



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA



Gabriel Cavichioli Fornarolo e Victor Felipe Bacarin

Garra Robótica Controlada por Comando de Voz

LIMEIRA
2020

Gabriel Cavichioli Fornarolo e Victor Felipe Bacarin

Garra Robótica Controlada por Comando de Voz

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas
como parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações

Este exemplar corresponde à versão final da monografia defendida por Gabriel Cavichioli Fornarolo e Victor Felipe Bacarin. Orientada pela Profa. Dra. Talía Simões dos Santos Ximenes e co-orientada por Rodrigo Luiz Ximenes

**LIMEIRA
2020**

Agradecimentos

Estamos chegando ao final de uma longa jornada, em que muitos colegas de turma entraram no curso ainda como adolescentes, mas ao final desta, estamos a sair já como adultos para uma nova fase da vida, com novos desafios.

Durante esses seis longos anos, agradecemos primeiramente a Deus por permitir em nossas vidas essa experiência de estudar em uma universidade de ponta e tão requisitada por alunos de todo o Brasil. Em seguida aos nossos familiares que sempre nos apoiaram e não mediram esforços para sempre nos ver vencendo na vida.

Aos funcionários da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, desde professores, diretores, até aos funcionários de limpeza e cozinheiros. A nossa gratidão por ter contribuído com a nossa formação, cada um empenhando na sua delimitação profissional.

Agradecemos a nossa orientadora Talía, que nos direcionou e auxiliou no desenvolvimento deste TCC, desde uma iniciação científica, o embrião desse projeto. Também os nossos agradecimentos para os colegas de turma, pois através destes foram compartilhados aprendizados, como resoluções, trabalhos, listas e muitas noites em claro pré provas. Formamos um verdadeiro time.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 17/09504-2) pelo apoio financeiro essencial para realização da iniciação científica prévia a este trabalho.

A todos os envolvidos, o nosso muito obrigado!

“Cada sonho que você deixa para trás é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir”
(Steve Jobs)

Resumo

A Tecnologia Assistiva vem cada vez mais ganhando espaço, em busca de recursos que permitam mais autonomia, independência e qualidade de vida às pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida. Diante disso, este trabalho teve como motivação seu desenvolvimento consistindo na construção de uma garra robótica, desde a criação de sua estrutura através da confecção manual até a programação de seus movimentos em resposta ao comando de voz. O módulo de reconhecimento de voz vem sendo empregado em muitos equipamentos eletrônicos, sendo interessante para este trabalho. Para o desenvolvimento deste sistema foi utilizada a placa microcontroladora Arduino UNO, um módulo de reconhecimento de voz compatível com a placa, um servo motor, uma garra confeccionada manualmente e componentes eletrônicos e estruturais diversos de modo a construir o projeto da melhor forma. A placa Arduino UNO foi utilizada para realizar a comunicação com o módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE V3 através de suas portas digitais I/O, além de controlar o servo motor que é o responsável pelo movimento da garra. Para controle do torque do motor exercido na pega, ou seja, momento em que o motor deve parar sua rotação, foi feito uso de um resistor FSR que varia sua resistência à medida que é pressionado. Então, é feita uma análise dessa pressão sofrida pelo resistor e enviada essa informação para o A/D do Arduino UNO. Esse valor de tensão recebido no Arduino é analisado via código de modo a parar (quando pegar algo) ou continuar o movimento do motor até que a garrafa seja fechada.

Palavras-Chave: Garra robótica. Módulo de reconhecimento de voz. Tecnologia Assistiva.

Abstract

Assistive Technology is increasingly gaining space, in search of resources that allow more autonomy, independence and quality of life for people with disabilities or reduced mobility. Therefore, this work was motivated by its development consisting in the construction of a robotic claw, from the creation of its structure through manual manufacture to the programming of its movements in response to the voice command. The voice recognition module has been used in many electronic equipment, being interesting for this work. For the development of this system, was used a Arduino UNO microcontroller board, a speech recognition module compatible with the board, a servo motor, a claw made manually and various electronic and structural components in order to build the project in the best way. The Arduino UNO board was used to communicate with the ELECHOUSE V3 voice recognition module through its digital I/O ports, in addition to controlling the servo motor that is responsible for the movement of the claw. To control the torque of the motor exerted on the handle, that is, the moment when the motor must stop its rotation, an FSR resistor was used that varies its resistance as it is pressed. Then, an analysis is made of this pressure suffered by the resistor and this information is sent to the Arduino UNO A/D. This voltage value received on the Arduino is analyzed via code in order to stop (when picking up something) or continue the motor movement until the claw is closed.

Keywords: Robotic claw. Voice recognition module. Assistive Technology.

Lista de Figuras

Figura 1. Pinagem Arduino UNO.

Figura 2. Imagem ilustrativa da IDE do Arduino.

Figura 3: Módulo de reconhecimento de Voz ELECHOUSE V3.

Figura 4: Diagrama de operação do servo motor.

Figura 5: Servo motor Corona DS558HV.

Figura 6: Braço escaneado(esquerda) e palma da mão editada no AutoCAD(direita).

Figura 7: Modelo dos dedos produzidos no AutoCAD.

Figura 8: Mão impressa em PLA e mão real.

Figura 9. Modelo adotado para garra robótica.

Figura 10: Esquemático do circuito de teste de SHUNT com o servo motor que controla o polegar.

Figura 11: Gráfico teste de 0 a 180 graus do servo com resistor SHUNT.

Figura 12: Simulação do servo com resistor SHUNT, sendo aplicada força contrária ao movimento.

Figura 13. Resistor FSR 402.

Figura 14. Curva característica do resistor FSR.

Figura 15: Desenho do modelo projetado da Garra.

Figura 16: Máquinas industriais usadas para a confecção da garra .

Figura 17: Garra montada após confecção.

Figura 18: Servo motor encaixado no eixo central.

Figura 19. Esquema eletrônico para o divisor resistivo.

Figura 20: Testes pressionando o resistor FSR 8 vezes consecutivas.

Figura 21: Resistor FSR na pinça.

Figura 22: Gravação do comando Abrir.

Figura 23: Fluxograma código desenvolvido para Garra robótica.

Figura 24: Garra desenvolvida versão final.

Figura 25: Posicionamento das pinças na garra.

Figura 26: Os vários tipos de manejos.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Comandos suportados pelo módulo de voz Elechouse V3

Tabela 2: Comandos Gravados no módulo de voz V3.

Lista de Abreviaturas e Siglas

3D - Tridimensional; característica do que possui três dimensões geométricas.

ABS - *Anti-lock Braking System*.

FSR - *Force Sensitive Resistor*.

GPS - Sistema de Posicionamento Global.

IDE - Integrated Development Environment.

IoT - *Internet of Things*.

LED - *Light Emitting Diode*

PET - Politereftalato de Etila.

SE - Sistema Embarcado.

TA - Tecnologia Assistiva.

SUMÁRIO

1. Introdução	11
1.1 Tecnologias para deficientes físicos presentes no mercado	11
1.2 Pesquisas científicas de tecnologias para deficientes físicos	12
1.3 Introdução à Sistemas Embarcados	13
1.4 Objetivo do Trabalho	14
1.5 Métodos e Materiais	14
1.6 Estrutura do TCC	14
2. Fundamentação Teórica	15
2.1 Microcontrolador	15
2.2 Arduino	16
2.2.1 Arduino UNO	17
2.2.2 Software IDE Arduino	17
2.3 Módulo de Reconhecimento ELECHOUSE V3	19
2.4 Servo Motor	20
2.5 Garra Robótica	21
2.5.1 Iniciação científica - Mão Biônica	21
2.5.2 Estudo de modelos de garras	23
2.6 Detecção de objeto	24
2.6.1 Resistor SHUNT de corrente	24
2.6.2 Resistor FSR	28
3. Materiais	29
4. Métodos	29
4.1 Construção da Garra Robótica	29
4.2 Aplicando o Resistor FSR	34
4.3 Gravando os Comandos de Voz	36
4.4 Desenvolvimento do Código	39
5. Resultados e Discussões	41
6. Considerações Finais	44
6.1 Conclusão	44
6.2 Trabalhos Futuros	45
7. Referências Bibliográficas	45

1. Introdução

Nossa sociedade sempre será cercada de desafios. O papel da ciência visa a transformação de conhecimento técnico científico em ferramentas, processos e sistemas que trazem maior qualidade de vida para os seres humanos e sociedade. Nas ciências exatas, por exemplo, em especial nas engenharias, houve um desenvolvimento significativo nas últimas décadas no ramo da eletroeletrônica e tecnologia da informação, que trouxeram benefícios em vários setores da sociedade, entre elas a medicina.

Nesse contexto, Tecnologia Assistiva (TA) é a expressão usada para ferramentas e recursos que beneficiam pessoas com deficiência, trazendo maior independência, bem-estar e inclusão social. Elas trabalham de forma a ampliar a acessibilidade, mobilidade, comunicação, educação; direitos de todo cidadão, porém que às vezes ficam restritos por causa das limitações físicas. A área de TA é interdisciplinar, ou seja, engloba vários ramos da ciência e por isso é um campo bem vasto para pesquisa e desenvolvimento de projetos [1].

Existem uma série de condições que impossibilitam a movimentação motora de forma satisfatória, entre elas a quadriplegia, paralisia cerebral, esclerose múltipla e mal de Parkinson. Pensando em utilizar a tecnologia a favor de pessoas com alguma limitação nesse sentido, desenvolver um dispositivo que auxilie a executar tarefas tais como: pegar objetos, movimentá-los e deslocá-los; é sem dúvida um desafio inspirador.

1.1 Tecnologias para deficientes físicos presentes no mercado

Diante desse cenário e fazendo um panorama das tecnologias voltadas para pessoas com deficiência física que estão presentes no mercado, temos o *HeadMouse*, que possibilita os usuários movimentar o cursor na tela do computador com movimentos faciais e também cliques com o abrir e fechar da boca, tudo captado por uma webcam. Também há o Teclado Virtual, complementar ao *HeadMouse*, que funciona por meio de um aplicativo no computador, que consiste em pressionar teclas virtuais a partir dos movimentos faciais captados.

Semelhantemente a esse sistema, existe o mouse ocular, o qual o movimentar do mouse se dá através das gesticulações dos músculos oculares [2].

Bengala luminosa, pernas robóticas, *Stand Table* são também opções para oferecer maior mobilidade e acessibilidade [2]. A propósito, uma *startup* brasileira denominada GuiaDeRodas desenvolveu um aplicativo para pessoas avaliarem e consultarem o grau de acessibilidade dos locais, em escala global, os quais visitam. Pessoas com deficiência física muitas vezes não sabem o grau de dificuldade de locomoção que encontrarão em destinos desconhecidos, como entrar, circular, ir ao banheiro e demais situações básicas. Através do aplicativo, elas terão uma maior perspectiva a respeito. O app está disponível gratuitamente para as plataformas Android e iOS [3].

Pensando no entretenimento, a Microsoft desenvolveu o *Adaptive Controller* para o Xbox One. Trata-se de uma superfície com entradas e saída modificáveis para constituir o *joystick* do usuário. Acionadores como pedais, botões grandes e outros acessórios são as opções para deixar a ergonomia da melhor forma possível [4].

1.2 Pesquisas científicas de tecnologias para deficientes físicos

Abaixo, segue algumas pesquisas com utilização de garras, microcontroladores e outros sensores que foram objetos de estudo deste trabalho.

Em [5] foi desenvolvida uma garra do tipo pinça para auxiliar pacientes deficientes devido a acidentes e doenças. Neste projeto também foi criada uma luva inteligente com sensores. Esta luva inteligente conta com sensores de força flexíveis, servo motor e uma placa Arduino Romeo para leitura dos dados dos sensores, comunicação e controle. O dispositivo da mão do tipo pinça se movimenta de acordo com os movimentos dos dedos de uma pessoa que esteja usando a luva inteligente. A ideia é que seja um sistema robótico mestre-escravo.

Em [6] foi desenvolvida uma prótese de pulso bio-mecatrônica. Esta prótese entrou no lugar do cabo de tensão de Bowden usando dois sensores ultrassônicos, dois servo motores e um microcontrolador dentro da prótese da mão. Este trabalho

serviu como uma nova forma de usar sensor e atuador para movimentos de pulso. Os resultados foram satisfatórios em relação a realizar tarefas comuns do dia a dia.

Em [7] os autores desenvolveram um braço robótico de baixo custo. Este braço robótico juntamente com uma luva com sensores é controlado por um microcontrolador (Arduino Uno) que atua nos servo motores para movimentação dos dedos. Neste trabalho, a ferramenta Matlab serve para auxílio de manipulação de dados obtidos.

1.3 Introdução à Sistemas Embarcados

Atualmente existem diversos equipamentos com relativa capacidade computacional que nos cercam no dia-a-dia. Estes são denominados como sistemas embarcados (SE). Eles podem ser usados para controlar variados tipos de sistemas e ser aplicados em diversas áreas.

Os SEs podem ser definidos como dispositivos controlados por um computador, designado para uma tarefa específica, ou seja, contém hardware, software e periféricos totalmente dedicados à desempenhar um único propósito. Por se tratar de uma tarefa específica, os sistemas embarcados possuem normalmente um tamanho reduzido, menor consumo energético e capacidade de processamento inferior aos computadores desktop [8].

Um exemplo comum de sistema embarcado é o ar-condicionado. Nele existe um “pequeno computador” com uma programação registrada, responsável por interpretar comandos enviados através de seu controle remoto e sensores para então ajustar a temperatura através de seus mecanismos. E são muitos os exemplos que têm a aplicação de sistemas embarcados: videogames, *smartphones*, *smartwatch*, *players*, roteadores, eletrodomésticos, dispositivos para automóveis (*air bags*, freio ABS, GPS), automação residencial, receptores de TV, robótica, equipamentos médicos e outros.

O fato de um SE ser usado para alguma aplicação mais focada, não diminui o nicho de aplicações, que estão presentes em diversas indústrias e mercados. Neste trabalho será apresentado a sua aplicabilidade na área de TA.

1.4 Objetivo do Trabalho

Desenvolver uma garra robótica controlada por reconhecimento de voz, onde cada palavra pré-definida corresponde a uma determinada ação da garra. O objetivo principal das ações por comandos de voz é fazer com que a garra realize a tarefa de pegar objetos. Dessa forma, a garra robótica irá desempenhar a função de uma mão para pessoas que possuem limitações físicas e motoras. Uma vez que a garra robótica esteja concluída e manejável, o público-alvo poderá provar de maior independência ao executar atividades que só seriam possíveis com as mãos.

1.5 Métodos e Materiais

O trabalho apresentado foi desenvolvido em duas partes: *hardware* e *software*. A primeira parte é composta de uma garra de alumínio desenhada e confeccionada manualmente com o suporte de máquinas industriais, um módulo de reconhecimento de voz, um resistor FSR, um servo motor e um microcontrolador Arduino UNO. Para o funcionamento do sistema, foi realizada a programação do microcontrolador e módulo de voz. No módulo de voz, foram configurados 4 comandos de voz: 'Fraco', 'Forte', 'Abrir' e 'Fechar'. Ao acionar esses comandos, o módulo de voz enviará essas informações para o Arduino UNO que, por sua vez, foi configurado para acionar o servo e assim movimentar a garra, de acordo com o comando acionado. Durante o movimento da garra, é feita uma análise em cima do resistor FSR, que permite parar a garra de acordo com a intensidade desejada.

1.6 Estrutura do TCC

Nesta seção foi exposto o panorama do uso da tecnologia para beneficiar pessoas portadoras de deficiência física juntamente com o objetivo do trabalho. Nas próximas seções, será apresentada a fundamentação teórica que viabilizou esse projeto, desde estudos de microcontrolador até a confecção da garra. Feito o embasamento, serão relatadas as operações executadas para construção do

sistema e também os seus resultados obtidos a partir de testes. Para concluir, serão apresentadas as considerações finais, além de possíveis trabalhos futuros que poderão ser sequência do projeto em questão.

2. Fundamentação Teórica

Para esse Trabalho de Conclusão de Curso, foi utilizado um microcontrolador, um servo motor, um módulo de reconhecimento de voz, e componentes diversos, além da confecção de uma garra robótica. Também foi desenvolvido um código para o microcontrolador realizar as tarefas desejadas.

Os objetos de estudo do projeto, com os devidos embasamentos teóricos, são descritos abaixo.

2.1 Microcontrolador

Um microcontrolador é um computador em um único chip que inclui um processador, memória e periféricos de entrada e saída (I/O), e geralmente é usado para executar uma função específica em sistemas embarcados. Com a combinação do microcontrolador (*hardware*) juntamente com o *software* (programação C/C++) é possível construir mecanismos automatizados, por exemplo, operar sensores, registrar dados, controlar LEDs, comunicar com outros microcontroladores entre outras funcionalidades. A memória do microcontrolador, portas I/O e ROM/RAM, estão todos localizados no próprio chip. Já os periféricos são conectados externamente [9].

Os microcontroladores são usados para executar tarefas pré definidas. É de grande valia sua empregabilidade em sistemas robóticos, que visa a automatização. Por outro lado, para execução de tarefas com intenso processamento como, por exemplo, processamento de imagem, se usa microprocessadores. Basicamente, os microcontroladores são usados em muitos lugares: automóveis, aviões, eletrodomésticos, brinquedos, sistemas de vigilância, plantas industriais e dispositivos médicos [9].

Nesse projeto de TCC, visa-se a utilização do microcontrolador Arduino UNO, detalhado abaixo.

2.2 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software que são fáceis de usar. Em geral, todas as placas Arduino são capazes de ler variáveis físicas analógicas: intensidade da luminosidade, temperatura, cursor de um potenciômetro; tanto quanto variáveis físicas digitais como o pressionamento de um botão; e transformá-la em uma saída física: ativar um motor, ligar um LED, emitir som através de um buzzer e etc.

Para determinar o papel da placa, basta enviar um conjunto de instruções ao microcontrolador. Para fazer isso, usa-se uma linguagem de programação semelhante ao C/C++ e o Software Arduino (IDE) [10].

Ao longo dos anos, o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, desde objetos do cotidiano a complexos instrumentos científicos. Com projetistas de todos os tipos de áreas: estudantes, amadores, artistas, programadores e profissionais; reuniu-se em torno desta plataforma de código aberto, diversas contribuições, adicionando uma quantidade incrível de conhecimento acessível que pode ser de grande ajuda para iniciantes e especialistas [10].

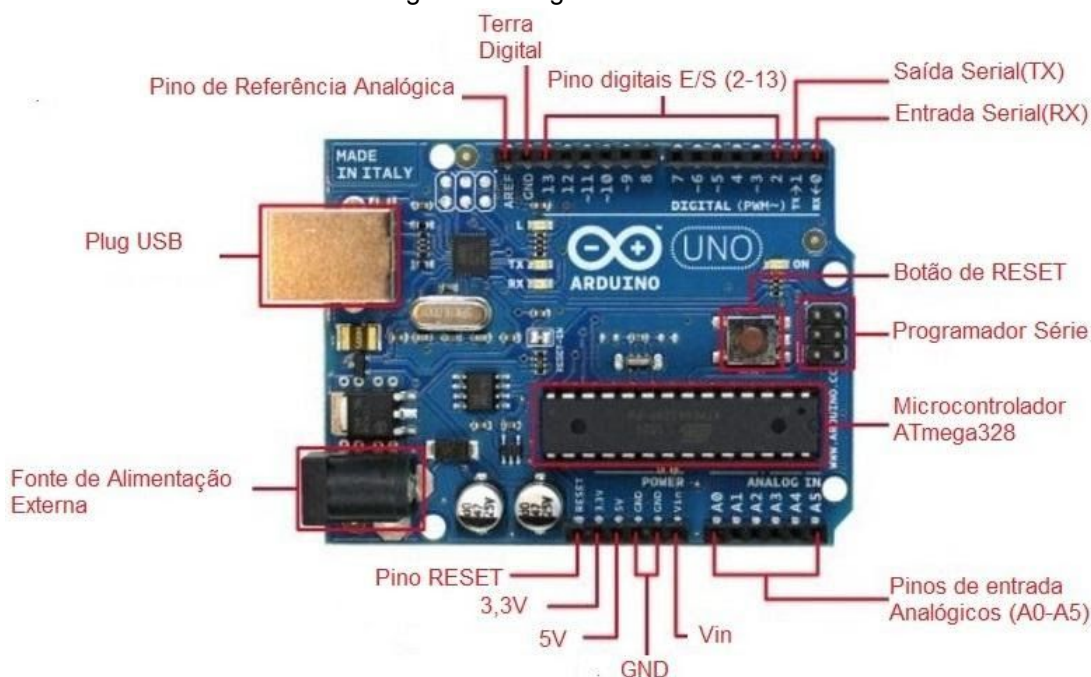
Arduino nasceu no *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, destinada a estudantes sem formação em eletrônica e programação. Assim que alcançou uma comunidade mais ampla, a placa Arduino começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios, diferenciando sua oferta de placas simples de 8 bits a produtos para aplicativos de IoT, *wearable*, impressão 3D e ambientes incorporados. Todas as placas do Arduino são completamente de código aberto, permitindo que os usuários as construam de forma independente e eventualmente as adaptem às suas necessidades particulares. O software também é de código aberto e está crescendo com as contribuições de usuários em todo o mundo [10].

2.2.1 Arduino UNO

A arquitetura da placa Arduino UNO é composta por um microcontrolador ATMEGA328 de 8 bits com uma arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). A placa pode ser alimentada por conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa. Ela possui 14 pinos que podem ser usados como entrada ou saída digital e 6 pinos de entrada analógica. Dos 14 pinos digitais que a placa possui, 6 deles permitem saída PWM (*Pulse Width Modulation*). A placa ainda possui pinos de alimentação de 3,3V, 5V e GND; memória flash de 32 Kb; memória RAM de 2 Kb; memória EEPROM de 1 Kb; frequência de operação de 16MHz, entre outros detalhes que podem ser vistos em [11].

Abaixo na Figura 1, segue a placa, destacando sua Pinagem e principais componentes.

Figura 1. Pinagem Arduino UNO.



Fonte: Tradução Arduino UNO Datasheet.

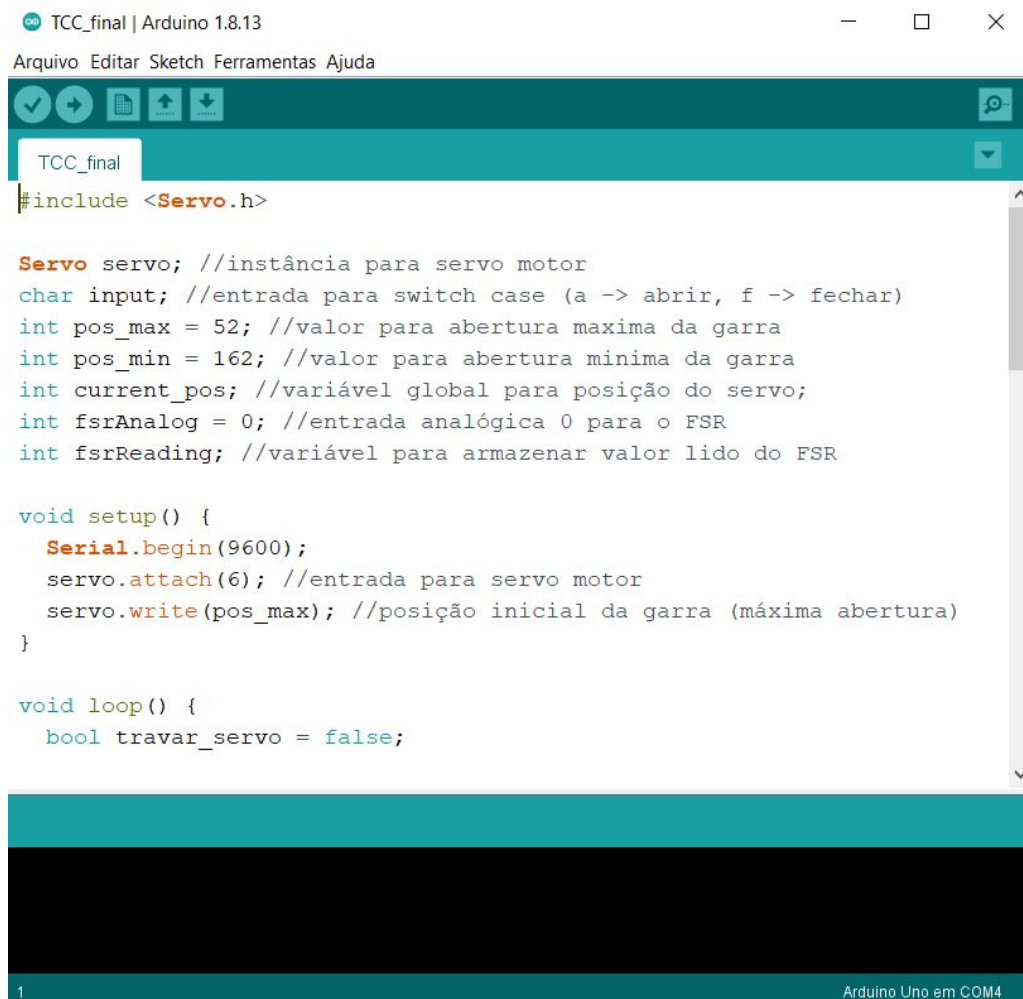
2.2.2 Software IDE Arduino

O *Arduino Integrated Development Environment* ou também conhecido como Arduino (IDE), contém um editor de texto para escrever código em linguagem

C/C++, uma área de mensagens, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus. Ele se conecta ao hardware Arduino para fazer *upload* de programas e se comunicar com eles [12].

Os programas escritos usando o Arduino Software (IDE) são chamados de esboços. Esses esboços são escritos no editor de texto e salvos com a extensão de arquivo.ino. O editor possui recursos para recortar/colar e para procurar/substituir texto. A área de mensagem fornece *feedback* ao salvar e exportar e também exibe erros. O console exibe a saída de texto pelo software Arduino (IDE), incluindo mensagens de erro completas e outras informações. O canto inferior direito da janela (Figura 2) exibe a placa e a porta serial configuradas. Os botões da barra de ferramentas permitem verificar e fazer *uploads* de programas, criar, abrir e salvar esboços e abrir o monitor serial [12].

Figura 2. Imagem ilustrativa da IDE do Arduino.



Fonte: Elaboração própria.

2.3 Módulo de Reconhecimento ELECHOUSE V3

O módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE V3 é uma placa de reconhecimento de fala compacta e de fácil controle. O módulo é dependente de um microfone e suporta o registro de até 7 comandos de voz funcionando ao mesmo tempo. Qualquer som pode ser treinado como comando. Os usuários precisam treinar o módulo antes de permitir que ele reconheça qualquer comando de voz [13].

Figura 3: Módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE V3.



Fonte: Manual módulo de voz ELECHOUSE V3.

Parâmetros:

- Tensão: 4,5 a 5,5V
- Corrente: até 40mA
- Interface Digital: 5V TTL para interface UART e GPIO
- Interface analógica: 3,5mm conector de microfone mono canal
- Tamanho: 31mm x 50mm
- Precisão de reconhecimento: 99% (sob ambiente ideal)

Características:

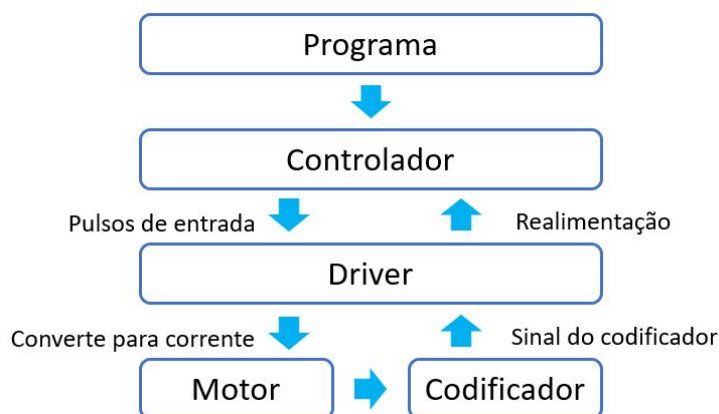
- Suporta 80 comandos de voz no total, com cada comando de 1500 ms de duração (aproximadamente uma a duas palavras)
- Máximo de 7 comandos ativos por vez
- Controle simples: UART/GPIO

2.4 Servo Motor

Os servo motores possuem este nome devido ao fato de operarem exatamente como controlados. O nome servo deriva do Latim “*servus*”, palavra latina para escravo. Qualquer motor elétrico capaz de controlar parâmetros como posição e velocidade é chamado de servo motor, independentemente de como esse controle é obtido [14].

Para o controle da velocidade e posição do motor, o servo trabalha com um servomecanismo que usa realimentação de posição. Internamente, ele combina um motor com um circuito de realimentação, um controlador e outros circuitos complementares [15].

Figura 4: Diagrama de operação do servo motor



Fonte: Tradução de [14] .

Dada a sua característica de posicionamento preciso, os servo motores têm uma ampla gama de aplicações. Entre elas estão aplicações em robôs industriais, máquinas de precisão, controle de equipamentos em máquinas de processamento de alimentos, controle de equipamentos em máquinas de embalagem, entre diversas outras aplicações.

Para este projeto, o servo motor adotado foi o Corona DS558HV. É um servo cuja a tensão de funcionamento é de 6.0V a 7.4V, corrente de funcionamento de 300mA a 400mA, *stall* torque de 12kg.cm a 14kg.cm e velocidade de resposta de 0.20sec.60° a 0.18sec.60°. Além disso, esse servo apresenta um eixo de metal, o que o torna mais resistente [16].

Segue na Figura 5 uma foto do Servo motor utilizado no projeto

Figura 5: Servo motor Corona DS558HV



Fonte: Elaboração própria

2.5 Garra Robótica

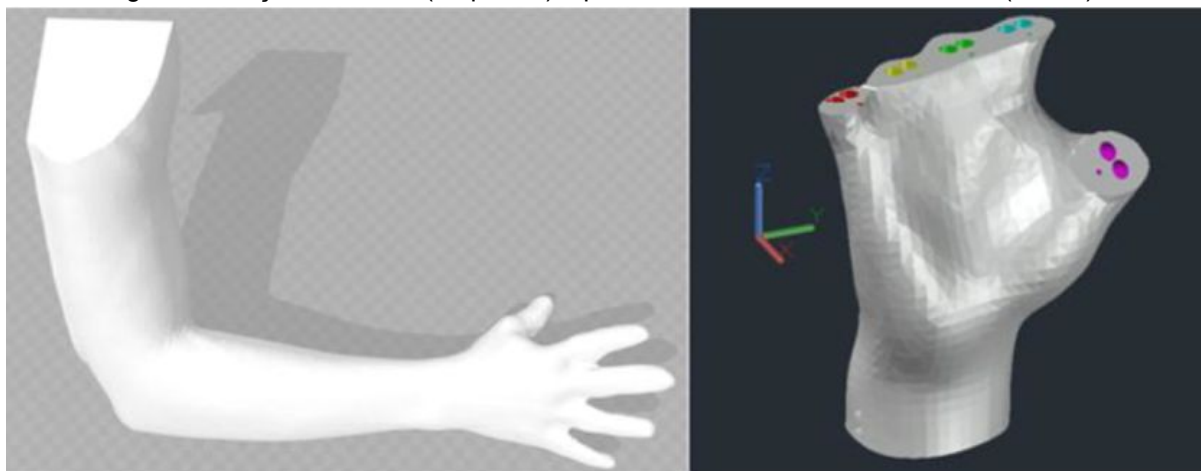
Dada a proposta do projeto, foram estudadas maneiras de como realizar a pega de objetos. As duas mais estudadas foram uma mão biônica e uma garra robótica. Anteriormente a este projeto, em uma iniciação científica, foi realizado o desenvolvimento de uma mão biônica com o mesmo objetivo, e partindo dos resultados obtidos, foram notados pontos de melhoria que poderiam ser sanados a partir de uma garra. Abaixo, no tópico 2.5.1, segue o estudo realizado na iniciação científica, publicada como um capítulo no livro “Novas Tecnologias Aplicadas à Saúde” [17], e no tópico 2.5.2, segue o estudo sobre a garra que foi adotada para o projeto.

2.5.1 Iniciação científica - Mão Biônica

Na iniciação científica, publicada como um capítulo no livro [17], foi realizado o desenvolvimento de uma mão biônica a partir de uma modelagem 3D. Através de um scanner 3D, foi obtida uma imagem do escaneamento de um braço completo, como mostrado à esquerda da Figura 6. Enquanto na imagem à direita, mostra a

edição realizada no AutoCAD para extrair a mão, onde foram feitos cortes na região dos dedos e punho. Também foram feitos furos no interior do molde para a passagem de fios, que viabilizam o movimento dos dedos.

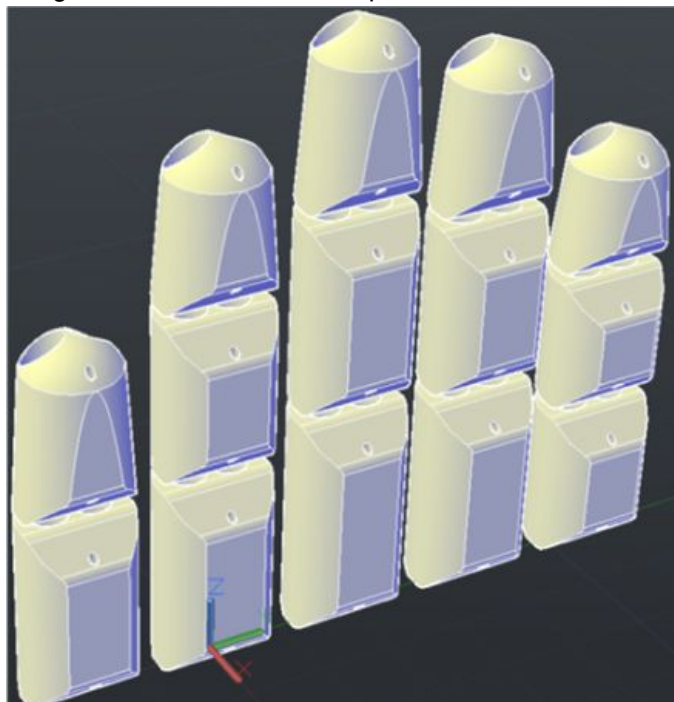
Figura 6: Braço escaneado(esquerda) e palma da mão editada no AutoCAD(direita).



Fonte: Elaboração própria

Os dedos, também com uso do AutoCAD, foram projetados em medidas reais. Na Figura 7 é possível ver o modelo produzido.

Figura 7: Modelo dos dedos produzidos no AutoCAD.



Fonte: Elaboração própria.

Toda mão biônica foi impressa em PLA (termoplástico biodegradável) com uso de uma impressora 3D. Já sua montagem foi feita com uso de outros materiais. O resultado foi conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Mão impressa em PLA e mão real.



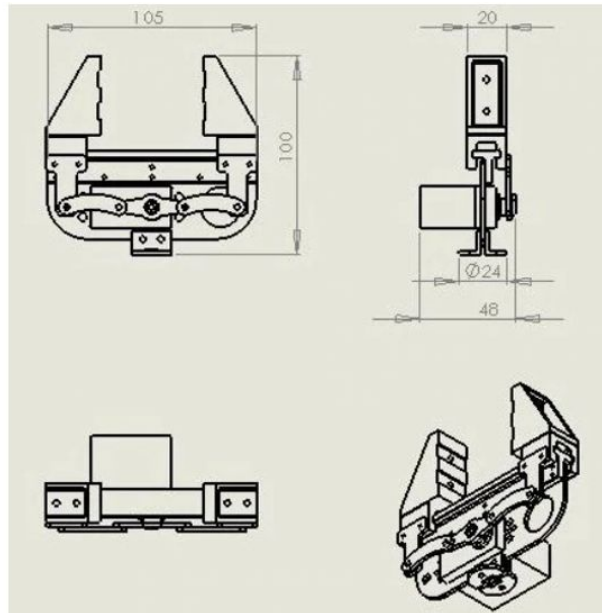
Fonte: Elaboração própria

Apesar da semelhança com a mão humana, este modelo apresentou limitações para pegadas de objetos pequenos, além de uma imprecisão no controle da força exercida. Dito esses pontos, o modelo mais adequado proposto foi uma garra com o formato de pinça, como descrito no tópico seguinte.

2.5.2 Estudo de modelos de garras

O modelo adotado no projeto foi de uma garra a qual os movimentos de suas pinças seriam equivalentes ao movimento característico do dedo polegar com o dedo indicador. Diante dos estudos, diversos modelos se mostraram interessantes, mas o adotado como referência para o projeto foi conforme o da Figura 9.

Figura 9. Modelo adotado para garra robótica.



Fonte: Garra mecânica/garra, CL-2 Aliexpress.

Esse modelo se mostrou simples e eficaz, o qual seria fácil o controle do servo motor para a execução do movimento de pinça, assim como permitiria controlar a força da pega dos objetos de uma maneira mais precisa do que a mão biônica desenvolvida na iniciação científica, antes desse projeto.

2.6 Detecção de objeto

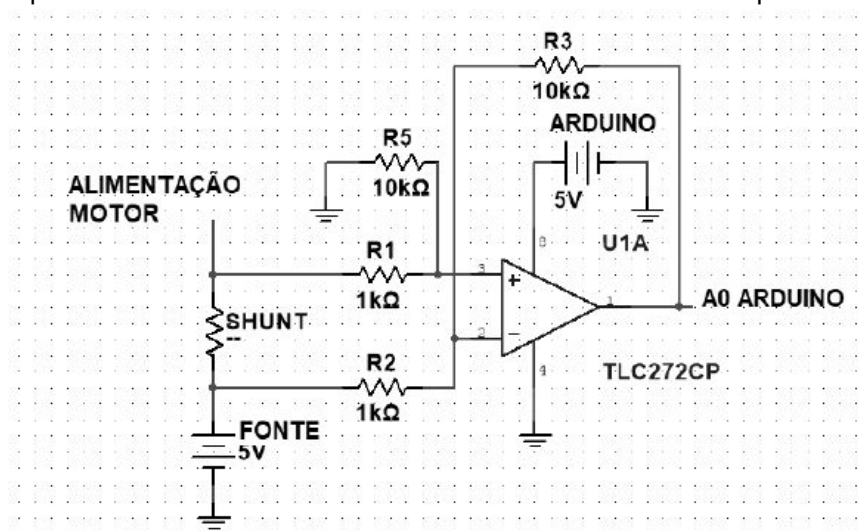
Para a detecção de objetos, inicialmente foi estudado o resistor SHUNT de corrente juntamente com a mão biônica, realizado na iniciação científica e publicado no capítulo do livro “Novas Tecnologias Aplicadas à Saúde” [17], conforme descrito no tópico 2.6.1. Porém, esse sistema apresentou limitações. Portanto, foi estudada uma segunda alternativa, conforme descrito no tópico 2.6.2, que foi uma garra com um resistor FSR na extremidade de uma das pinças que é o local de contato com os objetos. Abaixo foi descrito cada uma dessas alternativas, o qual o uso do resistor FSR foi o adotado no projeto.

2.6.1 Resistor SHUNT de corrente

O resistor SHUNT de corrente, foi ligado em série com uma fonte de 5V e também com a alimentação do motor, de modo que a corrente elétrica da fonte passa primeiramente pelo resistor antes de alimentar o motor. O motor exige mais corrente elétrica à medida que exerce mais torque, então com o resistor SHUNT é possível saber quando o motor está exercendo alto torque, através de uma análise da diferença de potencial neste resistor, que por sua vez é diretamente proporcional a corrente elétrica que passa pelo mesmo. Para analisar esta diferença de potencial foi feito uso de um amplificador operacional, o integrado TLC272 (ganho 10). Este integrado trabalha com 5V, então, quanto maior a diferença de potencial no resistor SHUNT, maior é a tensão de saída do amplificador, sendo 5V o máximo de alimentação. Esta saída do amplificador é ligada ao A/D do Arduino, logo, quanto maior for essa saída, maior será o valor recebido no A/D. O conversor A/D do Arduino transforma um sinal analógico contínuo no tempo, em um sinal amostrado discreto no tempo, quantizado dentro de um número finito de valores inteiros, variando entre 0 a 1023.

Resumindo, tem-se que, quando o sinal lido no A/D está alto, implica que está chegando um sinal alto do amplificador, e pelo circuito montado, se isso ocorre, quer dizer que o servo motor está demandando bastante corrente elétrica, ou seja, o motor está exercendo alto torque. A Figura 10 mostra o circuito que foi feito para monitorar e controlar o torque de cada servo motor. O resistor SHUNT é da ordem de unidades de Ohms, a fim de não interferir na alimentação do motor.

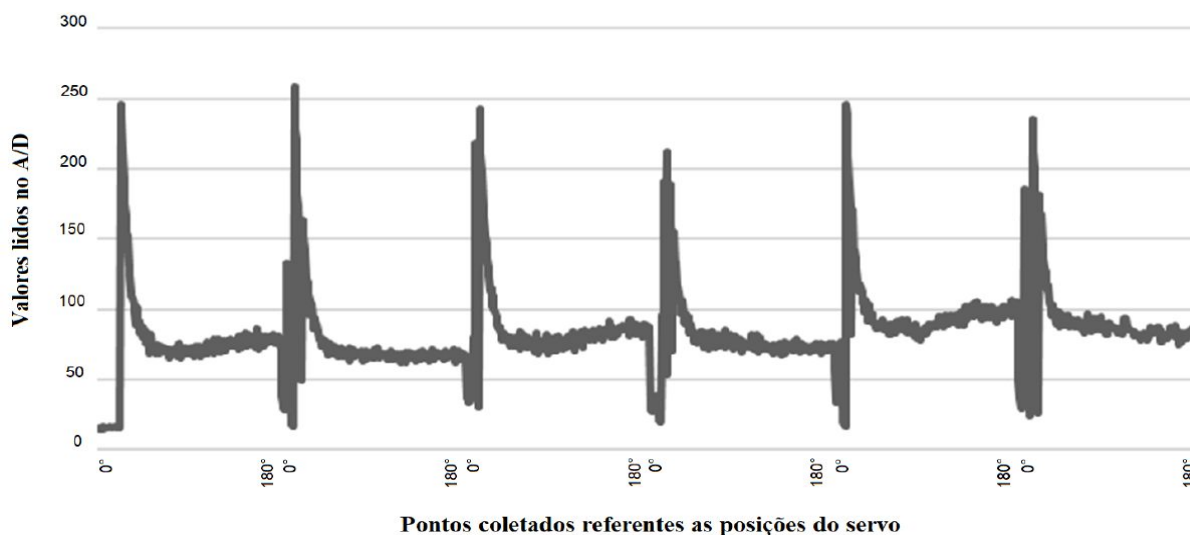
Figura 10: Esquemático do circuito de teste de SHUNT com o servo motor que controla o polegar.



Fonte: Elaboração própria

Esse circuito juntamente com um código Arduino realizava o movimento do servo motor de 0 a 180 graus, o qual lia a porta A/D A0 do Arduino e então escrevia o valor lido no monitor serial da IDE do Arduino. Por conseguinte, foram realizados 6 testes em sequência, e então foram pegos todos os valores obtidos no monitor serial e plotados em um gráfico para análise, conforme a Figura 11. Nela, o eixo Y se refere aos valores lidos no A/D do Arduino e o eixo X se trata dos pontos referentes às posições do motor. Cada ponto é uma posição do servo, indo de 0° a 180°, voltando a 0° e indo novamente a 180°, por 6 vezes. Vale esclarecer que estes 6 testes foram realizados com o servo sem qualquer presença de força externa contrária ao seu movimento.

Figura 11: Gráfico teste de 0 a 180 graus do servo com resistor SHUNT.
6 testes de 0° a 180°



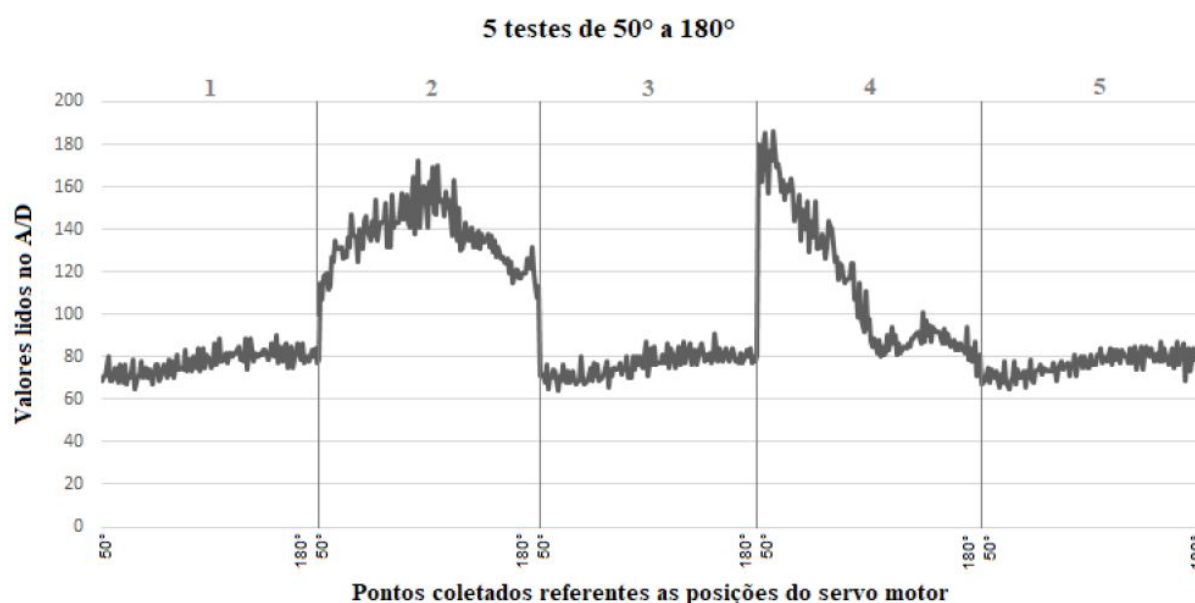
Fonte: Elaboração própria

Através da Figura 11 é possível ver que no início de cada rotação (em 0°) do servo motor, há picos no A/D, ou seja, há picos na corrente lida do motor. Isso se deve ao fato da presença de corrente de arranque. Esses picos acabam dificultando a análise dos valores obtidos, pois pelo sistema montado, isso indica que o motor está em alto esforço e o sistema entende que há um objeto exercendo uma força contrária, ou seja, a mão biônica está pressionando um objeto. Dessa forma, não é possível analisar a pega de objetos no início do movimento do servo. Por exemplo, se ao enviar um comando para o servo fazer o movimento de pega de objeto, e o mesmo já estivesse pressionando, não seria possível a detecção no início do

movimento do servo, por conta do pico de corrente de arranque. Foi observado que apenas a partir da posição 50°, o motor já teria passado pelo pico de corrente.

De modo a mostrar a detecção da pega de objetos, segue na Figura 12 testes, cujo A/D começou a ser lido a partir da posição de 50° do motor. Nela, foram simulados 5 movimentos de rotação, onde no segundo (2) foi aplicada força contrária ao movimento do servo em todo o movimento, notando que há picos do A/D acima de 100 em toda a extensão do segundo movimento. Na quarta (4) simulação foi aplicada força contrária ao movimento na primeira metade da rotação do servo motor, notando que começa com picos acentuados acima de 100 até praticamente metade do quarto teste, e então diminui. Nesse sistema, esses picos são os indicadores de quando o motor deve parar por estar pressionando um objeto.

Figura 12: Simulação do servo com resistor SHUNT, sendo aplicada força contrária ao movimento.



Fonte: Elaboração Própria

Portanto, utilizar um resistor SHUNT de corrente não se mostrou a melhor opção pelo fato de não ser possível a detecção de presença de objetos no início do movimento do servo, isto é, antes da posição 50° do servo. Isso porque seria difícil distinguir se o pico de corrente é devido a corrente de arranque ou o pico de corrente em razão da detecção de objetos.

2.6.2 Resistor FSR

Devido a problemática exposta no subtópico anterior, foi encontrada uma segunda alternativa para sensoriamento do sistema: o resistor FSR.

O sensor FSR é um resistor capaz de detectar pressão física. Ele basicamente muda o valor da resistência (em ohms Ω) de acordo com o quanto ele é pressionado em sua área de detecção. Quanto mais pressão for aplicada, menor será a resistência. Logo, se nenhuma força é exercida sobre a área de detecção, o resistor é equiparado a uma resistência infinita (circuito aberto) [18].

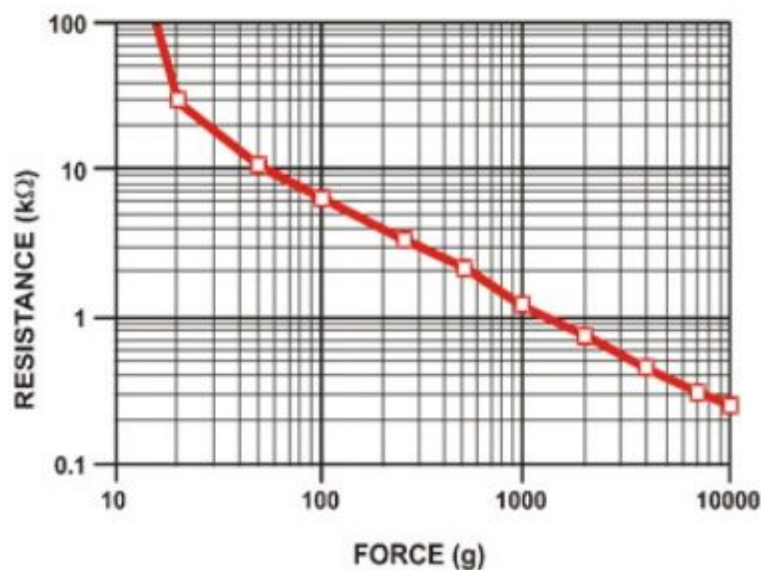
Figura 13. Resistor FSR 402



Fonte: Datasheet Resistor FSR 402

O gráfico a seguir (Figura 14) ilustra aproximadamente a resposta do resistor FSR para diferentes valores de medidas de força.

Figura 14. Curva característica do resistor FSR.



Fonte: Datasheet Resistor FSR 402.

Diferente do resistor SHUNT de corrente estudado no subtópico anterior, em que a corrente de arranque interfere na análise da força, com o resistor FSR não haverá mais esse problema pois a análise será apenas na diferença de potencial no divisor resistivo envolvendo o FSR. Por isso não haverá a imprecisão em distinguir a corrente de arranque ou objeto pressionado no início do curso do servo.

Com o FSR sendo localizado no ponto de contato da garra, permitirá além da detecção da pega desde o início do movimento do servo, como também um controle de força mais preciso.

3. Materiais

No projeto em questão foi feito uso de um resistor FSR 402, de uma placa Arduino UNO, de um módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE, de uma garra confeccionada em alumínio, além de outros componentes eletrônicos e estruturais diversos.

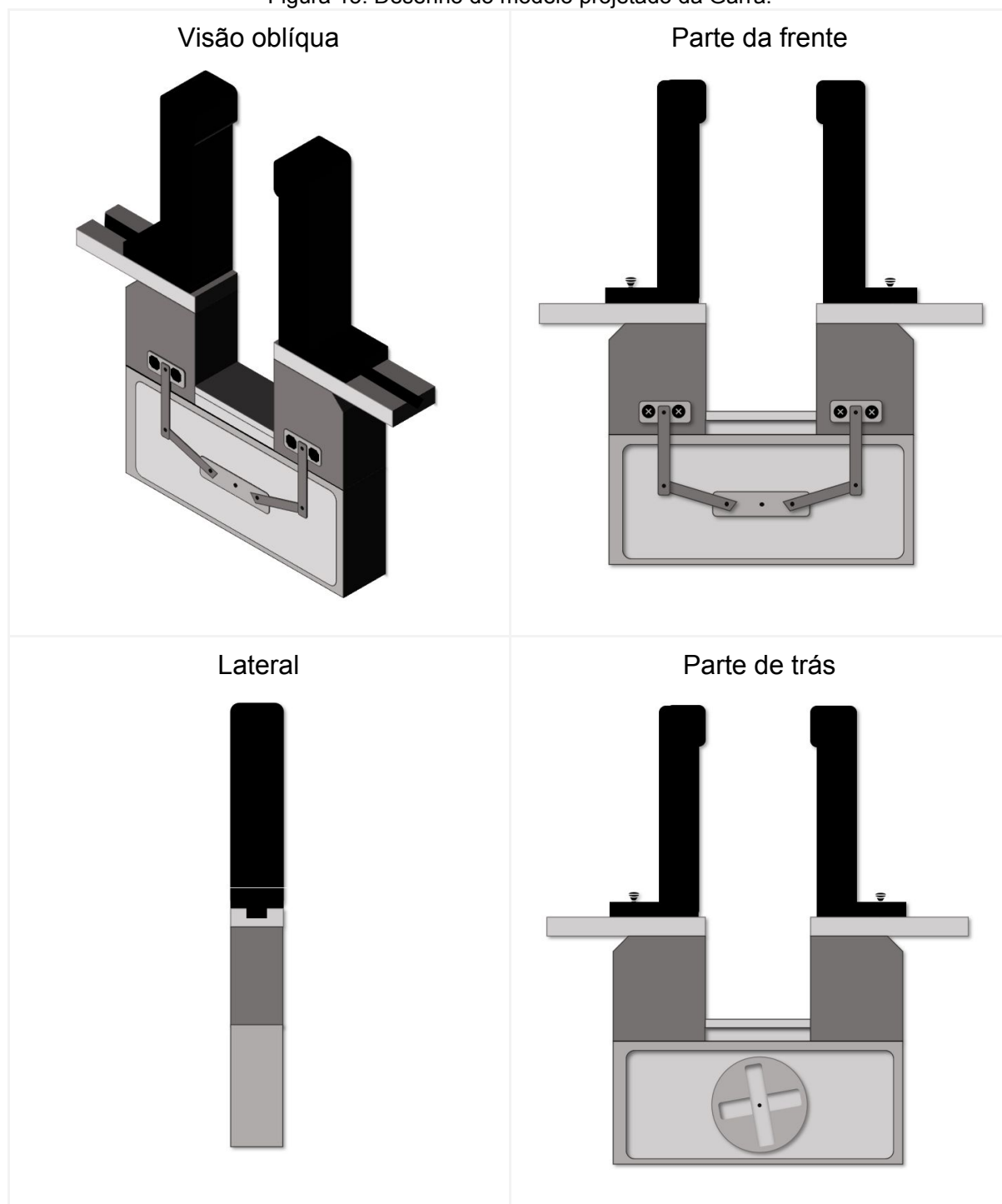
4. Métodos

O desenvolvimento do sistema pode ser dividido em 4 etapas. Abaixo segue o detalhamento de cada uma.

4.1 Construção da Garra Robótica

Em fundamentação teórica, no item 2.5.2, foi apresentado o modelo de referência que seria adotado para confecção da garra (Figura 15). Para a construção, foi realizado o desenho do modelo estudado, e então feito a confecção através de máquinas industriais, como torno e fresadora. Abaixo segue os desenhos realizados para o desenvolvimento da mesma.

Figura 15: Desenho do modelo projetado da Garra.



Fonte: Elaboração própria

A construção da garra foi realizada da seguinte maneira:

- Construção corpo principal

Foi utilizada uma barra de alumínio que foi cortada por uma serra hidráulica e esquadrejada por uma fresa topo reto para deixar nas dimensões 11,5 cm por 5,2 cm por 2,2 cm.

Terminada a etapa anterior, foram feitos os canais internos do bloco para alojar o eixo central juntamente com seus braços articuladores. Para isso utilizou-se novamente a fresa topo reto. Já os trilhos superiores, por onde correm as peças de Nylon, foram feitos através de uma fresa bruduf.

Para finalizar o corpo principal, foi feito um furo no centro do bloco com uma broca de 10mm.

- Braços articuladores

Com o auxílio de uma fresadora, duas pequenas barras de alumínio foram moldadas em formato curvilíneo. Então foi utilizado uma broca macho M4 para fazer os furos em cada extremidade dos braços.

- Eixo central

Foi cortado um pedaço de alumínio redondo na serra hidráulica e depois ele foi torneado na forma desejada. Para terminar, foi usada a fresadora para fazer os vãos em forma de hélice, onde o servo motor irá encaixar.

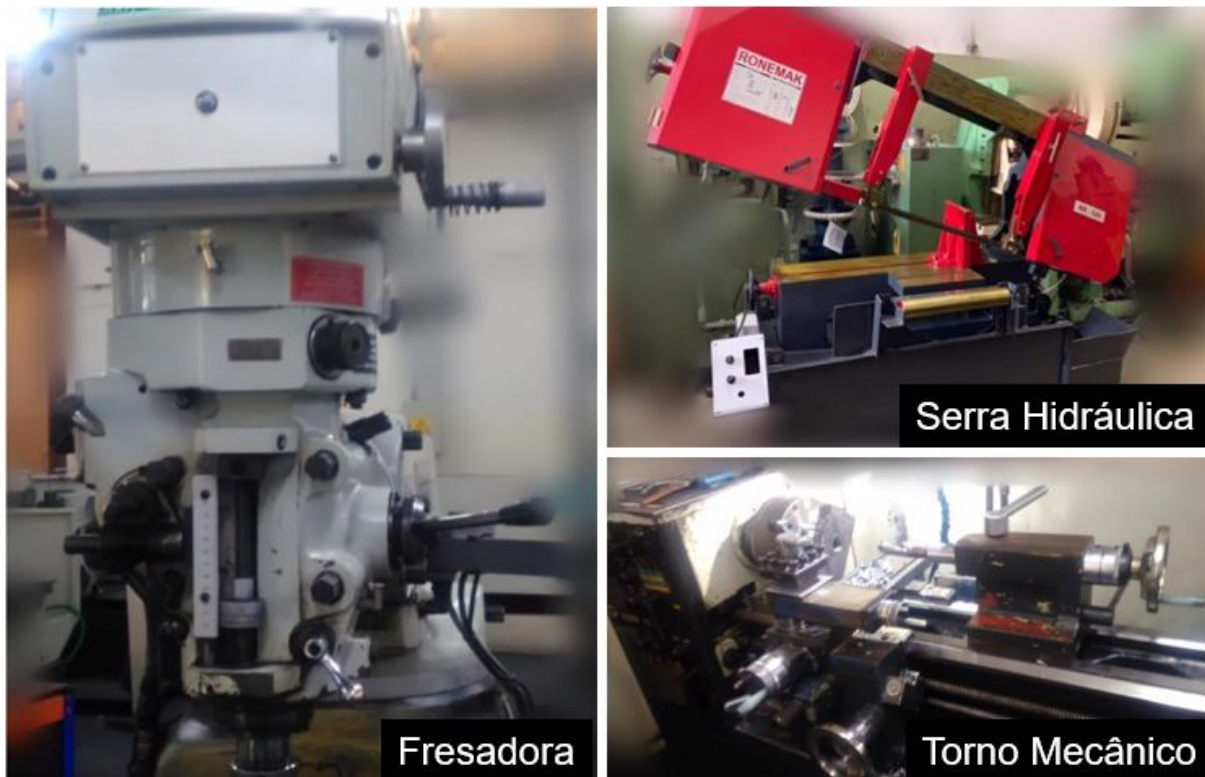
- Pinças

A partir de pedaços de Nylon preto, foram moldadas as pinças e as peças de sustentação secundária. Para isso, foi utilizada a fresadora para fazer os contornos, rasgos e furos desejados que permitirão fixar as pinças nas peças secundárias.

- Trilho de alumínio

Um pedaço de alumínio foi cortado e depois moldado com auxílio da fresadora. Então foram feitos furos para que pudesse prender as pinças com parafusos.

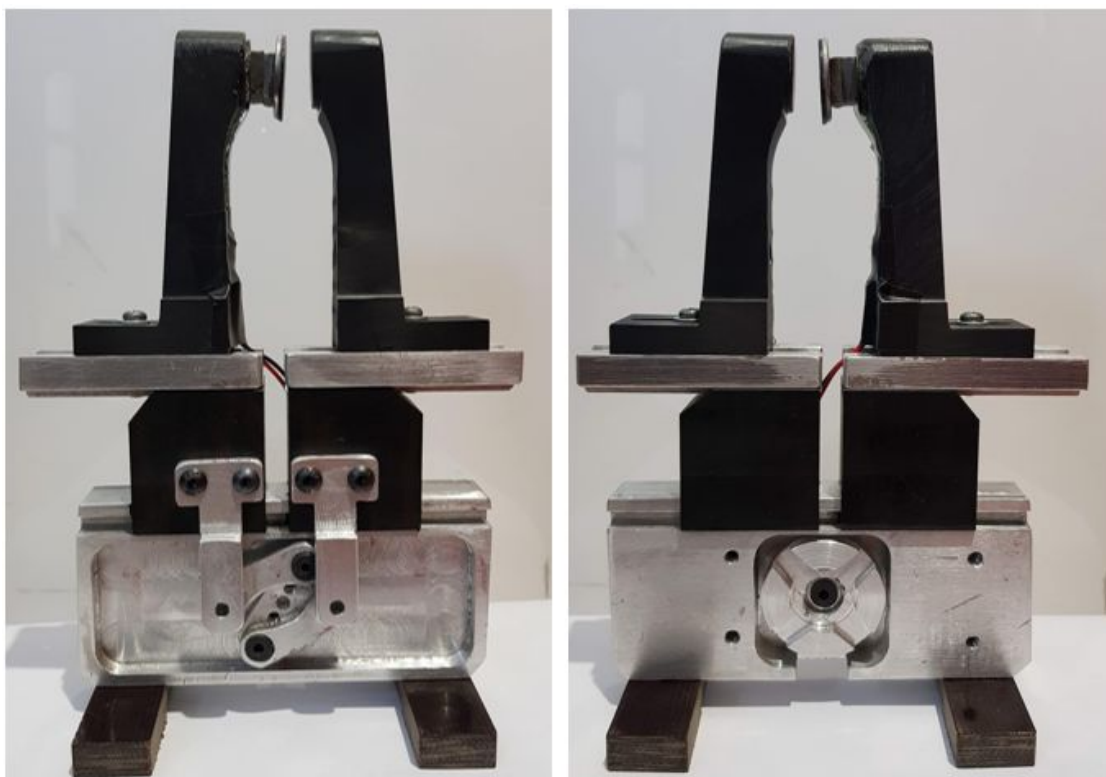
Figura 16: Máquinas industriais usados para a confecção da garra



Fonte: Elaboração própria

Finalizadas todas as peças individuais, elas foram montadas na seguinte disposição (Figura 17).

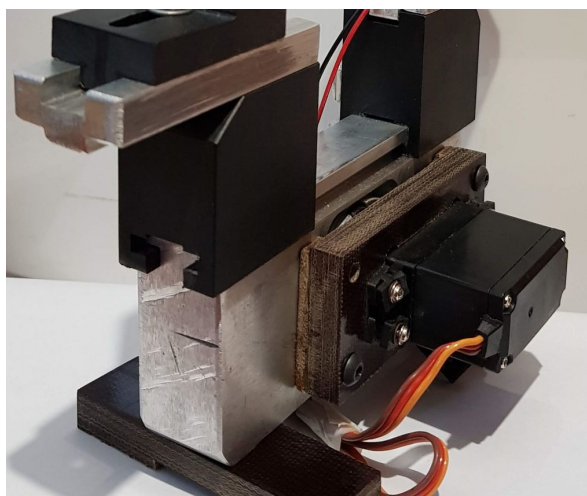
Figura 17: Garra montada após confecção



Fonte: Elaboração própria

Vale ressaltar que o servo motor foi ajustado de forma com que as suas hélices encaixam exatamente no oco do eixo central. Uma vez encaixado, basta apenas parafusar a sua armação no corpo principal para que o sistema possa operar de forma satisfatória. Abaixo segue o servo motor encaixado no corpo principal (Figura 18).

Figura 18: Servo motor encaixado no eixo central

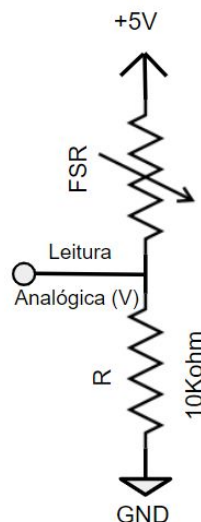


Fonte: Elaboração própria

4.2 Aplicando o Resistor FSR

Uma vez que o resistor FSR altera sua resistência de acordo com a sua variação de pressão, ele foi utilizado como sensor do servo motor na pega de objetos. O sensoriamento se dá através de um divisor resistivo. Assim, foi associada outra resistência em série (com valor de $10k\Omega$) ao FSR, sendo essa associação alimentado por 5V pela placa Arduino. O esquema está ilustrado na figura abaixo (Figura 19).

Figura 19. Esquema eletrônico para o divisor resistivo.



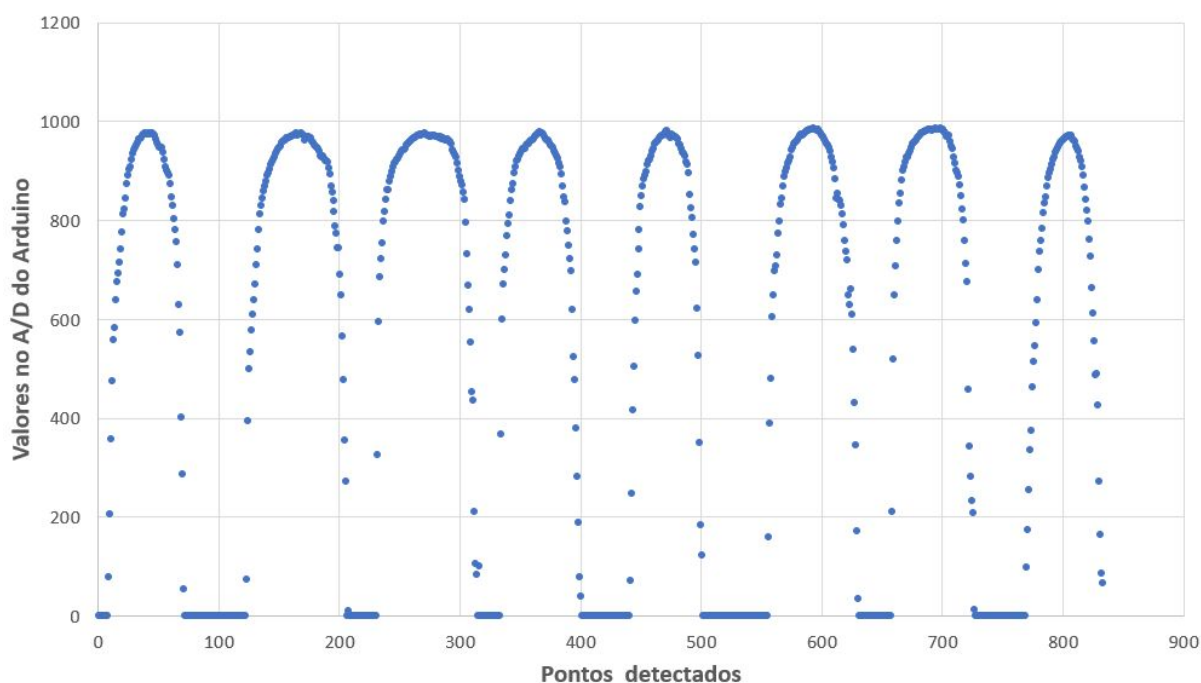
Fonte: Elaboração própria

Quando o resistor FSR está livre de contato, ele apresenta um valor nominal em Ohms muito alto, podendo ser comparado ao infinito. Logo, praticamente toda tensão alimentada, ou seja, os 5 Volts ficam concentrados no FSR. A partir do momento em que ele é pressionado, a sua resistência decai, e quanto maior a pressão aplicada, menor será a resistência. Assim, haverá uma nova divisão de tensão entre os dois resistores. Dado que é enviado para a placa Arduino a queda de tensão do resistor de $10K\Omega$, e de acordo com a intensidade lida, pode-se controlar o curso do servo, via programação.

Foram realizados 8 testes consecutivos dos valores lidos pelo A/D do Arduino ao pressionar o resistor com o dedo e soltá-lo logo em seguida. Na programação, foi

colocado um *delay* de 150ms entre as leituras dos valores do resistor FSR. Abaixo, segue a plotagem dos valores encontrados (Figura 20), em que o eixo y representa os valores lidos pelo A/D do Arduino e o eixo x se trata da quantidade de pontos lidos.

Figura 20: Testes pressionando o resistor FSR 8 vezes consecutivas.



Fonte: Elaboração própria.

A partir dos testes, foi notado que com uma pequena pressão no resistor, o valor lido na entrada A/D e convertido para unidade digital (entre 0 a 1024) já atingia valores maiores que 300 unidades, enquanto que se pressionado muito forte, os valores atingiam próximo a 1000 unidades. Com isso, é possível ter uma noção do valor a ser medido para indicar se um objeto está sendo pressionado de forma fraca ou forte, bastando analisar esse valor lido pelo resistor.

Desse modo, o resistor FSR foi posicionado na face de uma das pinças, com a área de contato exposta. Assim, toda vez que um objeto estiver entre as pinças e for executado o movimento de fechar, será aplicada uma força contrária ao resistor FSR, e portanto sua resistência irá diminuir. Desse modo, com a leitura da entrada A/D do Arduino, é possível fazer uma análise da força aplicada ao objeto e fazer o motor interromper o seu curso de acordo com a pressão desejada.

Um ponto observado foi que o resistor detecta a pressão principalmente em seu centro de contato. Diante disso, objetos planos pressionados paralelamente ao resistor não produziram os resultados desejados. Por conta disso houve a necessidade de adaptá-lo de forma que ele concentre a força exercida em seu centro, independente do formato do objeto. Portanto, foi colocada uma espécie de espuma com um objeto redondo sobre o resistor, fazendo com que todo objeto pressionado exercesse força bem no centro do resistor FSR, e que assim fizesse a análise correta.

Segue uma imagem do resistor em uma das pinças (Figura 21).

Figura 21: Resistor FSR na pinça



Fonte: Elaboração própria.

4.3 Gravando os Comandos de Voz

A ELECHOUSE, fabricante do módulo de reconhecimento de voz V3, oferece uma biblioteca para Arduino que permite que sejam feitas as gravações dos comandos de voz na placa.

A placa suporta diversos comandos seriais que podem ser vistos através da Tabela 1.

Tabela 1: Comandos suportados pelo módulo de voz Elechouse V3.

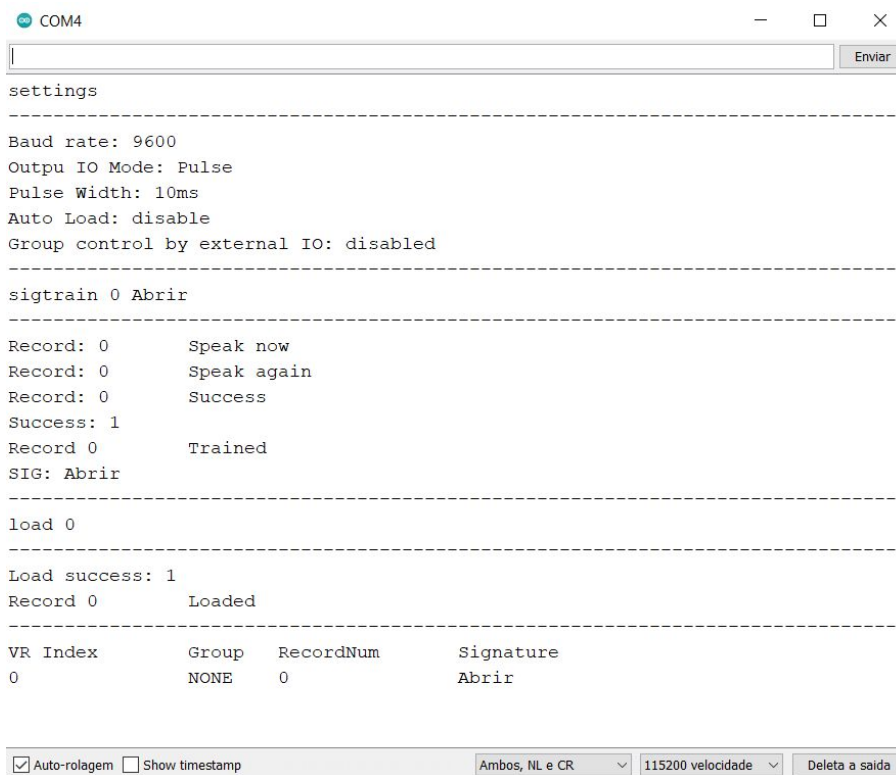
Índice	Comando	Formato	Comentário
1	settings	settings	Verifica o status atual do sistema
2	sigtrain	sigtrain (r) (sig)	Treina um registro de voz (r) com uma assinatura (sig)
3	load	load (r0) (r1) ...	Carrega os registros de voz na placa
4	clear	clear	Remove todos os registro de voz da placa
5	record	record (r0) (r1) ...	Verifica o status dos registros treinados
6	vr	vr	Checa o status do reconhecimento de voz
7	getsig	getsig (r)	Retorna a assinatura de um registro (r)
8	train	train (r0) (r1) ...	Treina registros de voz

Fonte: Tradução do Manual do módulo reconhecimento de voz ELECHOUSE V3

Os principais comando utilizados foram os três primeiros: ‘settings’ que é usado para testar se o módulo está operando, ‘sigtrain’ que é usado para registrar um comando de voz na placa com um identificador e ‘load’ que é usado para carregar o comando na placa para que o mesmo possa ser usado.

Na Figura 22 é possível ver esses três comandos sendo utilizados para a gravação do comando ‘Abrir’ no módulo.

Figura 22: Gravação do comando Abrir



Fonte: Elaboração própria

No total foram gravados 4 comandos de voz, sendo eles com seus propósitos abaixo:

Tabela 2: Comandos Gravados no módulo de voz V3.

Comando de voz	Descrição
Abrir	Coloca a garra na posição totalmente aberta.
Fechar	Coloca a garra na posição totalmente fechada.
Fraco	Inicia o movimento de fechar a garra e para a partir do momento que seja detectado um objeto, com um pressionamento mais leve. Caso contrário, a garra atinge a posição totalmente fechada.
Forte	Inicia o movimento de fechar a garra e para a partir do momento que seja detectado um objeto, com um pressionamento mais forte. Caso contrário, a garra atinge a posição totalmente fechada.

Fonte: Elaboração própria

4.4 Desenvolvimento do Código

Com o sistema todo montado, foram realizados testes para identificar a posição do servo, o qual deixaria a garra totalmente aberta e totalmente fechada. Foi identificado que a posição 52° representa a posição totalmente aberta, e a posição 162° representa a garra totalmente fechada. Vale destacar que o servo motor utilizado tem um curso de 0° até 180°. Dito isso, o fluxograma que representa o código desenvolvido está mostrado na Figura 22.

Conforme representado no fluxograma, a medida que o sistema é ligado, ele passa a fazer a leitura dos comandos de voz, e de acordo com a palavra dita, se a mesma representa um comando gravado previamente, o servo é acionado para realizar a movimentação das pinças da garra.

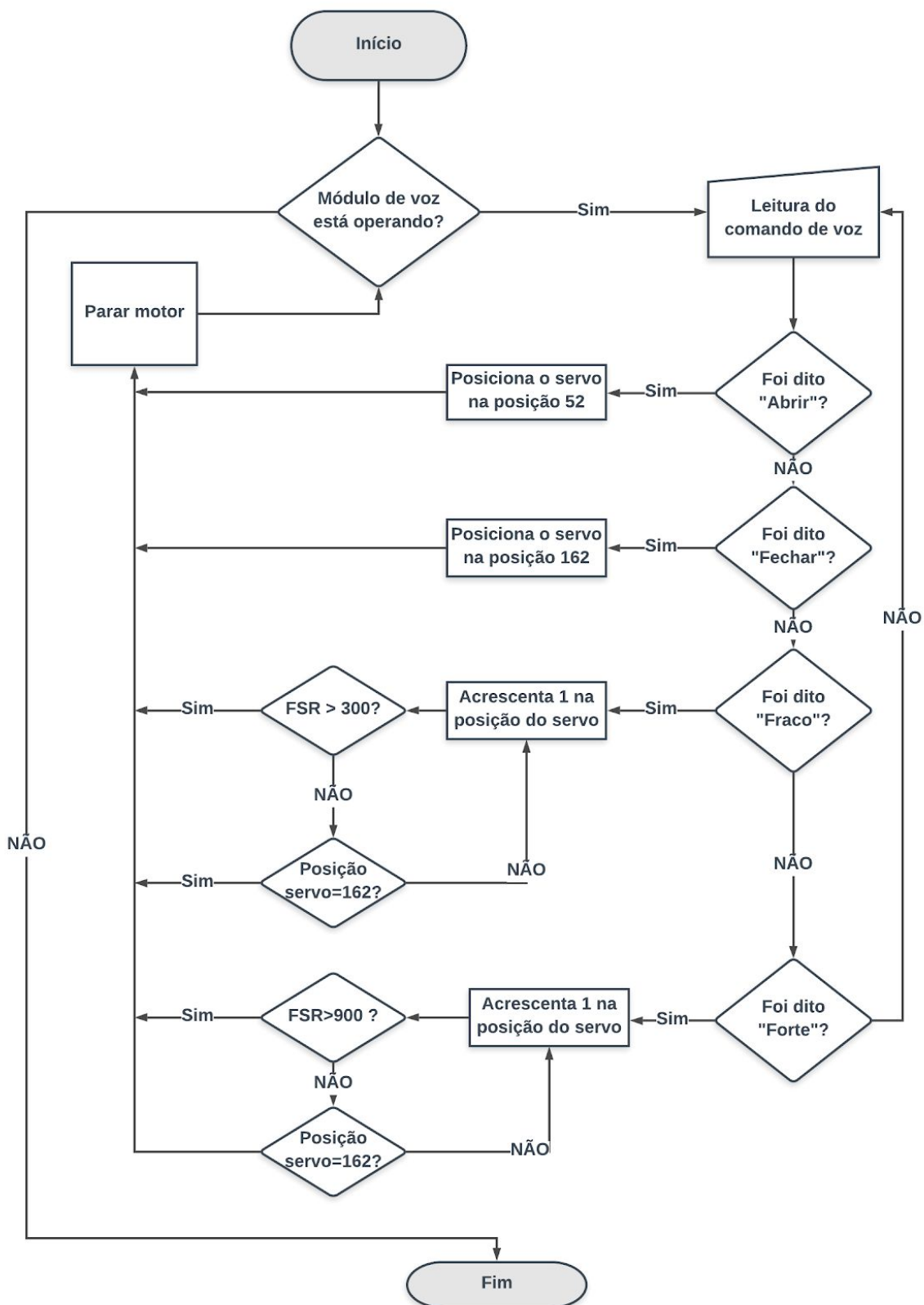
Caso for dita a palavra 'Abrir', a garra é posicionada na posição aberta, e para isso o servo é posicionado na posição 52°.

Caso for dito 'Fechar', a garra é posicionada na posição fechada, e para isso o servo motor é posicionado na posição 162°.

Caso for dita a palavra 'Fraco', é incrementado um grau na posição do servo, até que o resistor FSR identifique um valor maior que 300 unidades (valores que representam pouca pressão sofrida pelo resistor, conforme testes descritos no tópico 4.2) que faz o servo motor ser paralisado. Senão a posição da garra irá atingir 162°, configurando garra fechada.

Caso for dita a palavra 'Forte', é incrementado um grau na posição do servo, até que o resistor FSR identifique um valor maior que 900 unidades (valores que representam alta pressão sofrida pelo resistor, conforme testes descritos no tópico 4.2), que faz o servo ser paralisado. Senão a posição da garra irá atingir 162°, configurando garra fechada.

Figura 23: Fluxograma código desenvolvido para Garra robótica



Fonte: Elaboração própria

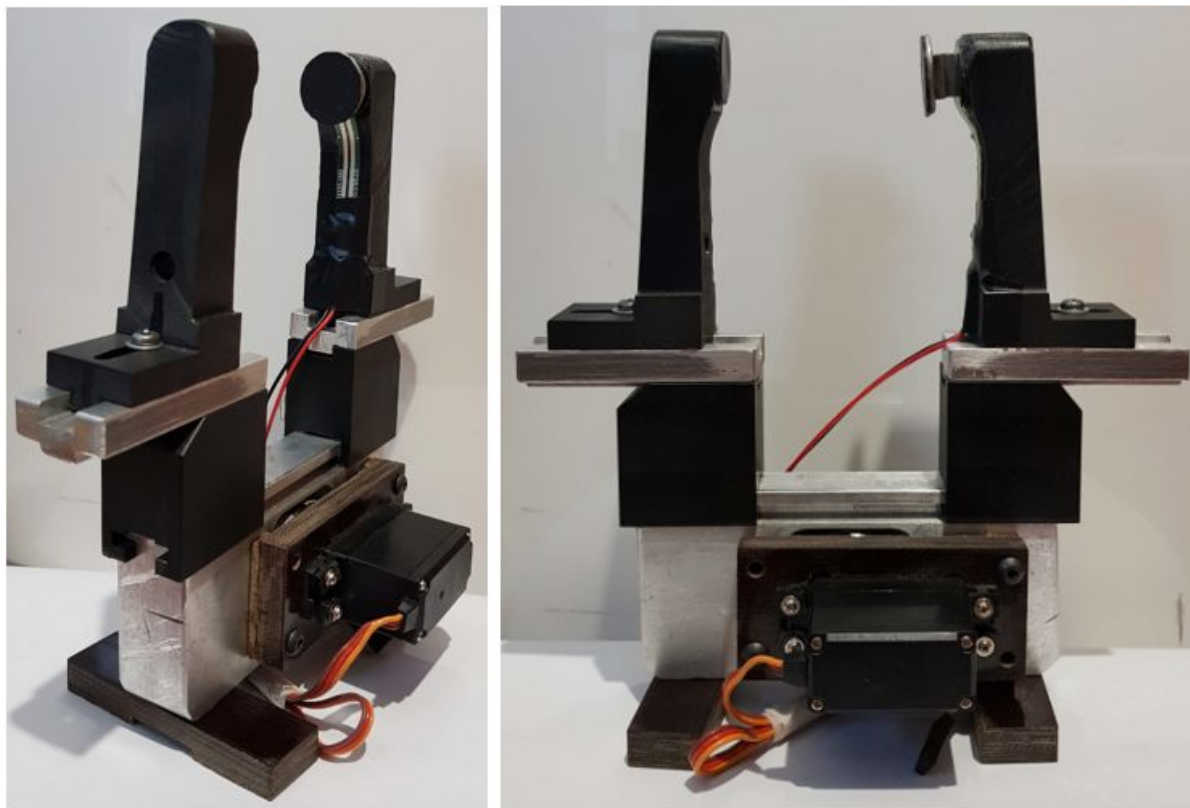
5. Resultados e Discussões

A proposta apresentada nesse trabalho final foi de construir uma ferramenta mecatrônica que auxiliasse pessoas portadoras de deficiência física ou algum tipo de limitação motora nas mãos. Para tanto, o projeto consistiu em utilizar um microcontrolador Arduino Uno juntamente com um módulo de voz, operando juntos com uma garra confeccionada pelos integrantes do grupo.

O resultado obtido por esse sistema se encontra em um vídeo demonstrativo de seu funcionamento. Ele está disponível em um vídeo elaborado pelos autores em [19]. Nele foram feitos testes em dois objetos diferentes com intensidades de forças distintas. Inicialmente na demonstração, foi dito “fechar” e depois “abrir” para exemplificar a garra operando sem nenhum objeto entre as pinças. Então foi colocado um copo de plástico descartável e então foi dito “fraco” para que as pinças o segurassem. Como o copo possui uma estrutura muito frágil, ele deforma ao ser detectado pela resistência FSR. Em seguida, com o mesmo copo descartável, foi dito “forte” e mais uma vez ele foi deformado ao ser capturado, porém com uma deformação de maior grau. O mesmo tipo de teste, como descrito anteriormente, foi feito com um ovo, e também foi obtido o mesmo resultado. Isso evidencia o êxito do sistema, já que era esperado a garra pegar objetos com dois níveis de força diferentes. Vale registrar que algumas palavras não registradas no módulo de voz foram ditas e nenhuma ação foi executada.

A Figura 24 mostra a versão final da garra desenvolvida neste trabalho.

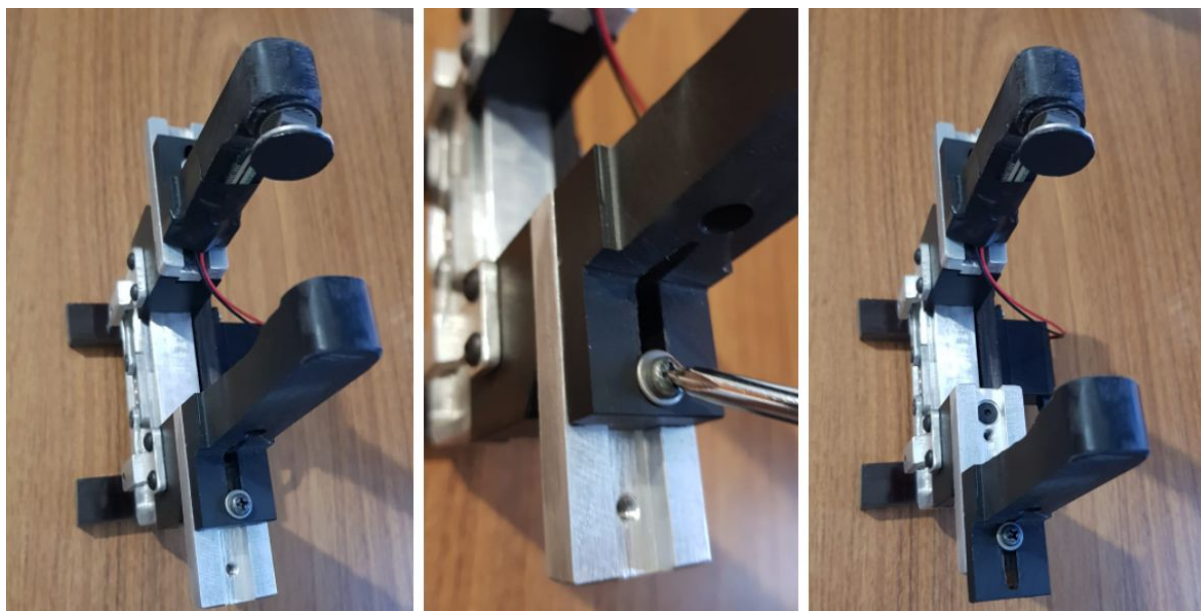
Figura 24: Garra desenvolvida versão final.



Fonte: Elaboração própria

Uma ressalva encontrada pelo grupo foi a incompatibilidade da abertura que as pinças proporcionam para fazer a pega com os vários tamanhos de objetos. Como demonstrado no vídeo, a garra pegou objetos com tamanho pequeno. Porém objetos maiores, como por exemplo uma garrafa PET, não seria possível encaixá-la na mesma abertura. Por este motivo as pinças são fixadas em trilhos de alumínio com parafusos, porque assim é possível ajustar manualmente o tamanho da abertura das pinças (vide Figura 25).

Figura 25: Posicionamento das pinças na garra.



Fonte: Elaboração própria.

Essa situação consistiria em um problema, pois a finalidade do projeto é favorecer pessoas com deficiência nas mãos, o qual a garra desempenharia essa função, mas para poder ajustar as pinças de acordo com o objeto a ser pegado, necessitaria de um trabalho manual.

Outra contrariedade é o fato da garra robótica desempenhar apenas a função de pinça, dado que a mão humana consegue executar vários tipos de manejos (ver Figura 26). Logo, o usuário que adotasse a garra robótica para sanar sua limitação, estaria adquirindo apenas um manejo, e não vários dos quais a mão pode oferecer.

Figura 26: Os vários tipos de manejos.



Fonte: extraído de [20].

6. Considerações Finais

Diante de um período de pandemia de COVID-19, o que exigiu distanciamento social, ela acarretou uma série de empecilhos para o desenvolvimento do projeto, como limitações de acesso à Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, comunicação remota e distância entre as cidades dos alunos. Tudo isso prejudicou principalmente a parte prática. Apesar dessas adversidades, o projeto foi desenvolvido com êxito, apresentando resultados satisfatórios e que permitem estudos e avanços posteriores.

6.1 Conclusão

Foi possível concluir que o sistema atingiu o propósito pretendido. Inicialmente, foi realizado um estudo aprofundado em cima da placa Arduino UNO, resistor FSR, estruturas de garras e do módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE V3, onde foram simulados circuitos bem simples com comando de voz. Em seguida, foram projetadas todas as peças da garra e montadas manualmente. Com a garra pronta, foi realizado o estudo e treinamento dos comandos de voz no módulo ELECHOUSE V3 com o Arduino, fazendo diversos testes simples de abrir e fechar a garra com o servo. Foram também realizados diversos testes no resistor FSR para identificar qual pressão sofrida por ele indica determinado nível de força. Com o sistema pronto, foram configurados 4 comandos de voz: 'Abrir', 'Fechar', 'Fraco' e 'Forte', responsáveis por acionar o conjunto a realizar as funções conforme o nome do comando sugere. Diversos testes foram feitos, dentre os principais que mostram sistema em funcionamento, tem-se a pega de um copo descartável e de um ovo oco.

Com o projeto é possível realizar a pega de diferentes tipos de objetos como copos, peças, frutas e entre outras, além de permitir com que seja feito um controle da força realizada na pega. Ressalta-se a inclusão de controle de força através de um resistor FSR, conseguindo diferenciar objetos com geometrias e pesos distintos. Para esse controle de torque na pega de objetos, é possível fazer modificações no programa desenvolvido no IDE do Arduino de acordo com a aplicação. Uma vez que

o módulo de voz ELECHOUSE V3 utilizado suporta até 7 comandos de voz ativos, permite com que sejam realizadas implementações diversas, com cada comando correspondendo a um determinado objeto. Dessa maneira, abre-se um leque para diversas aplicações.

6.2 Trabalhos Futuros

Ao longo do projeto foram identificadas diversas oportunidades de desenvolvimento, dentre elas, tem-se:

- Antebraço: Adicionar um antebraço com um servo motor adicional conforme a Figura 8. Seria interessante para pega de objetos em diferentes ângulos.
- Adição de mais um resistor FSR: Para aumentar a precisão da pega, seria interessante adicionar um outro resistor FSR. Assim teria um resistor em cada lado da pinça, permitindo diferentes análises de força, de modo que a análise de um resistor se complementa com a do outro, parando o servo, realmente, só quando pressionando algum objeto.
- Uso do dinamômetro: Uma análise interessante seria usar um dinamômetro para medir as diferentes forças de pega da garra, e ter um controle de força mais preciso.
- Robô: Apesar da ideia da garra substituir a prótese de uma mão, a mesma também pode ser implementada em robôs industriais.

7. Referências Bibliográficas

[1] Tecnologia Assistiva: conceitos, recursos e cursos fundamentais. Educamundo, 2018. Disponível em: <<https://www.educamundo.com.br/blog/curso-online-tecnologia-assistiva>>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

[2] Tecnologias para pessoas com deficiência proporcionam mais autonomia. Razões para Acreditar, 2017. Disponível em: <<https://razoesparaacreditar.com/tecnologias-pessoas-com-deficiencia/>>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

[3] BARBOSA, Marystela. Como a tecnologia está mudando a vida de pessoas com deficiência no Brasil. Startupi, 2018. Disponível em: <<https://startupi.com.br/2018/04/como-a-tecnologia-esta-mudando-a-vida-de-pessoas-com-deficiencia-no-brasil/>>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

[4] LUNARDI, Lucas. Acessibilidade nos Games: tudo que você precisa entender sobre o tema! Medium, 2019. Disponível em: <<https://medium.com/@lucaslunardi/acessibilidade-em-games-tudo-que-voc%C3%A4A-precisa-entender-2ca3c6203853>>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

[5] A. M. Mohd Ali, A. J. M. Wahi, R. Ambar, M. M. Abdul Jamil. (2011). Development of Artificial Hand Gripper by using Microcontroller. International Journal of Integrated Engineering, v. 3, n. 2, pp. 47-54.

[6] N. A. Abd Razak, N. A. Abu Osman, H. Gholizadeh, S. Ali. (2014). Development and performance of a new prosthesis system using an ultrasonic sensor for wrist movements: a preliminary study. BioMedical Engineering OnLine, v. 13, n. 49, pp. 1-14.

[7] E. A. Caspar, A. de Beir, P. A. M. S. da Gama, F. Yernaux, A. Cleeremans, B. Vanderborght. (2015). New frontiers in the rubber hand experiment: when a robotic hand becomes one's own. Behav Res., v.47, pp. 744-755.

[8] REIS, Fábio dos. Introdução aos Sistemas Embarcados. Bóson Treinamentos, 2015. Disponível em <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/eletronica-geral/introducao-aos-sistemas-embarcados/>>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

[9] C.J. Abate, What is a Microcontroller?. Disponível em: <<https://www.elektormagazine.com/news/what-is-a-microcontroller>>. Acesso em: 17 de Setembro de 2019.

- [10] ARDUINO, What is Arduino?, Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 17 de Setembro de 2019.
- [11] Datasheet, Arduino UNO. Disponível em: <<http://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>>. Acesso em: 17 de Setembro de 2019.
- [12] Arduino Software, ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/guide/environment>>. Acesso em: 17 de Setembro de 2019.
- [13] ELECHOUSE. Voice Recognition Module V3. Disponível em: <https://www.elechouse.com/elechouse/images/product/VR3/VR3_manual.pdf>. Acesso em: 17 de Setembro de 2019.
- [14] ASPINA, What is a servo motor?. Disponível em: <<https://www.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/what-is/004/>>. Acesso em 10 de Outubro de 2020.
- [15] MATTEDE, Henrique. O que é Servo motor e como funciona?. Disponível em:<<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-servo-motor-e-como-funciona/#:~:text=Para%20controlar%20a%20velocidade%20e,controlador%20e%20outros%20circuitos%20complementares.>>. Acesso em 10 de Outubro de 2020.
- [16] Corona DS558HV Digital Metal Gear. HOBBYKING. Disponível em:<https://hobbyking.com/pt_pt/corona-ds558hv-digital-metal-gear-servo-14kg-58g-0-18-sec.html>. Acesso em 10 de Outubro de 2020.
- [17] BACARIN, V. F. ; XIMENES, R. L. ; XIMENES, T. S. S. Desenvolvimento de um Protótipo de uma Mão Biônica Controlada por Comando de Voz. In: Cicilia Raquel Maia Leite, Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa. Célia Aparecida dos Reis. (Org.). NOVAS TECNOLOGIAS APLICADA À SAÚDE: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DINÂMICOS – CONCEITOS, APLICAÇÕES E UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS INTELIGENTES. 1ed.Mossoró - RN: EDUERN, 2019, v. 1, p. 291-306.

[18] ADAFRUIT, Force Sensitive Resistor (FSR). Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview>>. Acesso em: 08 de Novembro de 2019.

[19] BACARIN, Victor. TCC VIDEO. 2020. (1m4s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ItBXJOXpZvg&feature=youtu.be&ab_channel=VictorBacarin>. Acesso em: 21 Novembro 2020.

[20] BORGHI, Paula Araujo. Ergodesign de ferramentas manuais. Portal bio concursos. Disponível em: <https://portalbiocursos.com.br/ohs/data/docs/183/9-Ergodesign_de_ferramentas_manuais.pdf>. Acesso em: 16 de Dezembro de 2020.