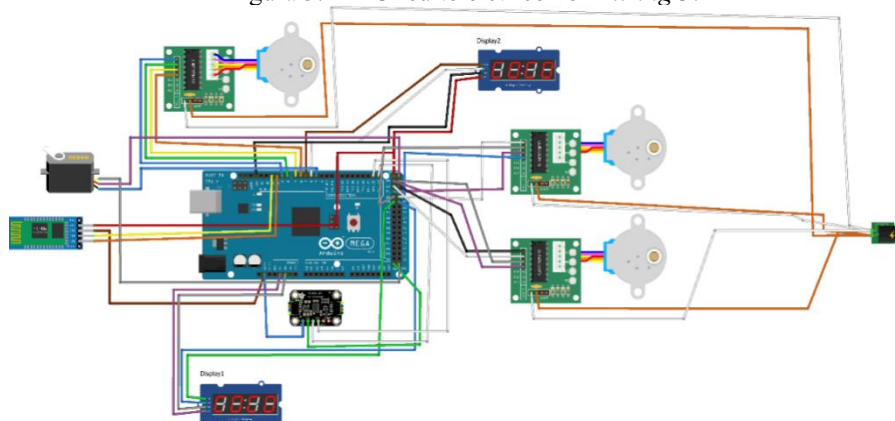
Para conclusão do projeto foram utilizados 3 motores de passo de corrente contínua (CC) juntamente com seus *drivers* comandados:

- Motor 1 - movimento de rotação vertical da Haste Horizontal (subir e descer).
- Motor 2 - movimento de rotação horizontal da Haste horizontal (direita / esquerda),
- Motor 3 - cremalheira (subir e descer estrutura completa),

Além dos motores de passo, responsáveis pela movimentação do braço, um servo motor foi usado para atender a demanda de abertura e fechamento do anteparo com o movimento do elemento terminal em 90° (horizontal e vertical).

Na Figura 3.21 temos o diagrama elétrico do conjunto. O programa utilizado para a confecção do diagrama elétrico foi o *Fritzing*.

Figura 3.21 - Circuito elétrico no *Fritzing*®.



Fonte: Software Fritzing®, 2021.

O circuito elétrico é alimentado com tensão de 5V, por meio de duas ligações, uma no *Arduino* e outra para os motores.

Segue abaixo uma relação detalhada dos componentes utilizados no protótipo:

- Servo motor EMAX ES08MAII: Possui três *jumper*s para ligação. 5VDC, GND e sinal, conforme Figura 3.22. Foram ligados ao *Arduino* nos pinos 5V, GND e 3, respectivamente.

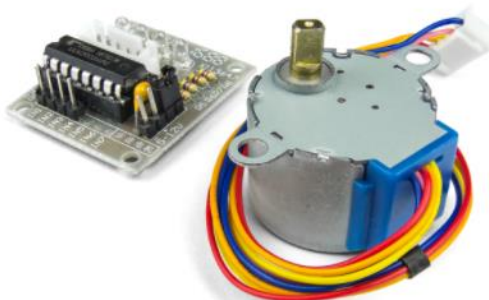
Figura 3.22 - Servo motor EMAX ES08MAII.



Fonte: Mercado Livre, 2020.

- Motor 28BYJ48 com *Driver* ULN2003 (Figura 3.23): O motor é ligado ao *Driver* por 5 fios. E o *driver* é ligado a placa do *Arduino* por 4 *jumper*s e a placa é alimentada externamente com uma fonte de 5V por dois fios.

Figura 3.23 - Motor 28BYJ48 com Driver ULN2003.



Fonte: ROBOCORE, 2020.

No protótipo observa-se três desses motores, abaixo especifica-se as ligações de cada motor na placa *Arduino*:

- Motor 1 – responsável pelo movimento vertical do braço.

Os quatro *jumpers* foram ligados ao *Arduino* aos pinos 6, 7, 8 e 9.

- Motor 2 – responsável pela rotação do conjunto.

Os quatro *jumpers* foram ligados ao *Arduino* aos pinos 22, 23, 24 e 25.

- Motor 3 – cremalheira (subida e descida da haste vertical)

Os quatro *jumpers* foram ligados ao *Arduino* aos pinos 26, 27, 28 e 29.

- Sensor GYVL53L0X (Figura 3.24): O sensor possui quatro fios para ligação VIN, GND, SCL e SDA, que foram ligados aos pinos do *Arduino* VIN (localizados no conjunto *POWER*), GND, SCL (21) e SDA (20) - SCL e SDA localizados no conjunto *COMMUNICATION*.

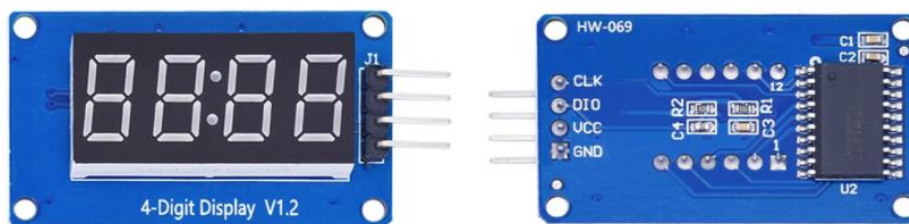
Figura 3.24 - Sensor GYVL53L0X.



Fonte: CASA DA ROBOTICA, 2020.

- Módulo TM1637 (Figura 3.25): O Módulo TM1637 com *Display* 7 Segmentos 4 Dígitos possuem quatro *jumpers* para ligação CLK, DIO, VCC e GND, que foram ligados aos pinos do *Arduino* 30, 31, 5V e GND, respectivamente, para o *Display* 1. Para o *Display* 2, utilizou-se no *Arduino* os pinos 5, 4, 5V e GND, respectivamente.

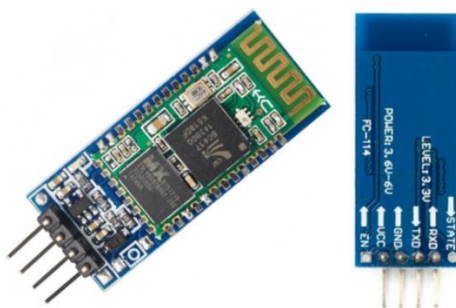
Figura 3.25 - Módulo TM1637 com *Display* 7 Segmentos 4 Dígitos.



Fonte: FILIPEFLOP, 2020.

- Módulo Bluetooth HC-06 (Figura 3.26): Possui quatro *jumpers* para ligação VCC, GND, TXD e RXD, que foram ligados nos pinos do *Arduino* 5V, GND, 11 e 10, respectivamente.

Figura 3.26 - Módulo Bluetooth HC-06.



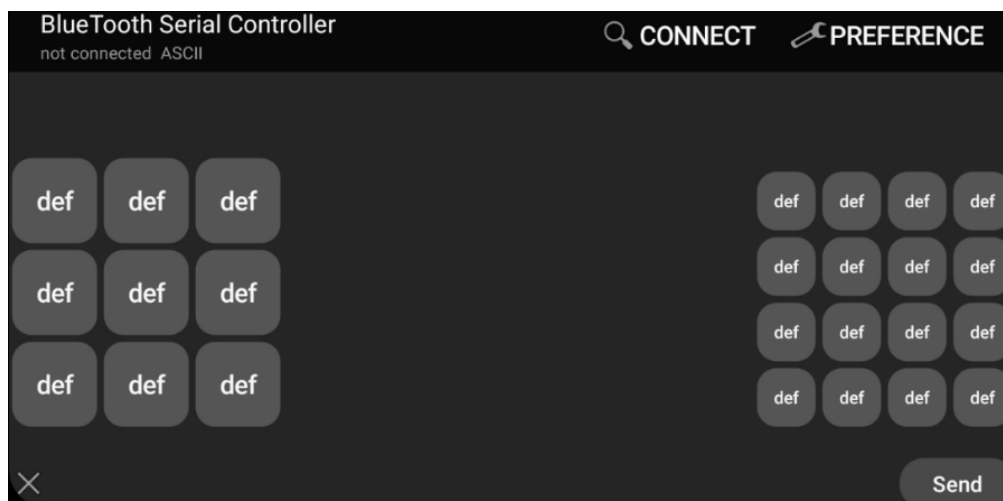
Fonte: BAU DA ELETRÔNICA, 2020.

3.2.4 Interface via aplicativo

Algumas possibilidades foram levantadas para a comunicação entre um dispositivo e o braço robótico. A primeira ideia foi realizar a programação em blocos, no entanto, o processo tornou-se moroso e decidiu-se procurar algum *software* que pudesse implementar apenas alguns comandos na sua interface para realizar todas as funcionalidades do braço. Nesta seção descreve-se a programação do aplicativo e *Arduino* para que os comandos de execução do braço aconteçam a partir do aplicativo.

O *Bluetooth Serial Controller* é um aplicativo gratuito e disponível para dispositivo *Android*, desenvolvido pela *NEXT PROTOTYPES*, que permite a configuração em botões para determinar sua ação no protótipo. Sua tela inicial está demonstrada na Figura 3.27.

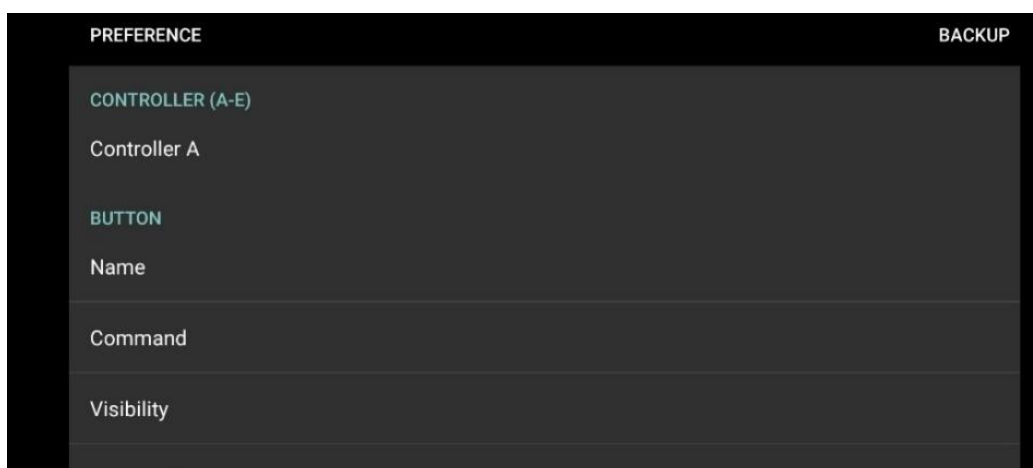
Figura 3.27 - Tela inicial do Aplicativo.



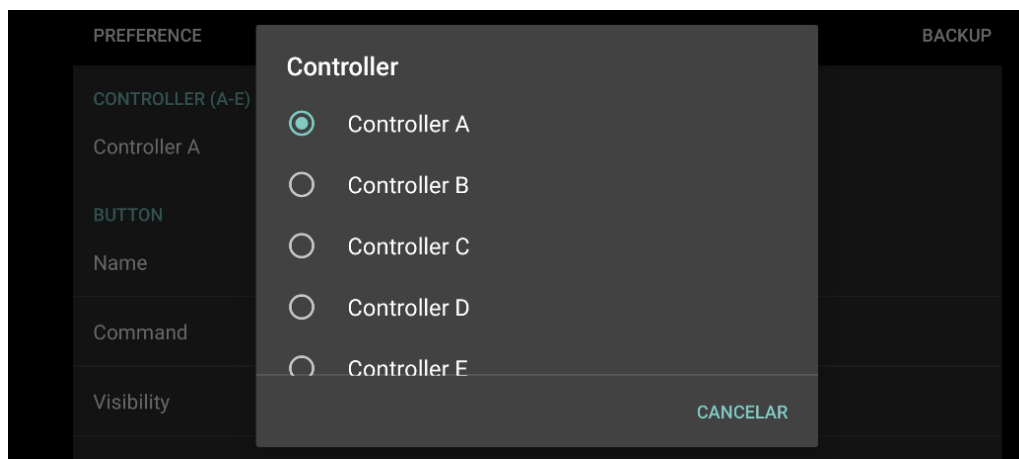
Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Para configurar o Aplicativo "*Bluetooth Serial Controller*" primeiramente identifica-se a Seção "*Preference*" e seleciona-se *Controller A*, conforme Figura 3.28 e 3.29.

Figura 3.28 - Tela com a Seção *Preference*.

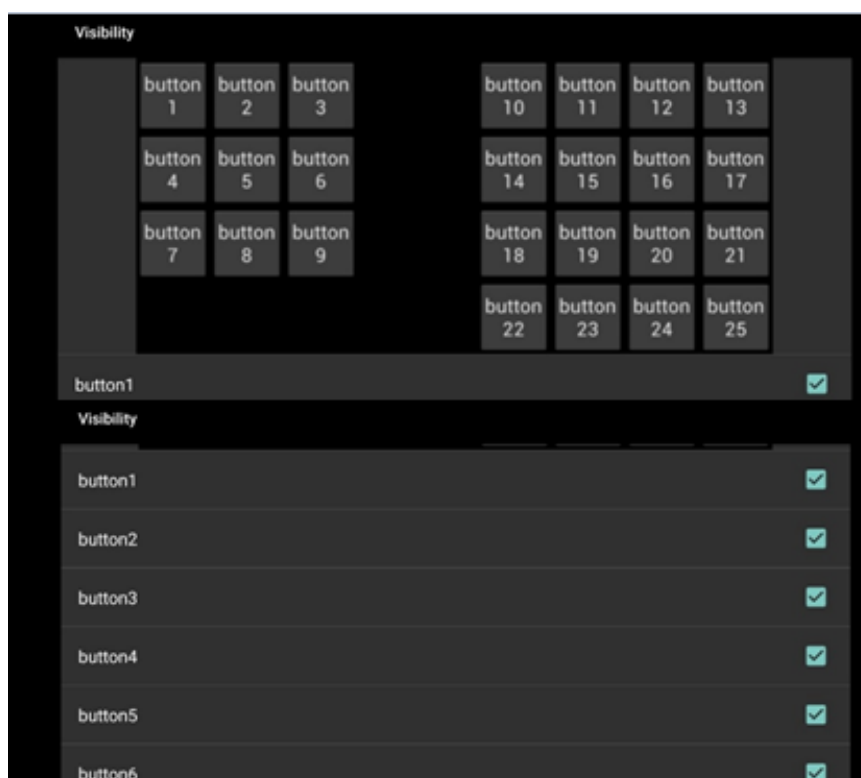


Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Figura 3.29 - Tela com a aba *Controller*.

Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Após isso, seleciona-se os botões que serão usados na Seção “*Visibility*”. Foram selecionados os botões de 1 a 10, 12, 15 ao 18, 20, 22, 23 e 25, conforme Figura 3.30.

Figura 3.30 - Tela com a aba *Visibility*.

Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

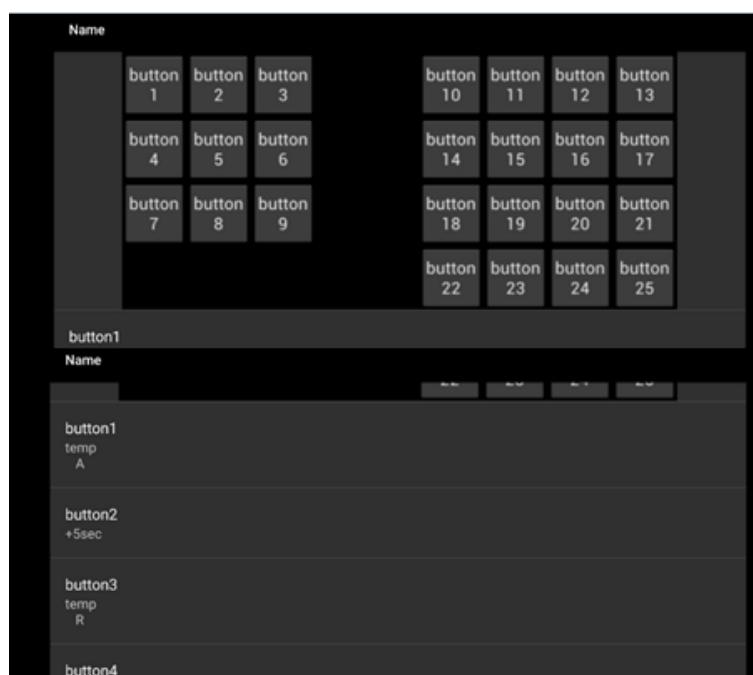
Na Seção “*Name*” nomeia-se os botões escolhidos de uma forma que os botões fiquem intuitivos para os usuários, conforme Tabela 3.1 e Figura 3.31.

Tabela 3.1 – Preenchimento dos botões com nomes compatíveis a instrução do programa ao protótipo.

Botão 1: TEMP A (R)	Botão 12: UP (D)
Botão 2: + 5 SEC (G)	Botão 15: LEFT (A)
Botão 3: TEMP R (S)	Botão 16: AUTO. OFF (L)
Botão 4: + 1 SEC (J)	Botão 17: RIGHT (B)
Botão 5: AUTO. ON (H)	Botão 18: COME DOWN (N)
Botão 6: - 1 SEC (K)	Botão 20: DOWN (C)
Botão 7: MT VERT (O)	Botão 22: ALTURA (Q)
Botão 8: - 5 SEC (I)	Botão 23: VERTIC (E)
Botão 9: MT HORI (P)	Botão 25: HORIZ (F)
Botão 10: MOVE UP (M)	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Figura 3.31 - Tela com a aba *Name*.



Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

As letras a frente do nome escolhido ao botão correspondem aos números de 65 até 83 na programação do *Arduino*, pela Tabela ASCII.

Com os botões 1 (`dadosBT == 82`) e 3 (`dadosBT == 83`) definiu-se qual tempo será modificado, o tempo de avanço (abertura) ou tempo de retorno (cobertura), respectivamente. O bloco no *Arduino* responsável por definir se o tempo será de abertura ou cobertura está mostrado na Figura 3.32, sendo `temp = 1` o movimento na vertical e `temp = 2` o movimento na horizontal.

Figura 3.32 - Bloco no código responsável pela escolha do movimento horizontal ou vertical da haste horizontal.

```
if (dadosBT == 82 ){ //COMPARA O VALOR LIDO NA VARIÁVEL E DEFINE QUAL BLOCO DE TEMPO MODIFICAR
  temp = 1; }
else if (dadosBT == 83 ){
  temp = 2; }
```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 2 (`dadosBT ==71`), 4 (`dadosBT ==74`), 6 (`dadosBT == 75`) e 8 (`dadosBT == 73`) são responsáveis por definir o tempo de avanço e o tempo de retorno, podendo ser modificados em mais cinco segundos, mais um segundo, menos um segundo e menos cinco segundos, respectivamente.

A Figura 3.33 mostra um recorte na programação responsável por configurar o tempo de avanço, e a Figura 3.34 apresenta o trecho da programação onde se define o tempo de retorno.

Figura 3.33 - Bloco no código responsável por definir qual o tempo de avanço escolhido.

```
else if (dadosBT == 71 && temp == 1 )
{ tempAvanco = tempAvanco + 5; }

else if(dadosBT == 73 && tempAvanco > 4 && temp == 1)
{ tempAvanco = tempAvanco - 5;} //BLOCO QUE ADICIONA OU SUBTRAI VALORES DA VARIÁVEL "tempAvanco "

else if ( dadosBT == 74 && temp == 1)
{ tempAvanco = tempAvanco + 1; }

else if( dadosBT == 75 && tempAvanco > 0 && temp == 1)
{ tempAvanco = tempAvanco - 1; }
```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Figura 3.34 - Bloco no código responsável por definir qual o tempo de retorno escolhido.

```

else if (dadosBT == 71 && temp == 2 )
{ tempRetorno = tempRetorno + 5; }

else if(dadosBT == 73 && tempRetorno > 4 && temp == 2)
{ tempRetorno = tempRetorno - 5;} //BLOCO QUE ADICIONA OU SUBTRAI VALORES DA VARIÁVEL "tempRetorno"

else if ( dadosBT == 74 && temp == 2)
{ tempRetorno = tempRetorno + 1; }

else if( dadosBT == 75 && tempRetorno > 0 && temp == 2 )
{ tempRetorno = tempRetorno - 1; }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 10 (dadosBT == 77) e 18 (dadosBT == 78) são responsáveis por comandar o movimento de subida e descida do dispositivo. Os blocos no *Arduino* responsáveis por comandar estes movimentos estão mostrados na Figura 3.35.

Figura 3.35 - Bloco no código responsável pelo movimento de descida e subida.

```

else if(dadosBT == 78){
    for(int i = 0; i < 1; i++){
        myStepper3.step(stepsPerRevolution3); //DESCE a estrutura
    }

    else if(dadosBT == 77){
        for(int i = 0; i < 1; i++){
            myStepper3.step(-stepsPerRevolution3); //SOBE a estrutura
        }
    }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Definida a altura que será utilizada no experimento, utiliza-se o botão 22 (dadosBT == 81) para mostrar a altura no *display 2*, conforme código na Figura 3.36 e 3.37.

Figura 3.36 - Bloco no código responsável por calcular a altura no *display 2*.

```

void medicao(){
    int dist = 0;
    for(int i = 0; i < 20; i++){
        dist += sensor.readRangeSingleMillimeters();
    }
    dist = dist /19;
    valordisplay_2 = dist;
    if ( dist <=150 ) {
        dist = dist + 335; }

    else { dist = dist + 320;}
    display.showNumberDec(dist, false);
    //Serial.println(dist);

    delay(1000);

}

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Figura 3.37 - Bloco no código responsável por mostrar a altura no *display 2*.

```
if (dadosBT == 81 )
  { medicao(); }
```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 12 (`dadosBT == 68`) e 20 (`dadosBT == 67`) são responsáveis pelo movimento da Haste horizontal, subida e descida. O bloco no código responsável por esse movimento está na Figura 3.38.

Figura 3.38 - Bloco no código responsável pelo movimento de subida e descida da Haste horizontal.

```
else if(dadosBT == 67){
  for(int i = 0; i < 1; i++){
    myStepper.step(stepsPerRevolution);
  }

  else if(dadosBT == 68){
    for(int i = 0; i < 1; i++){
      myStepper.step(-stepsPerRevolution);
    }
  }
```

. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Já os botões 15 (`dadosBT == 65`) e 17 (`dadosBT == 66`) são responsáveis pelo movimento de rotação do conjunto, sentido horário e sentido anti-horário. O bloco no código responsável por esse movimento é apresentado na Figura 3.39.

Figura 3.39 - Bloco no código responsável pelo movimento de rotação (direita e esquerda).

```
else if( dadosBT == 65 ){
  for(int i = 0; i < 2; i++){
    myStepper2.step(stepsPerRevolution2);
  }

  else if(dadosBT == 66){
    for(int i = 0; i < 2; i++){
      myStepper2.step(-stepsPerRevolution2);
    }
  }
```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 23 (dadosBT == 69) e 25 (dadosBT == 70) são responsáveis pela posição do elemento terminal, vertical e horizontal, respectivamente. A Figura 3.40 mostra o bloco no código responsável por esse movimento.

Figura 3.40 - Bloco no código responsável pelo movimento do elemento terminal (posição vertical e horizontal).

```

if (dadosBT == 69 ) { //COMPARA O VALOR LIDO NA VARIÁVEL "dadosBT" E REPOSICIONA O SERVO
    valorservo=180; }

else if (dadosBT==70){
    valorservo=83; }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 7 (dadosBT == 79) e 9 (dadosBT == 80) são responsáveis por definir qual será o movimento de trabalho da haste horizontal, ou seja, se o anteparo será usado na posição horizontal (motor = 2) ou na posição vertical (motor = 1). O bloco no código responsável por esta ação está mostrado na Figura 3.41.

Figura 3.41 - Bloco no código responsável por decidir qual será o movimento da Haste horizontal.

```

if (dadosBT == 79 ){ //COMPARA O VALOR LIDO NA VARIÁVEL E DEFINE QUAL MOTOR UTILIZAR
    motor = 1; }
else if (dadosBT == 80 ){
    motor = 2; }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os botões 5 (dadosBT == 72) e 16 (dadosBT == 76) são responsáveis por ligar e desligar o funcionamento automático do dispositivo, respectivamente. Com os botões 7 (motor = 1) e 9 (motor = 2) define-se o movimento na horizontal ou vertical, ou seja, é definido onde o anteparo estará colocado.

O botão 5 liga o loop automático e o botão 16 desliga o loop automático de exposição e cobertura da amostra. Na Figura 3.42 apresenta-se a parte do código responsável pelo movimento vertical da Haste horizontal, já na Figura 3.43 está parte do código responsável pelo movimento horizontal da Haste horizontal.

Figura 3.42 - Blocos responsáveis por ligar e desligar o movimento automático na vertical.

```

else if( dadosBT == 72 && motor == 1) {
  inicio:
  for(int i = 0; i < 9; i++)
  { myStepper.step(stepsPerRevolution); }
  delay(tempAvanco * 1000);

  for(int i = 0; i < 9; i++)
  { myStepper.step(-stepsPerRevolution); } //BLOCO REONSÁVEL PELA FUNÇÃO DE REPETIÇÃO DE MOVIMENTO DO MOTOR 1
  delay(tempRetorno * 1000);

```

```

    if(dadosBT == 76) //COMPARA A VARIÁVEL "dadosBT" E RETONAR PARA O INICIO DO LOOP
    { return; }
  else
  { goto inicio; }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Figura 3.43 - Bloco responsável por ligar e desligar o movimento automático na horizontal.

```

else if( dadosBT == 72 && motor == 2) {
  inicio2:
  for(int i = 0; i < 9; i++)
  { myStepper2.step(stepsPerRevolution2); }
  delay(tempAvanco * 1000);

  for(int i = 0; i < 9; i++)
  { myStepper2.step(-stepsPerRevolution2); } //BLOCO RESPONSÁVEL PELA FUNÇÃO DE REPETIÇÃO DE MOVIMENTO DO MOTOR 2
  delay(tempRetorno *1000);

```

```

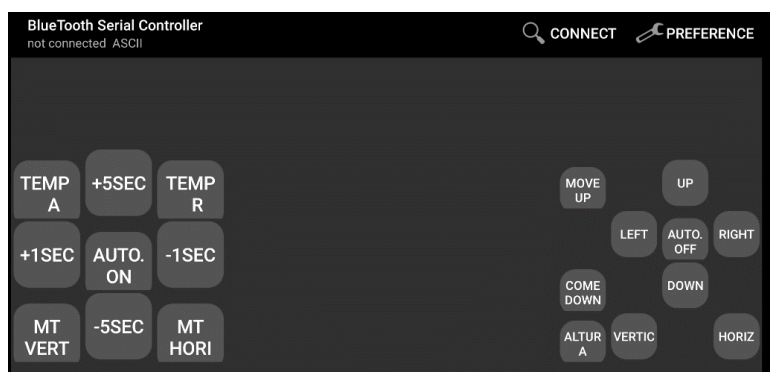
    if(dadosBT == 76) //COMPARA A VARIÁVEL "dadosBT" E RETONAR PARA O INICIO DO LOOP
    { return; }
  else
  { goto inicio; }

```

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Após estas configurações a tela inicial do Aplicativo estará conforme Figura 3.44.

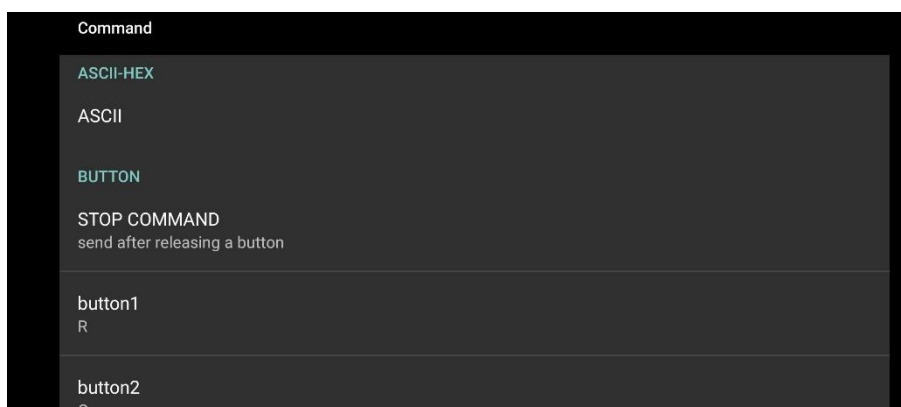
Figura 3.44 - Tela inicial após configurado *Controller*, *Visibility* e *Name*.



Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Na Seção “*Command*” define-se o tipo de comunicação (*ASCII* ou *HEX*) a ser utilizada, conforme Figura 3.45. Escolheu-se a *ASCII* por ser o tipo de comunicação que já foi definida na biblioteca do *display* utilizada no código.

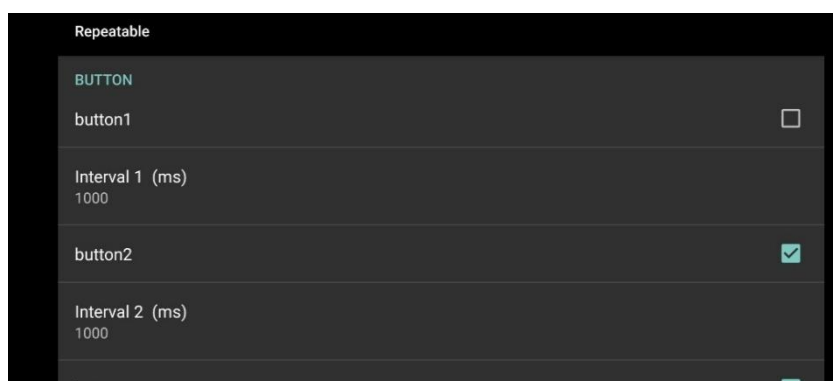
Figura 3.45 - Tela com a aba *Command*. Fonte: Bluetooth Serial Controller.



Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Na Seção “*Repeatable*” foram especificados alguns intervalos individuais para comandos, conforme mostrado na Figura 3.46.

Figura 3.46 - Tela com a aba *Repeatable*.



Fonte: *Bluetooth Serial Controller*, 2022.

Os botões 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16 e 22 foram setados em 1000 ms, 10, 15, 17 e 18 foram setados em 200 ms; já os botões 12 e 20 foram setados em 300 ms, e os botões 23 e 25 foram setados em 100 ms, ou seja, a cada 100ms o comando será reenviado ao controlador

para que seja executada a função novamente, desde que o botão do comando esteja sendo pressionado. A opção *Interval* em milissegundos (ms) é o tempo de delay para que a função seja chamada novamente.

É importante salientar que não é necessário refazer toda a programação, detalhada nesta seção, para operar o braço robótico. O arquivo do programa pode ser carregado diretamente para o aplicativo e estabelecer a comunicação entre protótipo e interface, assim diversos dispositivos podem utilizar o mesmo programa. Para isso basta colocar o arquivo dentro da pasta “*Controller Backup*” no seu *Smartphone*. Após isso na seção “*Preference*”, aba “*BACKUP*”, seleciona-se “*LOAD*” e carregue o arquivo com o programa. Essas e outras informações se encontram detalhadas no manual de usuário disponível no LTCME.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

O protótipo robótico desenvolvido é capaz de realizar as ações previstas em projeto sendo elas, movimento horizontal do anteparo (automático ou manual), movimento vertical do anteparo (automático ou manual) e adaptação da altura. Os comandos são executados a partir de um sistema *Android* e a comunicação é feita via *bluetooth*.

Os ensaios experimentais foram realizados de acordo com as solicitações do projeto, testou-se a funcionalidade de tempo de abertura e tempo de fechamento, função altura, movimento horizontal, movimento vertical e movimento do elemento terminal. Todas essas funções são comandadas via dispositivo móvel.

A Tabela 4.1 apresenta os limites de operação do protótipo.

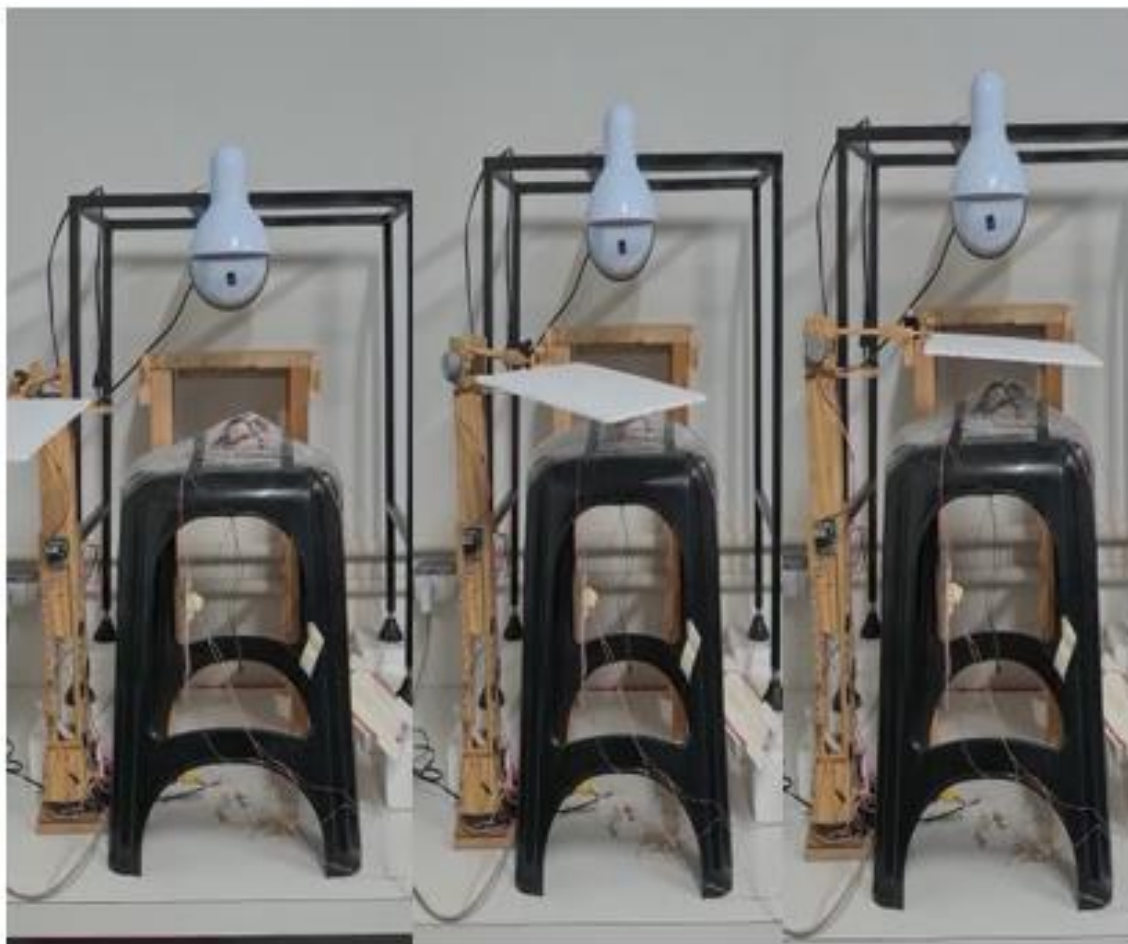
Tabela 4.1 – Limites mínimo e máximo em cada movimento do protótipo

Movimento	Posição inicial	Limite máximo e mínimo
Vertical	Primeiro: Posicione a haste horizontal 90° com o caixote externo. Segundo: Posicione a haste horizontal alinhada com o caixote em 180°. Para maiores informações ver Manual do Usuário no LTCME.	Movimento automático: 0 – 90 graus Movimento manual: 0 – 90 graus (movimento seguro ao protótipo)
Horizontal	O protótipo deve estar posicionado conforme Figura 4.1.	Movimento automático: 0 – 90 graus Movimento manual: Gira 180 graus
Altura	Última posição no experimento	Altura de trabalho na Bancada: 37,5 – 53,8 cm Altura de segurança limite: 37,5 – 57,8 cm
Tempo de abertura	0	0 – 9999
Tempo de fechamento	0	0 – 9999

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A Figura 4.1 mostra a utilização do braço com abertura horizontal posicionada na bancada operando com configuração automática de tempo de exposição e cobertura.

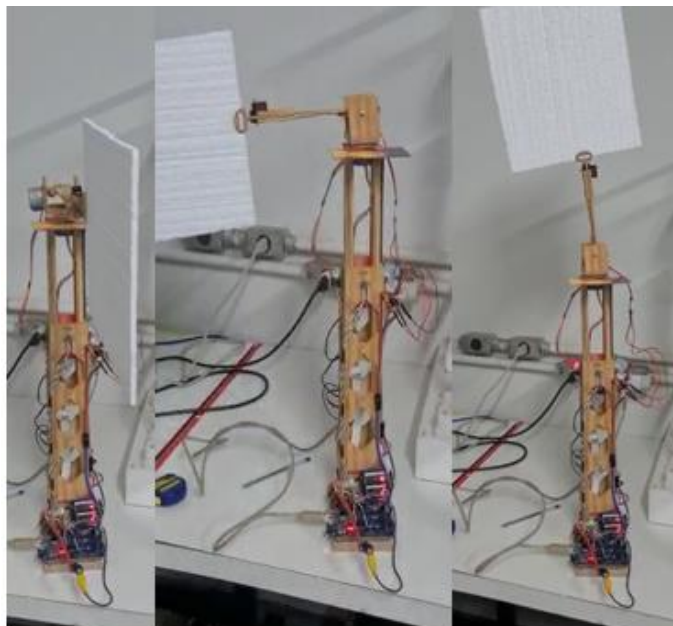
Figura 4.1 - Movimento automático da Haste horizontal na posição horizontal.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Uma demanda de projeto era a possibilidade de o anteparo trabalhar no sentido vertical, a Figura 4.2 apresenta um teste de operação no sentido vertical no modo automático, o qual foi realizado com êxito.

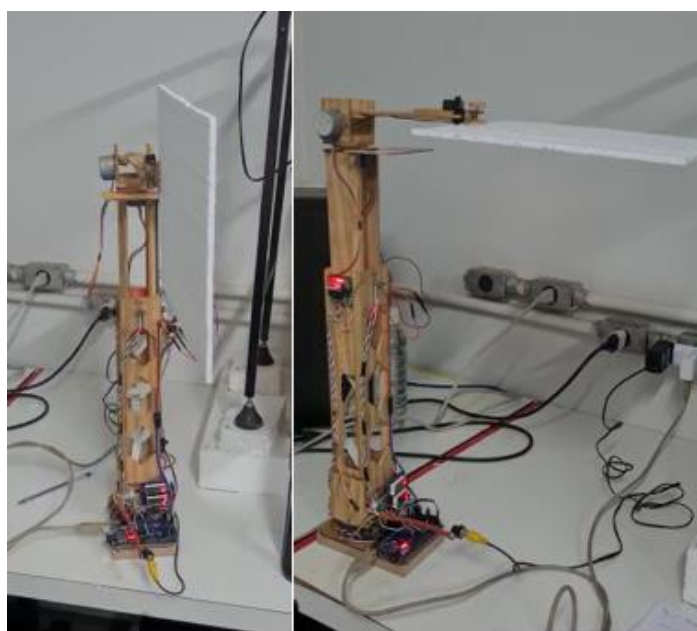
Figura 4.2 - Movimento automático da haste na posição vertical.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na Figura 4.3 é possível ver em detalhes o posicionamento do anteparo para cobertura horizontal ou vertical. Na forma como a bancada está montada hoje apenas a cobertura horizontal será utilizada.

Figura 4.3 - Movimento do elemento terminal vertical e horizontal, da esquerda para a direita.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na Figura 4.4 são apresentados diferentes níveis de altura e no display 2 é possível observar a leitura da altura atual.

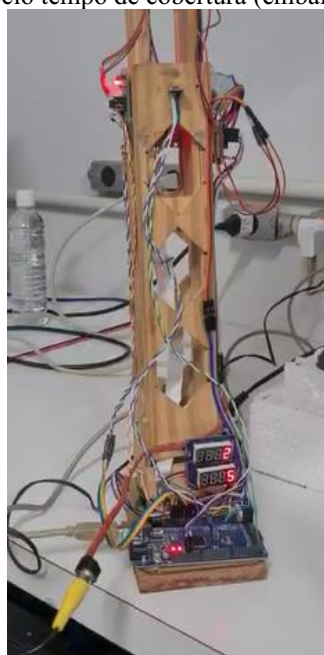
Figura 4.4 - Função altura.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Por fim a Figura 4.5 apresenta em detalhe os *displays* apresentando os tempos de cobertura e exposição.

Figura 4.5 - *Display* responsável pelo tempo de cobertura (embaixo) e tempo de abertura (em cima).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Dos resultados apresentados pode-se verificar que o equipamento atende as demandas de projeto. O protótipo se encontra pronto para uso em testes experimentais.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

O braço robótico é um dispositivo programável cujas funções e comportamentos principais se assemelham aos de um braço humano. Podendo executar funções de movimentação e levantamento de objetos de pequeno e grande porte.

O protótipo do braço robótico está sendo desenvolvido já há algum tempo e durante este período surgiram várias complicações e desafios. Primeiramente, foi bem simples utilizar o *SolidWorks*® para desenhar o protótipo, porém o processo de montagem foi moroso. Além da dificuldade de escolher os materiais, como material ideal para a estrutura, *Arduino*, motores, componentes eletrônicos, também foi difícil localizar e montar a estrutura para que atendesse os limites de projeto. A mudança que o protótipo sofreu também demandou um tempo maior na estrutura física. Inicialmente, pretendia-se utilizar apenas um motor para fazer os movimentos vertical e horizontal, porém foram necessários dois motores.

Uma das complicações que demandaram tempo foi criar um mecanismo para mostrar a altura do *display*, até os últimos testes foram observados problemas com o sensor de posição. O problema ocorreu em certos níveis de altura, no entanto, isso é justificado pelas condições mecânicas da montagem, por não serem todas as estruturas planas e verticais e por existirem alguns desníveis devido à construção mecânica.

Como contribuição aos trabalhos futuros acredita-se que seja possível reduzir estes problemas, alterando o sensor para medição de altura. Um sensor de velocidade fotoelétrico com Encoder para *Arduino* seria uma opção.

O braço robótico encontra-se finalizado e disponível para utilização no LTCME. Observa-se que o protótipo foi entregue executando todas as demandas de projeto e pode ser imediatamente utilizado na bancada experimental para executar de forma automática o que

antes demandava ação humana, contribuindo para realização de testes mais precisos, rápidos e independentes.

CAPÍTULO VI

TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros aponta-se a necessidade de alterar os componentes estruturais por materiais que possibilitem melhor encaixe, havendo a presença de menos folgas. Na montagem, uma das ideias é a utilização de uma impressora 3D ou um equipamento de corte a *laser* com o objetivo de dimensionar e cortar com mais precisão a estrutura que irá receber os componentes.

Outra mudança é tornar o protótipo mais similar ao braço humano, aplicando uma engenharia mais avançada e processos de modelagem.

Além disso, tem-se como planejamento futuro a aplicação de um CLP (Controlador Lógico Programável) mais robusto. Para compreender melhor, o CLP é um computador industrial que tem a função de controlar processos a partir de uma programação. O CLP é um sistema que funciona em tempo real, tendo em vista que as saídas estão diretamente relacionadas às entradas do circuito.

Outra opção que também pode ser considerada é a possibilidade de comando de voz, mas para esta função inicialmente é necessário um programa para transição de texto e fala, com reconhecimento de voz. Como opção já analisada, existe o *Speech SDK 5.1.*, ou utilizando a tecnologia *Bluetooth* por meio de um Aparelho *Android*. Desse modo, será necessário criar uma lista de comandos por voz, e, com o reconhecimento da voz, deverão ser enviados os comandos para a placa *Arduino*, executando; assim, a função ou movimentação desejada.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS

- ALDEBRAND, R. B., **Readequação tecnológica mecânica em manipulador cartesiano de soldagem**. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis. 2019.
- MENEGAZ, G. L., **Uso dos Métodos de Impedância Eletromecânica e Térmica para a Detecção de Inclusões visando a Aplicação em Tumores Mamários**. 2018. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
- SAAD, I. S., **Estudo da detecção de inclusões usando o método de impedância térmica visando a aplicação em tumores mamários**. Artigo Científico (Graduação) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2020.
- AGUILLAR, V. L. N.; BAUAB, S. P.; MARANHÃO, N. M., **Mama: diagnóstico por imagem: mamografia, ultrassonografia, ressonância magnética**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 2009.
- BORCHARTT, T. B.; CONCI, A.; LIMA, R. C. F.; RESMINI, R.; SANCHEZ, A., 2013., **“Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey”**. Signal Processing, Vol. 93, pp. 2785–2803.
- JIANG, L.; ZHAN, W.; LOEW, M. H., **Modeling static and dynamic thermography of the human breast under elastic deformation**. *Physics in Medicine and Biology*, v. 56, p. 187-202, 2011.
- HERNANDEZ, J.- L.; DABYDEEN, D.; MEDEIROS, L.; PHATAK, P. **Infrared imaging technology for breast cancer detection – Current status, protocols and new directions**. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 108, p. 2303–2320, 2017.

BR ELETRONICA E IMPRESSÃO 3D, **Braço Robótico Em Mdf + Parafusos + Servos**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em: <<https://www.breletronica.com.br/produtos/braco-robotico-em-mdf-parafusos-servos/>>. Citado na página 17.

MERCADO LIVRE, **Micro Servo E Max Es08ma Ii / Aero Modelos Brushless**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2214912078-micro-servo-e-max-es08ma-ii-aero-modelos-brushless-_JM#position=4&search_layout=grid&type=item&tracking_id=e6a5a5f2-86b6-4ec0-b51d-bc7b54a55f61>. Citado na página 28.

ROBOCORE, **Motor de Passo com Driver ULN2003**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <https://www.robocore.net/motor-motoredutor/motor-de-passo-com-driver-uln2003?gclid=EAIaIQobChMIp7aJgZXS9gIVEASRCh2AXwBSEAQYByABEgJux_D_BwE>. Citado na página 28.

CASA DA ROBÓTICA, **Módulo Sensor De Distancia Laser V15310x**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <<https://www.casadarobotica.com/sensores-modulos/sensores/movimento-proximidade/modulo-sensor-de-distancia-laser-v15310x>>. Citado na página 28.

FILIPEFLOP, **Módulo TM1637 com Display 7 Segmentos 4 Dígitos**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-tm1637-com-display-7-segmentos-4-digitos/>>. Citado na página 29.

BAU DA ELETRÔNICA, **Módulo Bluetooth HC-06**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <<https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-bluetooth-hc-06.html>>. Citado na página 29.

TECHTUDO, **O que é o código ASCII e para que serve? Descubra**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2015/02/o-que-e-o-codigo-ascii-e-para-que-serve-descubra.ghtml>>. Citado nas páginas 32, 36 e 56.

FILIPEFLOP, **28BYJ-48 – 5V Stepper Motor**, Acesso em 28/03/2022. Disponível em <https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_28BYJ-48.pdf>.

FILIFELOP, **LED Drive Control Special Circuit TM1637**. Acesso em 28/03/2022.

Disponível em <

https://www.filieflop.com/img/files/download/Datasheet_TM1637_V2.4_EN.pdf>.

ANEXO A – TABELA ASCII

Na Tabela 2 estão representados os caracteres ASCII e a sua numeração octal, decimal e hexadecimal.

Tabela 2 – ASCII.

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

Fonte: TECHTUDO, 2022.