

**UNIVERSIDADE PAULISTA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**

**Jefferson Batista da Silva  
Lucas dos Santos  
Lucas Fernandes Moraes  
Raul Sampaio Priolli da Cunha  
Vinicius Sousa de Carvalho**

**DESENVOLVIMENTO DE BRAÇO MECÂNICO COM  
RECONHECIMENTOS POR VOZ**

**SANTANA DE PARNAÍBA - SP  
2024**

**Jefferson Batista da Silva**  
**Lucas dos Santos**  
**Lucas Fernandes Moraes**  
**Raul Sampaio Priolli da Cunha**  
**Vinicius Sousa de Carvalho**

**DESENVOLVIMENTO DE BRAÇO MECÂNICO COM  
RECONHECIMENTOS POR VOZ**

Trabalho apresentado para obtenção do Certificado de Graduação em Ciência da Computação pelo Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista (UNIP).

Orientador: Prof. Me. Edy Carlos Hidemi Hayashida

**SANTANA DE PARNAÍBA – SP**

**2024**

CIP - Catalogação na Publicação

DESENVOLVIMENTO DE BRAÇO MECÂNICO COM  
RECONHECIMENTOS POR VOZ / Jefferson Batista; Lucas Santos;  
Lucas Moraes Raul Priolli; Vinicius Carvalho....[et al.]. - 2024.  
60 f. : il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) apresentado ao Instituto  
de Ciência Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista, Santana de  
Parnaíba, 2024.

Área de Concentração: Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Prof. Me. Edy Carlos Hidemi Hayashida .

1. Tecnologia. 2. Prótese de membro superior. 3. Arduino. 4.  
Desenvolvimento Kotlin. I. Raul Priolli; Vinicius Carvalho., Jefferson  
Batista; Lucas Santos; Lucas Moraes. II. , Prof. Me. Edy Carlos Hidemi  
Hayashida (orientador).

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Universidade Paulista  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**SANTANA DE PARNAÍBA - SP**

**2024**

**Jefferson Batista da Silva**  
**Lucas dos Santos**  
**Lucas Fernandes Moraes**  
**Raul Sampaio Priolli da Cunha**  
**Vinicius Sousa de Carvalho**

## **DESENVOLVIMENTO DE BRAÇO MECÂNICO COM RECONHECIMENTOS POR VOZ**

Trabalho apresentado para obtenção do Certificado de Graduação em Ciência da Computação pelo Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista (UNIP).

Orientador: Prof. Me. Edy Carlos Hidemi Hayashida

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Prof. Me. Edy Carlos Hidemi Hayashida

Universidade Paulista – UNIP

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Prof. Adriano Domingues

Universidade Paulista – UNIP

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Prof. Marcelo Castro

Universidade Paulista – UNIP

## **Dedicatória**

Dedicamos esse trabalho a nossos amigos e família, que nos apoiaram nos momentos em que mais precisamos no decorrer dessa jornada desafiadora.

Aos nossos coordenadores e professores, por compartilharem conosco os ensinamentos necessários não só para o desenvolvimento deste trabalho, bem como para nossa evolução pessoal.

E especialmente aos membros deste grupo, por fazermos juntos esse projeto tomar forma e concluí-lo da melhor maneira possível.

*“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem - mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir”.*

***Albert Einstein***

## RESUMO

Com o intuito de promover a inclusão e autonomia das pessoas com deficiência nos membros superiores proporcionando para elas independência, esse trabalho tem como objetivo criar uma tecnologia acessível utilizando materiais de baixo custo, buscando tornar as próteses acessíveis mesmo para pessoas com recursos limitados, visando melhorar a qualidade de vida dessas pessoas. Utilizando a plataforma versátil do Arduíno, trabalhamos no desenvolvimento de uma prótese de membro superior, a qual será integrada a um sistema de reconhecimento de voz, proporcionando uma experiência de uso eficiente para o usuário, além de restaurar a funcionalidade perdida, essa tecnologia oferecerá independência ao usuário ajudando a simplificar suas tarefas cotidianas e promovendo uma maior integração social. A prótese será impressa em uma impressora 3D que tem uma grande capacidade de criar objetos com tamanho e formatos desejados que quando juntos, apresentarão a anatomia de um braço humano. No sistema de voz, a linguagem de programação Kotlin, foi utilizada para criar o sistema que possibilitará o usuário se comunicar com a prótese.

Palavras-chave: Tecnologia acessível, Arduíno, Kotlin, Prótese.

## **ABSTRACT**

With the aim of promote the inclusion and autonomy of disabled people in upper limbs providing them Independence. This work has the goal of creating an accessible technology using low-cost materials, looking for to make prosthesis being more accessible even for limited resourced people given than a better quality of life. Using versatile platafom as Arduíno, we worked on the development of upper limbs prosthesis, which will be integrated to a voice recognition system, giving an efficient user experience, besides restoring the lost functionality. This technology will offer freedom to the user helping to simplify their daily tasks and promoting a greater social inclusion. The prosthesis will be printed in a 3D printer that has a great capacity to create objects with the desired shape and size that when put together, they will show the anatomy of a human arm. In the voice system, the Kotlin program language, was used to creat the system that will enable the user to communicate with the prosthesis.

Key-words: Accessible technology, Arduino, Kotlin, Prosthesis.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Órteses para membros inferiores .....	22
Figura 2 - Órtese de posicionamento para punho-mãos-dedos .....	22
Figura 3 - Próteses endoesqueléticas em produção .....	23
Figura 4 - Prótese estética não funcional .....	24
Figura 5 - Allegro manuseando um pato de borracha .....	28
Figura 6 - Primeiro Arduíno .....	29
Figura 7 - Modelo de impressora 3D .....	32
Figura 8 - Moldes desenvolvidos para impressão .....	38
Figura 9 - Início da montagem da mão .....	39
Figura 10 - Diagrama de caso de uso .....	40
Figura 11 - Prótese aberta .....	51
Figura 12 - Prótese fechada .....	51
Figura 13 - Conexão Bluetooth .....	52
Figura 14 - Comando abrir .....	53
Figura 15 - Comando fechar .....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comandos para transição de tela .....	40
Quadro 2 - Comandos default (Apenas da tela envia mensagens) .....	41
Quadro 3 - Comandos para comunicação com o braço .....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS e SIGLAS (Opcional)**

**PCD** - Pessoa com Deficiência

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**BVS** - Biblioteca Virtual da Saúde

**OMS** - Organização Mundial da Saúde

**SUS** - Sistema Único de Saúde

**OPM** - Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção

**UC** - Universidade da Califórnia

**KB** - Kilobyte

**SLA** - Stereolithography

**SLS** - Sinterização Seletiva a Laser

**FDM** - Fused Deposition Modeling (Modelagem por Deposição Fundida)

**NASA** - National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)

**IBM** - International Business Machines (Máquinas de Negócios Internacionais)

**USB** - Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)

**IDE** - Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)

**PWM** - Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)

**UARTs** - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Receptor-Transmissor Assíncrono Universal)

**ICSP** - In-Circuit Serial Programming (Programação Serial no Circuito)

**DC** - Direct Current (Corrente Contínua)

**Intel** - Integrated Electronics (Eletrônica Integrada)

**MBPS** - Megabits per Second (Megabits por Segundo)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Problematização .....	13
1.2 Objetivo Geral .....	14
1.3 Objetivo Específico.....	15
1.4 Metodologia.....	15
1.5 Organização do Texto .....	16
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 Introdução à Deficiência Física.....	18
2.1.2 Principais causas .....	19
2.1.3 Custos, Manutenção e Dificuldades do uso de próteses .....	21
2.1.4 Alternativas.....	25
2.2 Prótese.....	26
2.3 Arduino.....	28
2.4 Impressão 3D .....	30
2.7 Modelo Cliente-Servidor.....	32
2.8 Proposta e Concepção do Projeto.....	33
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Arduino Mega 2560 .....	34
3.2 Servomotor .....	35
3.3 Módulo Bluetooth HC-06.....	36
3.4 Fio de Nylon .....	36
3.5 Impressora 3D .....	37
3.6 Linguagens de Programação: Java e Kotlin .....	39
3.6.2 Código desenvolvido para o aplicativo .....	41
3.6.3 Campo de Ajuda no aplicativo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
4.1 Movimento da Mão.....	50
4.2 Conexão entre Braço e Aplicativo .....	51
4.3 Leitura de Voz .....	52
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>

<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – ARRUMAR E PADRONIZAR AS REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
--	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

Pessoas com deficiência (PcD) enfrentam diversos desafios em suas rotinas diárias, desde questões relacionadas ao desempenho no trabalho, como interações sociais e lazer. Conforme destacado em um estudo do IFRN – Instituto Federal do Rio Grande do Norte, uma adaptação de plataformas de jogos digitais para pessoas com deficiências nos membros superiores representa um enorme passo nessa jornada. De acordo ao censo do IBGE de 2010, o Brasil abriga mais de 45 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, o que corresponde a 23,92% da população, deste total mais de 13 milhões são deficientes físicos. (IBGE, 2010)

De acordo com a LEI Nº 13.146 art. 8º, a acessibilidade é um direito fundamental de todas as pessoas, incluindo aquelas com deficiência nos membros superiores. Este trabalho se propõe a analisar de maneira geral os obstáculos enfrentados por pessoas sem os membros superiores, com objetivo de compreender suas necessidades e identificar soluções que possam melhorar sua qualidade de vida, propondo medidas que favoreçam sua inclusão e bem-estar.

Dentre as principais deficiências físicas, uma das que mais causam limitações, são as relacionadas aos membros superiores, dada a importância desses membros como fundamental para a realização de grande parte de nossas atividades cotidianas. Pessoas com deficiências nos membros superiores enfrentam grandes dificuldades de realizar tarefas simples, como a manipulação de objetos (BARDI, 2022). Diante dessa realidade, faz-se necessário buscar maneiras para solucionar esses desafios através da tecnologia, criando soluções para facilitar as tarefas do cotidiano.

### 1.1 Problematização

O Artigo 8º da Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015 - Estatuto da Pessoa com Deficiência, estabelece que é de responsabilidade do Estado, da sociedade e da família garantir com prioridade, a realização dos direitos fundamentais das pessoas com deficiência. Conforme previsto na Constituição Federal, da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e legislação correlatas, esses direitos abrangem áreas como saúde, educação, trabalho, acessibilidade, lazer, aos avanços científicos, entre outros.

Nesse contexto é importante refletirmos sobre o nosso papel como sociedade para que possamos aumentar a independência dos cidadãos que possuem algum tipo de deficiência. Embora a inclusão dessas pessoas em todos os aspectos da vida social “[...] é muito recente comparando ao período em que o mundo viveu de exclusão de Pessoas com Deficiência” (SCHWARZ, 2009).

Contudo é de extrema importância que nós estudiosos da tecnologia encontremos meios para quebrar as barreiras enfrentadas por estes indivíduos. O avanço da tecnologia tem o potencial de proporcionar maior autonomia aos usuários de próteses, não apenas em termos de funcionalidade, mas também estética, contribuindo assim para uma melhor qualidade de vida e uma inclusão mais efetiva na sociedade. Isto não é uma questão de conforto ou status, mas sim de qualidade de vida. O deficiente precisa ter equipamentos que o satisfaçam funcional e esteticamente para que ele tenha uma vida melhor e se inclua de uma forma adequada no meio social. (LONGHI, 2004).

## 1.2 Objetivo Geral

Nosso propósito é promover a inclusão e autonomia das pessoas com deficiência nos membros superiores, proporcionando para eles independência através da tecnologia acessível. Ao utilizar materiais de baixo custo, buscamos tornar as próteses acessíveis mesmo para aqueles com recursos limitados. Nosso objetivo vai além de simplesmente fornecer dispositivos, buscamos construir uma sociedade mais igualitária, onde todos tenham oportunidades iguais de participar ativamente.

Ao criar próteses acessíveis, não estamos apenas resolvendo problemas práticos, mas também empoderando indivíduos. Queremos que eles se sintam preparados para os desafios diários com confiança e autonomia. Ao remover as barreiras financeiras, estamos promovendo não apenas a inclusão, mas também uma mudança cultural, permitindo que todos tenham acesso a recursos que possibilitem uma vida mais independente e produtiva.

Nosso trabalho busca ir além do que a tecnologia pode oferecer, visamos melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência ao entregar soluções acessíveis e de baixo custo. Buscamos construir um futuro onde a acessibilidade será prioridade e todos serão tratados com a equidade já prevista em lei, conforme mencionado.



### 1.3 Objetivo Específico

Utilizando a plataforma versátil do Arduino, trabalhamos no desenvolvimento de uma prótese de membro superior de baixo custo (cerca de mil reais), destinada a pessoas que enfrentam a difícil realidade da ausência de um membro superior, seja por nascimento ou amputação. Essa prótese será integrada com um sistema de reconhecimento de voz, proporcionando uma experiência de uso mais intuitiva e eficiente para o usuário. Além de restaurar a funcionalidade perdida, essa tecnologia oferecerá independência e dignidade aos portadores, ao simplificar tarefas cotidianas e promover uma maior integração social.

O projeto não visa apenas oferecer uma solução técnica avançada, mas também busca promover uma inclusão mais ampla e acessível para aqueles com deficiências físicas. Ao utilizar o Arduino como base, teremos um custo reduzido na produção, tornando a prótese alcançável até mesmo para comunidades carentes.

### 1.4 Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho utilizaremos a pesquisa descritiva, tomando como base artigos científicos que abordam a temática estabelecida. De acordo com Gerhardt e Silveira, a pesquisa descritiva pode ser formada pela pesquisa documental e bibliográfica e pela pesquisa de campo. Ela objetiva a exploração das características específicas de um grupo de pessoas próximo. O objetivo principal da pesquisa descritiva é conhecer e analisar a realidade, de modo a não ocasionar modificações.

Foi preferível utilizar como principal abordagem a quantitativa, com base em dados coletados de órgãos regulatórios de saúde como a biblioteca virtual da saúde (BVS), revisões bibliográficas e análise de documentos. Com isto é possível adquirir uma base sólida e embasada que proporcionará um maior conhecimento a respeito das dores do público-alvo. No entanto, empregamos também a abordagem qualitativa como meio de compreender os sentimentos e percepções dos indivíduos portadores de deficiência nos membros superiores.

## 1.5 Organização do Texto

No capítulo 1, foi feita a introdução do trabalho, que inclui problematização, objetivo geral, objetivo específico e metodologia, esse capítulo é importante pois é uma representação do raciocínio usado pelo grupo no princípio do desenvolvimento da prótese, cada fator citado neste capítulo segue a ordem da 'linha do tempo' criado pelo grupo nas discussões de temas.

No capítulo 2, será apresentada uma revisão da literatura sobre as dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência física em membros motores, bem como as soluções e tecnologias assistivas disponíveis para melhorar sua qualidade de vida. Introduzindo o conceito de deficiência física, abordando suas causas e implicações sociais, econômicas e psicológicas. Além de analisar o impacto da deficiência motora no cotidiano, destacando as principais barreiras enfrentadas, como a acessibilidade inadequada e o preconceito. Também serão explorados os custos e dificuldades associados ao uso de próteses, além das alternativas disponíveis para facilitar a inclusão social dessas pessoas. O capítulo também apresentará as tecnologias e procedimentos que serão utilizados para criação do projeto da prótese que desenvolvemos.

O capítulo 3 visa demonstrar os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do projeto, detalhando os componentes eletrônicos, ferramentas e softwares empregados. Será abordada a escolha dos materiais com foco na viabilidade econômica e eficiência, destacando a importância da seleção criteriosa para a funcionalidade do projeto. O capítulo também explicará o uso de tecnologias como o Arduino, servomotores, e a forma em que a impressão 3D foi utilizada para a construção do braço mecânico além da aplicação do modelo cliente-servidor para a interação com o usuário via comandos de voz.

O capítulo 4 detalha os principais resultados do projeto da prótese de braço controlada por comandos de voz, divididos em três áreas: movimento da mão, conexão com o aplicativo e leitura de voz. A prótese utiliza servomotores controlados pelo Arduino para simular movimentos naturais dos dedos, ajustando força e ângulo conforme comandos do aplicativo. O aplicativo Android permite que o usuário controle a prótese via Bluetooth, facilitando o envio de comandos em tempo real. Já a leitura de voz, permite comandos práticos como "Abrir mão" ou "Fechar mão", que são

interpretados e executados pela prótese automaticamente. Esses três componentes formam a base do sistema, garantindo uma experiência de uso eficiente e prática.

O capítulo 5 conclui o trabalho, reforçando a compreensão das dificuldades diárias das pessoas com deficiência (PcD) e o objetivo de melhorar sua qualidade de vida. Além de apresentar os métodos utilizados para desenvolver a prótese de membros superiores controlada por comandos de voz, confeccionada em impressão 3D com material ABS, o que possibilitou um custo reduzido em comparação às próteses convencionais (modelos simples e sem a realização dos movimentos comandados por voz): enquanto estas variam entre R\$ 1.000 e R\$ 6.000, nossa prótese teve um custo aproximado de R\$ 700. Para o aplicativo de controle por voz, utilizamos Kotlin e Android Studio, criando uma aplicação que reconhece comandos verbais e os transforma em movimentos da prótese. O uso do Arduino foi essencial para o controle motor e a integração do módulo Bluetooth, viabilizando a comunicação entre prótese e aplicativo. Esperamos que o projeto contribua positivamente para a qualidade de vida das pessoas que necessitam utilizar uma prótese de membro superior.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

As pessoas com deficiência física em membros superiores enfrentam uma série de dificuldades que afetam significativamente sua qualidade de vida. Essas dificuldades não se limitam apenas à mobilidade reduzida, mas também envolvem barreiras sociais, econômicas e psicológicas. Neste trabalho, exploraremos estas dificuldades, quais alternativas e equipamentos adaptativos existem para contornar as barreiras do dia a dia, destacando os principais desafios enfrentados e as possíveis soluções para promover uma inclusão mais efetiva dessas pessoas na sociedade.

### 2.1 Introdução à Deficiência Física

A deficiência física é caracterizada por alterações completas ou parciais em um ou mais membros do corpo humano, causando comprometimento da função física. Isso pode incluir paraplegia, paralisia cerebral, amputações e uma série de outras condições que afetam a mobilidade ou a coordenação motora. (RABELO, 2021)

Existem diversos outros tipos de deficiência e até pessoas com deficiências muito raras que apenas uma pequena parcela da população mundial possui, porém, no presente trabalho iremos focar na deficiência física.

A inclusão de pessoas com deficiência física na sociedade é um direito fundamental e uma questão de grande importância. A escola é, sem sombra de dúvida, um ambiente de socialização, e permitir que pessoas com deficiência física compartilhem conhecimento não apenas por meio dos livros, mas também por meio do contato social com todos é extremamente importante. No entanto, a acessibilidade e o preconceito ainda é um grande desafio para muitas pessoas com deficiência física. A acessibilidade possibilita aos indivíduos portadores de deficiência ou mobilidade reduzida a participação efetiva nos ambientes, na qual através de uma estrutura arquitetônica projetada torna-se acessível a eles a utilização de equipamentos, transportes, meios de comunicação e informação. O preconceito se torna presente até mesmo nos dias atuais, se compararmos com o passado, houve evolução social em pensamentos e ações preconceituosas, no entanto, ainda se vê que temos muito a melhorar como sociedade. (RIBEIRO, 2010)

De acordo à *World Health Organization*, boa parte da população enfrentará algum tipo de deficiência temporária ou permanente ao longo de suas vidas, e aquelas

que desfrutarem do envelhecimento, apresentarão dificuldades cada vez maiores relacionadas com a perda da funcionalidade e autonomia.

Nesse sentido, o uso de Tecnologia Assistiva pode promover a funcionalidade relacionada à atividade e à participação de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (YOUSSEF, 2023)

A Lei Nº 13.146 de 06 de julho de 20153 (Lei Brasileira de Inclusão ou Estatuto da Pessoa com Deficiência) define pessoa com deficiência como:

[...] aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.

### 2.1.2 Principais causas

Os membros motores são fundamentais na base do domínio dos movimentos complexos, que combinam locomoção, manipulação, equilíbrio etc. O desenvolvimento motor é extremamente importante para que as pessoas se tornem capazes de controlar o próprio corpo, vivendo com autonomia. (PEDR'ANGELO, 2023)

A deficiência física em membros motores, pode ser causada por uma série de razões, sendo elas:

- Amputação traumática, ocorre quando um membro é perdido por resultado de um acidente ou lesão. Por exemplo, um membro pode ser amputado durante um acidente de carro.
- Amputação cirúrgica, quando se torna necessário remover cirurgicamente um membro para tratar uma doença ou condição médica. Por exemplo, remoção de um membro devido a câncer, infecção grave, trombose, etc.
- Doenças congênitas, algumas pessoas nascem sem um ou com mais membros devido a condições congênitas ou genéticas.

- Doenças degenerativas, condições degenerativas, como certos tipos de artrite, podem levar à necessidade de amputação.
- Autopunição ou autoagressão, geralmente associado a condições de saúde mental graves, algumas pessoas podem se automutilar a ponto de perder um membro

É importante notar que a perda de um membro é uma experiência significativa que pode ter um impacto profundo na vida de uma pessoa. Após a amputação, muitas pessoas experimentam o que é conhecido como "síndrome do membro fantasma", onde elas ainda sentem a presença do membro amputado. (SIQUEIRA, 2021)

A deficiência nos membros motores pode resultar de diversas condições, como vimos anteriormente. Essas condições afetam diretamente a capacidade de locomoção e a realização de atividades diárias básicas, como se alimentar, vestir-se e cuidar da higiene pessoal.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 15% da população mundial vive com alguma forma de deficiência, e uma parcela significativa dessas pessoas apresenta deficiências motoras. As barreiras físicas, como a falta de rampas, elevadores e banheiros acessíveis, são alguns dos principais obstáculos enfrentados por essas pessoas. Além disso, a acessibilidade nas ruas e nos transportes públicos ainda é insuficiente em muitas cidades, limitando a autonomia e a participação ativa dessas pessoas na comunidade.

Além das barreiras físicas, as pessoas com deficiência motora frequentemente enfrentam preconceito e discriminação. A sociedade muitas vezes tem uma visão limitada das capacidades dessas pessoas, o que resulta em estigmatização e marginalização. Essa percepção negativa pode levar à exclusão social e à falta de oportunidades em diversas áreas, como educação e emprego.

De acordo com um estudo de Silva e colaboradores (2020), as atitudes sociais em relação às pessoas com deficiência ainda são permeadas por estereótipos e preconceitos, o que impede a plena integração dessas pessoas na sociedade. Esses preconceitos podem se manifestar de diversas formas, desde a subestimação das capacidades profissionais até a ausência de suporte adequado em ambientes educacionais.

A deficiência motora também tem implicações econômicas significativas, tanto para os indivíduos quanto para suas famílias. Os custos associados ao tratamento

médico, à fisioterapia e à aquisição de equipamentos adaptativos podem ser extremamente elevados. Muitas vezes, as pessoas com deficiência enfrentam dificuldades para ingressar no mercado de trabalho, resultando em uma menor estabilidade financeira. (MENDES, 2014)

### 2.1.3 Custos, Manutenção e Dificuldades do uso de próteses

Os custos variam dependendo do tipo de prótese, do material usado, complexidade da prótese e das necessidades individuais do usuário. Após consulta de lojas especializadas, no ano de 2024, os valores de próteses variam desde R\$1.000 a mais barata até 6.000 a mais cara, com melhores materiais e maior gama de funcionalidades.

Atualmente é possível adquirir gratuitamente sua prótese no Brasil, pelo SUS (Sistema Único de Saúde). O Ministério da Saúde instituiu a rede de cuidados à saúde da pessoa com deficiência, estabelecendo diretrizes para o cuidado às pessoas com deficiência temporária ou permanente, progressiva, regressiva ou estável, intermitente ou contínua. Dentre as diretrizes estão também os recursos de tecnologia assistiva disponíveis para garantir igualdade de oportunidades à pessoa com deficiência, destacam-se:

As órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção (OPM) são dispositivos essenciais para auxiliar na mobilidade e funcionalidade de pessoas com deficiência. Na Figura 1, é ilustrada uma órtese para as pernas, destacando sua estrutura e principais componentes.

**Figura 1 - Órteses para membros inferiores**



Fonte: Ministério da Saúde

A Figura 2 apresenta uma órtese simples desenvolvida para o uso nas mãos, mostrando seus detalhes como formato, fecho e posição em que a mão se encaixa na órtese.

**Figura 2 - Órtese de posicionamento para punho-mãos-dedos**



Fonte: Ministério da Saúde



Já a Figura 3 exibe uma prótese de perna, utilizada em casos de amputação de membros inferiores.

**Figura 3 - Próteses endoesqueléticas em produção**



Fonte: Ministério da Saúde

Por fim, a Figura 4 ilustra uma prótese não funcional, com foco na estética para o braço e as mãos, evidenciando suas limitações.

**Figura 4 - Prótese estética não funcional**



Fonte: São José Ortopédicos.

De acordo com o Ministério da Saúde (2019), a efetividade desses dispositivos depende de um processo responsável e qualificado:

1. Avaliação;
2. Prescrição;
3. Confecção;
4. Dispensação;
5. Preparação;
6. Treino para o uso;
7. Acompanhamento;
8. Adequação;
9. Manutenção.

A manutenção regular de uma prótese é essencial para garantir sua funcionalidade e longevidade. Isso pode incluir o cuidado diário e ajustes periódicos. Caso quebre de alguma forma a prótese o ideal é a obtenção de uma nova, ou em alguns casos acionar o local onde foi adquirido a prótese para mais informações de manutenção ou troca.

As dificuldades relacionadas ao uso de próteses podem incluir o desconforto físico, a necessidade de adaptação à prótese, e desafios na realização de certas atividades. Além disso, algumas pessoas podem enfrentar desafios psicológicos, como a aceitação da perda do membro e a adaptação à nova imagem corporal. É importante ressaltar que cada pessoa é única e pode ter uma experiência diferente com sua prótese. Portanto, é essencial o contato com profissionais de saúde e reabilitação para garantir que a prótese atenda às necessidades individuais do usuário. (ROCHA e SOUZA, 2011)

#### 2.1.4 Alternativas

A pessoa com deficiência não depende apenas de seu esforço para ser bem inserida no meio social, mas também da adaptabilidade e acessibilidade dos serviços e locais. Um bom exemplo disso são as adaptações nos veículos, próteses, engenharia de locais pensando na circulação de cadeirantes entre outros. Entretanto, mesmo nos dias atuais, infelizmente ao deficiente físico de classe social menos abastada resta apenas recorrer aos próprios e escassos recursos para substituir o uso de um membro perdido, já que o acesso à próteses nem sempre é fácil e acessível. (BERNARDES e MAIOR, 2009)

Em um relatório do Banco Mundial (2019), destaca que as pessoas com deficiência são mais propensas a viver na pobreza devido às limitações no acesso ao emprego e à educação. A falta de políticas públicas eficazes para apoiar a inclusão dessas pessoas no mercado de trabalho agrava ainda mais essa situação. Programas de capacitação profissional e incentivos fiscais para empresas que contratam pessoas com deficiência são algumas das estratégias que podem ser implementadas para mitigar esses desafios.

As dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência motora também têm um impacto profundo na saúde mental e emocional. A sensação de isolamento, a baixa autoestima e os níveis elevados de estresse são comuns entre estas pessoas.

A falta de apoio social e a ausência de oportunidades para participar de atividades recreativas e culturais podem alavancar os problemas associados ao psicológico e emocional delas.

A inclusão social e a participação em atividades comunitárias têm um efeito positivo significativo na saúde mental das pessoas com deficiência. Grupos de apoio, terapia ocupacional e programas de esporte adaptado são exemplos de iniciativas que podem contribuir para a melhora do bem-estar emocional e psicológico dessas pessoas (HOLANDA, 2015).

Para enfrentar essas dificuldades, é essencial adotar uma abordagem multifacetada que envolva políticas públicas, educação e conscientização da sociedade. Como: investir na criação de ambientes acessíveis, incluir transporte público adaptado, rampas, elevadores e banheiros acessíveis. Promover campanhas de conscientização para combater o preconceito e educar a sociedade sobre as capacidades e os direitos das pessoas com deficiência. Incluir no mercado de trabalho, implementar políticas de incentivo à contratação de pessoas com deficiência, como, subsídios e isenções fiscais para empresas inclusivas. Apoio psicológico, oferecendo serviços de apoio psicológico e emocional, incluindo terapia ocupacional e grupos de apoio. E por fim, garantir que todas as instituições de ensino sejam acessíveis e que os alunos com deficiência tenham os recursos necessários para aprender de maneira eficaz. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2008)

## 2.2 Prótese

Muitas décadas atrás, o ser humano notou a necessidade de criar de maneira artificial membros do corpo perdidos de alguma forma. Os braços e mãos por serem de extrema importância para realização de tarefas diárias além de ter um grande peso quando relacionado à parte estética foram definitivamente algumas das primeiras partes do corpo a tentarem substituir de alguma maneira em casos de falta dos mesmos. Entre os séculos XV e XVI, diversos estudiosos fizeram avanços significativos na área de criação de próteses, dentre eles Ambroise Paré se destacou grandemente devido seus feitos e descobertas, dentre elas, o desenvolvimento de próteses de membros superiores e inferiores operantes. (GOLDBERG ,2014)

O primeiro protótipo de prótese com controle mioelétrico foi criado em 1945 por Reinhold Reiter, a prótese era fixa devido ao seu elevado peso e feita em madeira,

além da utilização de válvulas e energia elétrica para realizar a ação de abrir e fechar a mão, que por sinal não apresentava grande eficiência. (PUDULSKI, 1969)

O sistema adotava o princípio de amplificar o sinal mioelétrico do músculo ao ser contraído para que houvesse o movimento de abrir ou fechar a mão de madeira auxiliado por solenoides (basicamente uma bobina de fio que funciona de maneira parecida a um eletroímã, convertendo energia elétrica em mecânica). O controle da movimentação da prótese funcionava ao identificar os ritmos de contração de um único músculo, que ficou conhecido como “Controle de Três Estados”, que se tratava de um sistema controlado que identificava a duração da contração, sendo ela curta um sinal era gerado e enviado ao solenoide, que abria a prótese, e na ausência de qualquer sinal, a prótese era programada para se fechar sozinha.

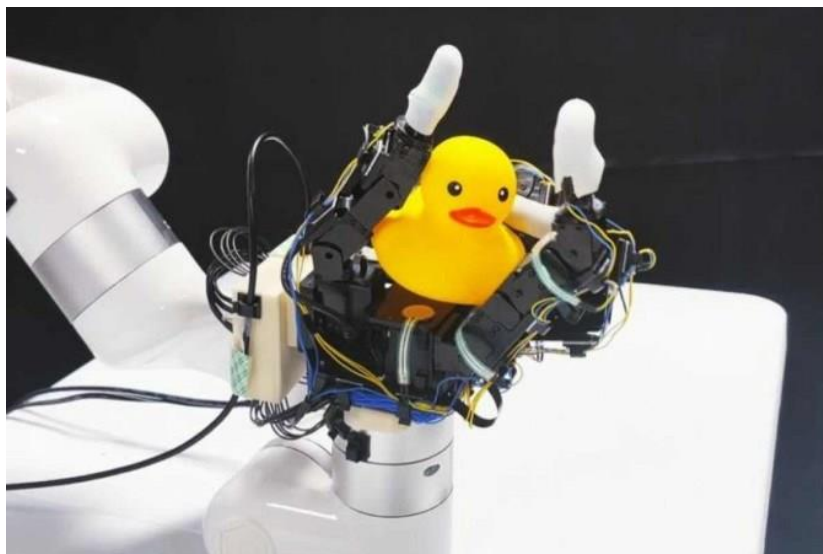
Com o avanço tecnológico, diversas mudanças foram realizadas em modelos de próteses, até chegar no modelo *Sensor* da *Otto Bock Sensor Hand*, criado em 2007, que foi um marco na indústria de próteses, se tratando de uma mão mioelétrica que possui um sensor SUVA, que segura objetos firmemente sem deixá-los cair, é robusta e simula movimentos uma mão, mas mesmo assim não consegue se igualar às atividades exercidas por uma mão humana, por exemplo o movimento de rosquear uma tampa de garrafa ou de se adaptar à forma de objetos.

A mão mioelétrica *Sensor*, logo foi substituída por seus fabricantes pela *High Speed*, que conseguia responder de maneira mais rápida devido ao melhor processamento do sinal mioelétrico, ser produzida de maneira mais reforçada e tendo componentes de alto desempenho, gerando a possibilidade não só de segurar objetos de maneira firme, mas também os transportar e até mesmo manuseá-los utilizando seus movimentos simples de mão inteira. (OTTOBOCK, 2007)

Atualmente novos modelos de próteses estão em desenvolvimento, como exemplo a mão robótica desenvolvida por engenheiros da Universidade da Califórnia (UC), chamada de *Allegro*, que consegue manipular objetos através do tato, com a utilização de 16 sensores táteis anexados em toda extensão da mão robótica, gerando assim a possibilidade de identificar, manusear e até mesmo girar objetos, abrindo assim novas possibilidades para a utilização da mão articulada até mesmo no escuro, de forma ágil e eficiente.

De acordo com a Figura 5, nota-se que o novo modelo de prótese consegue segurar algo delicado como um patinho de borracha delicadamente, tentando aproximar-se ao máximo dos movimentos realizados por uma mão humana.

**Figura 5 - Allegro manuseando um pato de borracha**



Fonte: Correio Braziliense

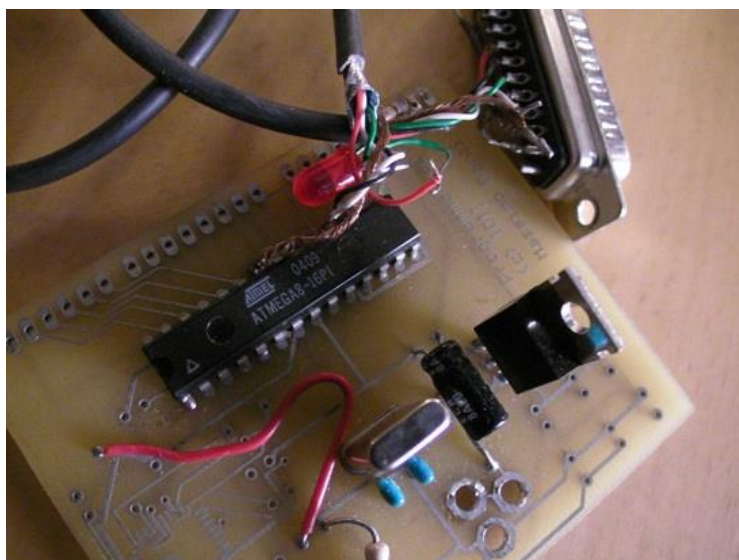
### 2.3 Arduino

Em 2005 na cidade de Ivrea localizada na Itália, o *Interaction Design Institute* deu vida ao processo de criação do Arduino. Desenvolvido em conjunto por Massimo Banzi e David Cuattielles com o intuito de ser um meio barato e de fácil manuseio pelos estudantes de Design trabalharem com tecnologia. Na época os materiais para criações tecnológicas existentes no mercado eram escassos e os existentes tinham o valor elevado, além de serem de difícil manuseio e possuírem diversas limitações. Tendo isso em mente, Banzi e Cuattielles decidiram desenvolver um microcontrolador que fosse acessível financeiramente, de fácil uso e que realmente conseguisse trazer bons resultados aos alunos. O projeto foi ganhando popularidade com o início das vendas, atraindo diferentes tipos de público interessado nas possibilidades oferecidas pelo microcontrolador, que foi recebendo novos upgrades para melhor atender aos usuários. Na imagem 6, é possível verificar qual era a aparência do primeiro Arduino criado por Banzi e Cuattielles (2005).

Atualmente, existem diversas versões do Arduino, todas seguindo a mesma base, mas com diferenças significativas para utilização em projetos específicos, tais como modelos com números de pinos e entradas/saída diferentes e memória flash variando de 8KB nas primeiras versões, até 256KB nas opções de topo de mercado. Essa diversidade e potencial gerou a possibilidade de criação de inúmeros projetos

ao redor do planeta, sendo eles básicos como sistema de controle de temperatura, robô seguidor de linha, reconhecimento de cores e afins, até projetos mais complexos, tais como sistemas de irrigação automática, automação residencial, termostatos inteligentes e até mesmo criação de próteses com potencial inteligente, como é o caso deste projeto. Além disso, o Arduino tem sido utilizado em diversas áreas, tais como desenvolvimento de produtos, em casos de empresas com foco em tecnologia que optam por criar protótipos funcionais de dispositivos com base em Arduino, facilitando assim o processo de iteração, criação e desenvolvimento de novos produtos. Prototipagem rápida, tendo em vista que engenheiros, inventores e técnicos criem projetos funcionais de baixo custo, reduzindo assim os gastos do projeto e o tempo de desenvolvimento. Até mesmo em áreas diversificadas da educação, onde o Arduino é usado para dar exemplos práticos de tecnologia e desenvolvimento, dando vida a ideias e projetos feitos para crianças e adolescentes (BANZI, 2014).

**Figura 6 - Primeiro Arduino**



Fonte: Embarcados

Pode-se dizer que o Arduino revolucionou o modo em que as pessoas interagem com componentes e criações eletrônicas, devido sua facilidade de uso, o custo baixo para comprá-lo e comunidade, que disponibiliza diversos projetos *open source* e auxiliam de forma online, que viabilizam a utilização, deixando cada vez mais fácil alcançar os objetivos desejados com o uso do Arduino.

## 2.4 Impressão 3D

A impressão 3D, tecnicamente denominada fabricação aditiva, é uma tecnologia inovadora que tem por objetivo criar objetos tridimensionais a partir da adição sucessiva de camadas de material. Este método possibilita a criação de uma vasta gama de objetos, instrumentos, peças complexas e personalizadas, que vão desde componentes simples de plástico até peças robustas e de alta complexidade, essenciais para setores como a medicina e a indústria aeroespacial. Diferente dos métodos de produção convencionais, que geralmente envolvem a subtração de material (como a usinagem ou moldagem), a impressão 3D adiciona material de forma controlada, camada por camada, gerando objetos a partir de um projeto digital.

A tecnologia de impressão 3D tem suas raízes na década de 1980, com o desenvolvimento inicial do processo de *stereolithography* (SLA). Em 1983, Charles Hull, engenheiro norte-americano, fundou a *3D Systems Corporation*, uma das primeiras empresas a comercializar impressoras 3D. A impressora criada por Hull baseava-se no processo de *stereolithography* (SLA), no qual um feixe de laser ultravioleta é utilizado para solidificar camadas de uma resina líquida fotossensível. Esse processo revolucionário permitiu que peças tridimensionais fossem construídas uma camada de cada vez, com alta precisão, a partir de um modelo digital projetado por computador. A SLA marcou o início da impressão 3D comercial, permitindo a produção de protótipos rápidos para várias indústrias. No entanto, à medida que a tecnologia amadurecia, novos processos e materiais começaram a surgir. Entre os principais avanços estão a Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e a Modelagem por Deposição Fundida (FDM). O processo de SLS, desenvolvido na década de 1990, utiliza um laser de alta potência para fundir partículas de material em pó, camada por camada, criando objetos a partir de plásticos, metais, cerâmicas, entre outros materiais. A SLS trouxe consigo a vantagem de possibilitar a criação de peças com maior resistência mecânica e complexidade geométrica (3DSOURCED, 2023)

De acordo à 3DSOURCED, que conta com dezenas de artigos publicados relacionados À impressão 3D, o processo de Modelagem por Deposição Fundida (FDM), inventado por Scott Crump no final dos anos 80 e popularizado ao longo das décadas seguintes, tornou-se um dos métodos mais acessíveis e amplamente utilizados atualmente. No FDM, um filamento de material termoplástico é derretido e depositado sobre uma plataforma, camada por camada, até que o objeto desejado



seja construído. Esse método, além de ser mais acessível, é amplamente utilizado em impressoras 3D de pequeno porte, sendo a escolha preferida para *hobbyistas*, *designers* e pequenas empresas.

Desde sua concepção, a impressão 3D passou por uma série de inovações que aprimoraram significativamente sua precisão, velocidade e gama de materiais disponíveis. Inicialmente restrita a prototipagem, a tecnologia expandiu suas aplicações para áreas como fabricação de peças finais, design de produtos personalizados e manufatura de pequenos lotes. As melhorias contínuas nas impressoras 3D permitiram o uso de materiais cada vez mais variados, como polímeros avançados, resinas fotossensíveis, metais, cerâmicas, compósitos e até mesmo biomateriais, ampliando suas possibilidades de aplicação. No setor aeroespacial, a impressão 3D é amplamente utilizada para produzir peças leves e robustas, que contribuem para a redução de peso em aeronaves e foguetes, aumentando sua eficiência de combustível. Empresas como a NASA e a Boeing têm utilizado essa tecnologia para fabricar componentes críticos, cujas geometrias complexas seriam difíceis ou impossíveis de se obter através de métodos convencionais. Na indústria médica, a impressão 3D tem se destacado na criação de próteses personalizadas, implantes e até mesmo réplicas anatômicas que auxiliam cirurgias em procedimentos complexos. Por meio da bioimpressão 3D, que utiliza células vivas como material de impressão, pesquisadores têm avançado em direção à criação de tecidos e órgãos funcionais, o que abre possibilidades para transplantes no futuro (EDWARDS, 2024).

Embora a impressão 3D tenha alcançado notáveis avanços, ainda existem desafios a serem superados. A velocidade de produção e os altos custos associados a algumas tecnologias, como a SLS e a impressão de metais, continuam a limitar sua adoção em larga escala para determinados setores. Além disso, a padronização e o controle de qualidade das peças impressas são questões cruciais, especialmente em indústrias reguladas, como a de dispositivos médicos e a aeroespacial. Por outro lado, as perspectivas futuras são promissoras. Com o desenvolvimento contínuo de novos materiais, o aperfeiçoamento das técnicas de impressão e a crescente adoção da manufatura aditiva por indústrias ao redor do mundo, a impressão 3D está pavimentando o caminho para uma revolução na fabricação industrial. Espera-se que o uso de inteligência artificial e automação no processo de design e fabricação aditiva

leve a novos níveis de eficiência e customização, permitindo a criação de peças totalmente otimizadas e funcionais (SCIENTIFIC RESEARCH PUBLISHING, 2017).

A estrutura de uma impressora 3D simples, pode ser verificada na figura 7, mostrando não só a composição da impressora, mas também onde é adicionado o material utilizado para realizar as impressões e o local onde o objeto impresso é formado pelas camadas de plástico.

**Figura 7 - Modelo de impressora 3D**



Fonte: Creality

## 2.7 Modelo Cliente-Servidor

O modelo cliente-servidor é uma arquitetura de rede amplamente utilizada que define a interação entre duas entidades principais: o cliente e o servidor. Neste modelo, o cliente é um programa que inicia solicitações de serviço ou recursos, enquanto o servidor é responsável por atender a essas solicitações e fornecer as respostas necessárias. A arquitetura é fundamental para a estrutura da internet e de muitos sistemas de comunicação, pois permite que múltiplos clientes acessem serviços centralizados simultaneamente, promovendo eficiência e escalabilidade. Essa divisão clara de funções entre cliente e servidor também facilita a manutenção e a segurança do sistema, pois o servidor pode gerenciar e monitorar todos os acessos e recursos disponíveis de forma centralizada (IBM, 2024).

No contexto de uma prótese controlada por um aplicativo, a prótese atuará como o servidor, enquanto o aplicativo instalado no smartphone desempenhará o papel do cliente. O aplicativo enviará solicitações à prótese através de comandos de voz interpretados pelo próprio aplicativo. Ao receber o comando de voz, o aplicativo processará a entrada e traduzirá em uma solicitação de ação que será enviada para a prótese. A prótese, como servidor, irá analisar essa solicitação e executará o movimento correspondente, respondendo ao comando do cliente. Este processo permite uma interação natural e intuitiva, onde o usuário pode controlar a prótese em tempo real através da fala.

## 2.8 Proposta e Concepção do Projeto

Com o intuito de construir uma prótese de membro superior capaz de auxiliar pessoas com deficiência em mão ou braço a realizarem suas tarefas diárias, o projeto foi montado utilizando um pouco de conhecimento sobre próteses e tecnologias de fácil acesso no mercado, visando criar um braço mecânico de baixo custo, que seja eficiente além de ser de fácil uso e manutenção.

Utilizando os tópicos acima, o projeto foi idealizado, já sabendo dos objetivos a serem alcançados por projetos mencionados anteriormente e idealizando maior acessibilidade e produtividade aos que necessitam utilizar uma prótese, mas não possuem condições monetárias para adquirir uma que seja considerada “topo de linha”.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O intuito deste capítulo é apresentar de forma detalhada os materiais e ferramentas que serão utilizados ao longo do desenvolvimento do projeto, abrangendo desde componentes eletrônicos e físicos até o design e softwares que se mostram essenciais para alcançar o objetivo final. Cada um desses elementos desempenha um papel fundamental na construção do braço mecânico, e a escolha cuidadosa deles é crucial para garantir a eficiência e a funcionalidade do projeto.

Para garantir que o projeto se mantenha dentro de um orçamento acessível, foi prioridade manter o baixo custo de produção, sem comprometer a qualidade dos materiais escolhidos. Para isso, os materiais passaram por uma série de testes

rigorosos que avaliaram sua durabilidade, funcionalidade e adequação às necessidades específicas do projeto. Esse processo de seleção foi fundamental para assegurar que os componentes não apenas atendam às exigências técnicas, mas também ofereçam facilidade de manuseio e manutenção, fatores que são essenciais em um projeto prático e funcional.

Além disso, a integração de ferramentas de design e softwares apropriados complementa a escolha dos materiais, permitindo uma melhor visualização e planejamento das etapas do projeto. A utilização dessas ferramentas facilita o desenvolvimento e a prototipagem, contribuindo para que o resultado final seja um produto que não apenas atenda às expectativas, mas que também seja acessível e prático para o usuário. Dessa forma, a combinação de materiais testados e ferramentas eficientes cria uma base sólida para o sucesso do projeto do braço mecânico.

### 3.1 Arduino Mega 2560

O Arduino é uma plataforma de hardware e software de código aberto que se destaca por sua versatilidade e facilidade de uso, sendo amplamente adotada para o desenvolvimento de projetos de eletroeletrônica. Sua origem remonta ao projeto da plataforma Wiring, que foi inicialmente apresentada na tese de mestrado de Hernando Barragán pelo Instituto de Design Interativo do IVREA, na Itália. Desde então, o Arduino evoluiu para se tornar uma ferramenta essencial para iniciantes e profissionais devido à sua interface amigável e a grande comunidade que compartilha projetos, recursos e experiências, facilitando a aprendizagem e a implementação de novas ideias em diversos tipos de projetos. (BARRAGÁN, 2019).

Os projetos com placas Arduino utilizam uma ampla variedade de microprocessadores e controladores, o que as torna extremamente versáteis. Essas placas são equipadas com conjuntos de pinos digitais e analógicos de entrada e saída (I/O), permitindo a interligação com diferentes placas de expansão e *breadboards*, facilitando a prototipação de circuitos. Além disso, algumas versões oferecem interfaces de comunicação serial, incluindo USB, que são utilizadas tanto para a conexão com computadores pessoais quanto para o carregamento de programas. Embora as placas Arduino não possuam recursos nativos para uso em redes locais, é comum expandir suas funcionalidades por meio de acessórios conhecidos como

*shields*, que podem ser acoplados facilmente. Os microcontroladores das placas são geralmente programados utilizando um subconjunto da linguagem de programação C++, proporcionando uma experiência de desenvolvimento acessível. Para auxiliar nesse processo, o projeto Arduino disponibiliza um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que simplifica a codificação e o upload de programas. Essa combinação de recursos faz do Arduino uma escolha popular para uma variedade de projetos eletrônicos e de automação (ARDUINO, 2024).

O Arduino Mega 2560 é uma das versões mais robustas e com maior capacidade dentre as demais versões do Arduino, construída para facilitar o desenvolvimento de projetos e protótipos de eletroeletrônica, assim como todos da família Arduino ele possui como pontos positivos a sua facilidade de aprendizagem e uma enorme comunidade com diversos projetos desenvolvidos e compartilhados entre ela. O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560. Ele tem 54 pinos de entrada/saída digitais (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um cabeçalho ICSP e um botão de reset (ARDUINO, 2024).

Com base nestas informações o Arduino mega foi escolhido para integrar o projeto da mão mecânica, pois será demandado uma grande quantidade de pinos para realizar e controlar os movimentos necessários.

### 3.2 Servomotor

O Servomotor é um dispositivo criado para a necessidade de conhecer e controlar o ângulo que o motor se encontra. Ele possui um potenciômetro no seu eixo que indica no valor da resistência a sua posição. Assim como o Arduino, eles foram criados para facilitar o trabalho do desenvolvedor, para que não seja necessário ter um conhecimento elevado da eletroeletrônica como integrar motores DC com potenciômetros para conseguir realizar o mesmo trabalho. O Servomotor é amplamente usado em diversas áreas como aerodelismo, náutica, entre outros. No projeto optamos por utilizar servo motores pela facilidade de desenvolvimento, sendo usados para controlar os movimentos dos dedos e do braço. Com ele, é possível realizar movimentos controlados, possibilitando um ajuste fino e preciso do movimento dos dedos (FEUP, 2012).

### 3.3 Módulo Bluetooth HC-06

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação entre dispositivos de curto alcance. A Ericsson iniciou o desenvolvimento dessa tecnologia em 1994, pesquisando uma forma mais barata de comunicação sem fio entre o celular e seus acessórios. Após o início das pesquisas ficou claro o potencial desse modelo de conexão. Em 1998, seis grandes empresas: Sony, Nokia, Intel, Toshiba, IBM e Ericsson, realizaram um consórcio para conduzir e aprofundar o estudo dessa forma de conexão, formando o chamado Bluetooth *Special Interest Group*. A tecnologia Bluetooth é bastante vantajosa, permitindo a comunicação entre diversos aparelhos sem a necessidade de fios, além de ser uma tecnologia barata. Por esses motivos o Bluetooth alcançou bastante popularidade, se tornando um dos principais métodos de conexão entre dispositivos da atualidade. Apesar de sua popularidade o Bluetooth tem como desvantagem o seu curto alcance e um número máximo de dispositivos conectados ao mesmo tempo (DANTAS, 2024).

Em suas versões mais simples, as placas Arduino não contam com uma conexão Bluetooth nativa. Porém, é possível a aquisição de módulos capazes de estabelecer a conexão e a troca de mensagens entre a sua placa Arduino e um outro dispositivo com interface Bluetooth. Um módulo com este propósito é o HC-06, este módulo será utilizado para a comunicação entre prótese e aplicativo. Este circuito é capaz de abstrair toda a parte da comunicação sem fio necessária para a comunicação Bluetooth, fornecendo uma interface serial para que o microcontrolador possa enviar ou receber dados. O módulo Bluetooth HC-06 foi projetado para estabelecer uma comunicação de dados sem fio de curto alcance (<100 metros). É muito fácil de fazer a interface e a comunicação. Pode ser interligado com quase todos os microcontroladores ou processadores, pois usa a interface UART. Este módulo tem a capacidade de transmitir arquivos em velocidade de até 2,1 Mbps e funciona no protocolo de comunicação Bluetooth 2.0. Ao contrário do módulo Bluetooth HC-05, este módulo pode atuar apenas como um dispositivo escravo (ARDUINO, 2024).

### 3.4 Fio de Nylon

O fio de nylon, também conhecido como poliamida, foi o primeiro polímero totalmente sintético a ser comercializado em larga escala. Sua produção teve início na década de 1930 pela empresa química DuPont, localizada nos Estados Unidos. O desenvolvimento do nylon foi impulsionado pela escassez da seda natural durante a Segunda Guerra Mundial, um recurso que na época era essencial para a fabricação de tecidos, roupas, componentes industriais e uma série de outros produtos que tinham alta demanda. Com a guerra restringindo o acesso à seda, o nylon surgiu como uma solução alternativa para suprir as necessidades do mercado, tornando-se uma matéria-prima crucial durante esse período.

Uma das principais razões para o rápido crescimento das vendas do nylon foi sua versatilidade e conjunto de propriedades físicas vantajosas. O nylon se destacou por sua excelente elasticidade, alta resistência mecânica e baixa absorção de umidade. Essas características tornaram o material ideal para uma ampla gama de aplicações, desde a indústria têxtil – com a fabricação de meias, roupas e tecidos – até o uso em componentes automotivos, industriais e até mesmo na confecção de produtos esportivos. O nylon se consolidou como um dos polímeros mais importantes e inovadores da era moderna devido a essas características (FANTONI, 2010).

No projeto desenvolvido para a construção do braço mecânico, os fios de nylon serão utilizados para conectar os motores às extremidades dos "dedos" do braço, possibilitando o movimento de abrir e fechar a mão. A escolha do nylon garante que o mecanismo funcione com precisão, pois o material oferece a combinação ideal de resistência e flexibilidade, características essenciais para replicar movimentos que são naturais ao ser humano.

### 3.5 Impressora 3D

A impressora 3D terá papel fundamental na construção do braço mecânico. Devido sua capacidade de criar objetos com o tamanho e formato desejado, será feita a fabricação de alguns moldes, que quando juntos, apresentarão o formato de um braço humano, gerando um design mais agradável aos olhos e a possibilidade de inserirmos os motores e componentes internos na parte interior do membro de plástico (AGUIAR, 2014).

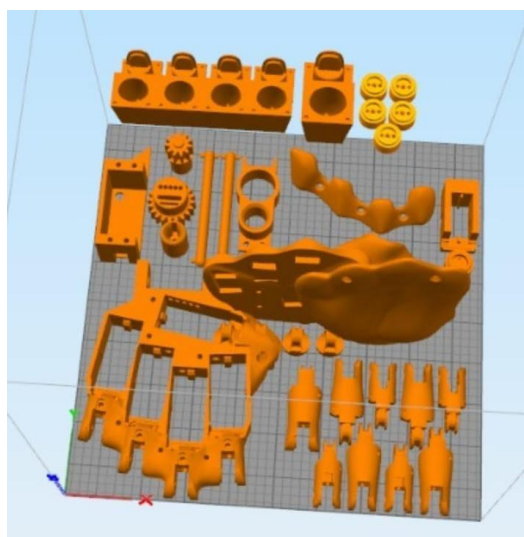
A precisão e praticidade da impressora 3D é um dos motivos que fizeram escolher essa ferramenta para desenvolvimento das partes da mão, com o software

Blender, é possível modelar e ajustar as dimensões das peças de maneira que o encaixe seja preciso. Além da variedade de materiais termoplásticos, a impressora 3D possui diferentes tipos de preenchimentos e complexidades geométricas, permitindo uma boa precisão com um custo relativamente baixo (RBCTI, 2018).

Todas essas características citadas garantem que o processo seja feito de maneira personalizada e adequada para cada tipo de projeto, levando em consideração a resistência, aparência, peso, flexibilidade e precisão.

Os moldes foram desenvolvidos tendo em base uma mão real, divididos inicialmente em 9 partes que quando montados juntos, formam o design de uma mão, com dedos articulados e espaços para adicionar os motores que serão utilizados para realizar os movimentos necessários para auxiliar o usuário.

**Figura 8 - Moldes desenvolvidos para impressão**



Fonte: Autoral

Após a impressão ser realizada, foi dado início ao processo de montagem da mão, juntando as peças modeladas pelos encaixes pré-definidos, gerando assim uma mão artificial articulada.



**Figura 9 - Início da montagem da mão**



Fonte: Autoral

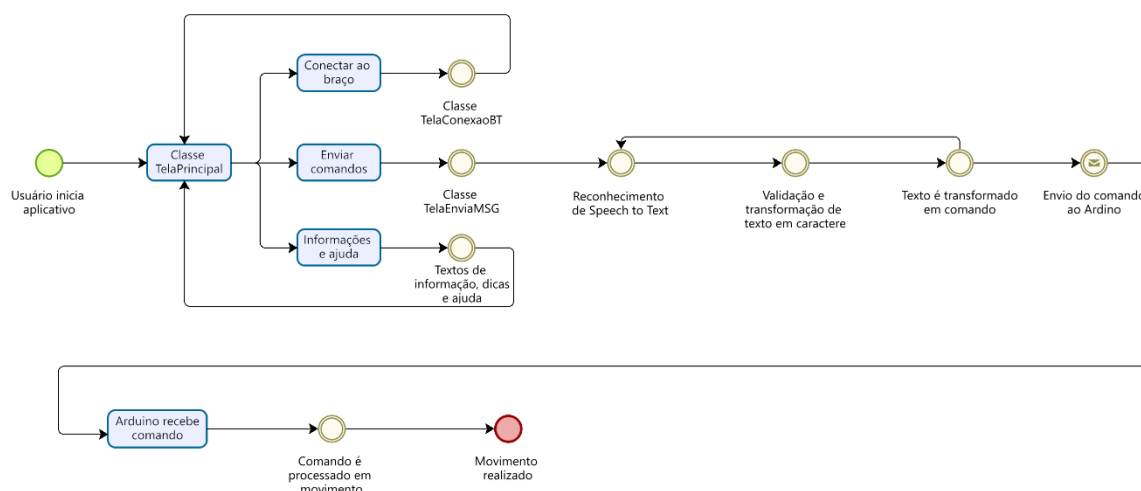
### 3.6 Linguagens de Programação: Java e Kotlin

A linguagem Java foi desenvolvida em 1995 pela empresa Sun Microsystems, enquanto o Kotlin surgiu em 2010, criado pela JetBrains com o objetivo de ser uma linguagem moderna, concisa e segura. Apesar das diferenças no tempo de criação, Kotlin foi projetada para ser totalmente compatível com a plataforma Java. Sendo uma linguagem orientada a objetos e compatível com a Máquina Virtual Java (JVM), o código escrito em Kotlin pode ser executado em qualquer ambiente que suporte Java, incluindo sistemas Android, desktops e servidores back-end. Essa compatibilidade permite que o Kotlin utilize bibliotecas Java sem a necessidade de reescrever código, o que torna o desenvolvimento mais eficiente e prático (ALURA, 2024).

No contexto do desenvolvimento do aplicativo para a comunicação com a prótese, decidiu-se utilizar Kotlin como a linguagem principal. O uso do Android Studio possibilitou a criação de um aplicativo que permite ao usuário se comunicar com a prótese por meio de comandos de voz. O aplicativo é capaz de interpretar comandos como abrir e fechar a mão da prótese, além de incluir a funcionalidade de encerrar o

aplicativo, tudo operado por voz. Essa abordagem oferece uma experiência de uso simples e direta, onde o usuário tem controle total da prótese sem a necessidade de interações manuais com o aplicativo.

**Figura 10 - Diagrama de atividades**



Fonte: Autoral

O diagrama acima ilustra todo o processo envolvido na utilização da prótese pelo usuário. Ele começa com a conexão Bluetooth entre o aplicativo e a prótese, seguida pelo processamento do comando de voz. A voz do usuário é reconhecida e convertida em texto, que posteriormente é transformado em um comando. Esse comando é enviado ao Arduino, responsável por processá-lo, para que, por fim, a prótese realize o movimento solicitado pelo usuário.

### 3.6.1 COMANDOS CONSOLIDADO DO APLICATIVO

**Quadro 1 - Comandos para transição de tela**

Comando	Resultado
Conectar braço	Tela Bluetooth
Enviar comandos	Tela de voz
Ajuda	Tela informação
Home	Tela inicial

Fonte: Autoral

**Quadro 2 - Comandos default (Apenas da tela envia mensagens)**

Comando	Resultado
Olá	Inicia o reconhecimento de voz
Sair	Finaliza o reconhecimento de voz

Fonte: Autoral

**Quadro 3 - Comandos para comunicação com o braço**

Comando	Resultado
Fechar mão	A prótese faz o movimento de fechar
Abrir mão	A prótese faz o movimento de abrir
Abrir polegar	A prótese faz o movimento de abrir o polegar
Abrir indicador	A prótese faz o movimento de abrir o indicador
Abrir médio	A prótese faz o movimento de abrir o dedo médio
Abrir anelar	A prótese faz o movimento de abrir o dedo anelar
Abrir mindinho	A prótese faz o movimento de abrir o dedo mindinho
Fechar polegar	A prótese faz o movimento de fechar o polegar
Fechar indicador	A prótese faz o movimento de fechar o indicador
Fechar médio	A prótese faz o movimento de fechar o dedo médio
Fechar anelar	A prótese faz o movimento de fechar o dedo anelar
Fechar mindinho	A prótese faz o movimento de fechar o dedo mindinho
Abrir pinça	A prótese faz o movimento de abrir em formato de pinça
Fechar pinça	A prótese faz o movimento de fechar em formato de pinça

Fonte: Autoral

### 3.6.2 Código desenvolvido para o aplicativo

Para o desenvolvimento do projeto, foi criado um aplicativo com o intuito de facilitar o uso da prótese de membro superior, gerando a possibilidade de identificar comandos de voz e realizar os movimentos ditos pelo usuário, que foram configurados previamente, não garantindo só assim o sucesso da utilização do braço robótico, mas também facilitando o uso por parte do usuário. O código completo está disponível no

link <https://github.com/ViniiDev/BracoKotlin>. Abaixo, é possível identificar as principais funções executadas:

A função *onCreate* é executada ao iniciar a *MainActivity*. Inicializa componentes da interface gráfica, como o botão de conexão e a lista de dispositivos Bluetooth pareados. Também verifica se o dispositivo suporta Bluetooth e define uma ação para o botão de conectar, chamando *checkBluetoothPermissionsAndConnect* ao ser pressionado. Este é o ponto de partida do aplicativo, onde se configuram a interface e o fluxo inicial.

```

super.onCreate(savedInstanceState)
setContentView(R.layout.activity_main)
// Inicializando os componentes do layout
conecta_btn = findViewById(R.id.btnConnect)
lista_dispositivos = findViewById(R.id.lvDevices)
bt_Adapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter()
// Verificação se o dispositivo suporta Bluetooth
if (bt_Adapter == null) {
    Toast.makeText(this, "Bluetooth não suportado",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    return
}
// Listener para o botão de conectar
override fun
onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
    conecta_btn.setOnClickListener {
        checkBluetoothPermissionsAndConnect()
    }
}

```

Em seguida, é chamada a função que verifica se o aplicativo possui as permissões necessárias para conectar e escanear dispositivos Bluetooth. Caso as permissões estejam ausentes, as solicita ao usuário. Se o Bluetooth estiver desativado, pede para ativá-lo. Caso já esteja ativo, chama *mostrarDispPareados* para listar os dispositivos. Esta função assegura que o aplicativo tenha as permissões e configurações adequadas antes de tentar conectar.

```

if (ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.BLUETOOTH_CONNECT) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED ||
    ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.BLUETOOTH_SCAN) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
    ActivityCompat.requestPermissions(

```

```

        this,
        arrayOf(Manifest.permission.BLUETOOTH_CONNECT,
Manifest.permission.BLUETOOTH_SCAN),
        REQUEST_BLUETOOTH_PERMISSION
    )
} else {
    if (!bt_Adapter.isEnabled) {
        val enableBtIntent =
Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE)
        startActivityForResult(enaprivate fun
checkBluetoothPermissionsAndConnect() {bleBtIntent, REQUEST_ENABLE_BT)
    } else {
        mostrarDispPareados()
    }
}
}
}
}

```

Após, o sistema processa a resposta do usuário à solicitação de permissões Bluetooth. Se a permissão é concedida, tenta estabelecer a conexão chamando *checkBluetoothPermissionsAndConnect* novamente. Caso contrário, exibe uma mensagem de erro. Esta função é essencial para gerenciar o fluxo de permissão do Bluetooth.

```

    override fun onRequestPermissionsResult(requestCode: Int, permissions:
Array<out String>, grantResults: IntArray) {
        super.onRequestPermissionsResult(requestCode, permissions,
grantResults)
        if (requestCode == REQUEST_BLUETOOTH_PERMISSION) {
            if (grantResults.isNotEmpty() && grantResults[0] ==
PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
                checkBluetoothPermissionsAndConnect()
            } else {
                Toast.makeText(this, "Permissão do Bluetooth negada",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
            }
        }
    }

```

O método *onActivityResult* lida com o resultado da solicitação para ativação do Bluetooth. Se o usuário ativar o Bluetooth, exibe uma mensagem de confirmação e chama *mostrarDispPareados*. Caso contrário, informa que o Bluetooth não foi ativado. A função garante que o fluxo continue apenas se o Bluetooth estiver ativado.

```

    override fun onActivityResult(requestCode: Int, resultCode: Int, data:
Intent?) {

```

```

super.onActivityResult(requestCode, resultCode, data)
if (requestCode == REQUEST_ENABLE_BT && resultCode == RESULT_OK) {
    Toast.makeText(this, "Bluetooth ativado",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    mostrarDispPareados()
} else {
    Toast.makeText(this, "Bluetooth não ativado",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
}
}
}

```

O método *mostrarDispPareados* lista os dispositivos Bluetooth pareados armazenados no dispositivo. Exibe o nome e endereço de cada dispositivo e permite ao usuário clicar em um item para iniciar a conexão com ele, chamando *conecta\_HC06* com o endereço MAC do dispositivo selecionado. Esta função é crucial para permitir que o usuário escolha o dispositivo (prótese) com o qual deseja conectar.

```

private fun mostrarDispPareados() {
    if (ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.BLUETOOTH_CONNECT) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED ||
ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.BLUETOOTH_SCAN) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
        ActivityCompat.requestPermissions(
            this,
            arrayOf(Manifest.permission.BLUETOOTH_CONNECT,
Manifest.permission.BLUETOOTH_SCAN),
            REQUEST_BLUETOOTH_PERMISSION
        )
        return
    }
    val dispPareados: Set<BluetoothDevice>? = bt_Adapter.bondedDevices
    val listaDisp = ArrayList<String>()
    if (dispPareados != null && dispPareados.isNotEmpty()) {
        for (dispositivo in dispPareados) {
            listaDisp.add("${dispositivo.name}\n${dispositivo.address}")
        }
    } else {
        Toast.makeText(this, "Nenhum dispositivo pareado encontrado",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    }
    dispPareados_Adapter = ArrayAdapter(this,
android.R.layout.simple_list_item_1, listaDisp)
    lista_dispositivos.adapter = dispPareados_Adapter
    lista_dispositivos.setOnItemClickListener { _, _, position, _ ->
        val dispInfo = listaDisp[position]

```

```

        val enderecoMAC = dispInfo.substring(dispInfo.length - 17)
        conecta_HC06(enderecoMAC)
    }
}

```

Em seguida, recebe um endereço MAC e estabelece uma conexão *Bluetooth* com o dispositivo correspondente. Se a conexão é bem-sucedida, configura um canal de comunicação (*OutputStream*) e armazena as referências do *socket* e *stream* para uso futuro. Em seguida, abre a tela de envio de mensagens (*TelaEnviaMSG*). Este método é fundamental para a comunicação com o Arduino, permitindo o envio de comandos para a prótese.

Para que o sistema consiga apresentar os comandos solicitados, além de reconhecer a voz do usuário e controlar os comandos via Bluetooth, foi implementado a classe *TelaEnviaMSG*.

A função *onCreate* configura a interface inicial da atividade e exibe uma mensagem para guiar o usuário a iniciar o comando de voz com "Olá". Também verifica as permissões de áudio e configura o *SpeechRecognizer*, que é o componente responsável por processar os comandos de voz. Esta função conecta o aplicativo ao Bluetooth via *ConexaoBt*, iniciando o processo de comunicação com a prótese.

```

override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
    super.onCreate(savedInstanceState)
    setContentView(R.layout.tela_envia_msg)
    Toast.makeText(this@TelaEnviaMSG, "Diga 'Olá' para iniciar",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    campo_mensagem = findViewById(R.id.tvText)
    // Checar permissões de gravação de áudio
    checkAudioPermission()
    // Inicializa o SpeechRecognizer
    speechRecognizer = SpeechRecognizer.createSpeechRecognizer(this)
    speechRecognizer.setRecognitionListener(object : RecognitionListener {
        override fun onReadyForSpeech(params: Bundle?) {}
        override fun onBeginningOfSpeech() {}
        override fun onRmsChanged(rmsdB: Float) {}
        override fun onBufferReceived(buffer: ByteArray?) {}
        override fun onEndOfSpeech() {}
        override fun onError(error: Int) {
            if (isListening) startListening()
        }
    })
}

```

Logo após, é chamada a função *checkAudioPermission*, que verifica se o aplicativo tem permissão para gravar áudio, essencial para ativar o reconhecimento de voz. Caso a permissão esteja ausente, solicita-a ao usuário. Esta função é fundamental para garantir que o reconhecimento de voz funcione corretamente sem erros de permissão.

```
private fun checkAudioPermission() {
    if (ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.RECORD_AUDIO)
        != PackageManager.PERMISSION_GRANTED
    ) {
        ActivityCompat.requestPermissions(
            this, arrayOf(Manifest.permission.RECORD_AUDIO),
            1
        )
    }
}
```

Dando segmento ao *startListening*, que inicia o reconhecimento de voz. Esse método configura o reconhecimento contínuo de comandos, permitindo ao usuário dar instruções ao dispositivo sem interrupções. É uma função central para a experiência de comando de voz, assegurando que o aplicativo esteja sempre pronto para escutar.

```
private fun startListening() {
    val intent = Intent(RecognizerIntent.ACTION_RECOGNIZE_SPEECH).apply {
        putExtra(RecognizerIntent.EXTRA_LANGUAGE_MODEL,
RecognizerIntent.LANGUAGE_MODEL_FREE_FORM)
        putExtra(RecognizerIntent.EXTRA_LANGUAGE, "pt-BR")
        putExtra(RecognizerIntent.EXTRA_PARTIAL_RESULTS, true)
    }
    speechRecognizer.startListening(intent)
```

O *startFullRecognition* reconfigura o *SpeechRecognizer* para iniciar uma nova sessão de reconhecimento de voz em modo completo. Caso ocorra algum erro ao ativar a escuta, exibe uma mensagem de falha. Essa função permite redefinir o reconhecimento de voz, particularmente útil após comandos específicos ou pausa na escuta.

```
private fun startFullRecognition() {
    val intent = Intent(RecognizerIntent.ACTION_RECOGNIZE_SPEECH).apply {
```



```

        putExtra(RecognizerIntent.EXTRA_LANGUAGE_MODEL,
RecognizerIntent.LANGUAGE_MODEL_FREE_FORM)
        putExtra(RecognizerIntent.EXTRA_LANGUAGE, "pt-BR")
    }
    try {
        speechRecognizer.startListening(intent)
    } catch (e: Exception) {
        Toast.makeText(applicationContext, "Erro ao iniciar reconhecimento
completo", Toast.LENGTH_SHORT).show()
        e.printStackTrace()
    }
}
}

```

A função *onResults* processa os resultados de cada sessão de reconhecimento de voz. Primeiro, verifica se a palavra-chave "Olá" foi detectada para iniciar comandos específicos. Em seguida, mapeia as ações de voz para valores na variável *ultimaAcao*, que são interpretados como comandos de controle da prótese (como "Fechar mão" ou "Abrir polegar"). Além disso, permite navegar para diferentes telas do aplicativo ou encerrar o reconhecimento conforme o comando falado.

```

    override fun onResults(results: Bundle?) {
        val matches =
results?.getStringArrayList(SpeechRecognizer.RESULTS_RECOGNITION)
        val spokenText = matches?.get(0) ?: ""
        // Atualizar 'ultimaAcao' e enviar via Bluetooth
        when {
            !isKeywordRecognized -> {
                // Se ainda não reconheceu "Olá", verifica se foi dito
                if (spokenText.equals("Olá", ignoreCase = true)) {
                    isKeywordRecognized = true
                    campo_mensagem.visibility = View.VISIBLE // Exibe
o campo de mensagem
                    Toast.makeText(this@TelaEnviaMSG, "Reconhecimento
de voz iniciado!", Toast.LENGTH_SHORT).show()
                    startFullRecognition() // Inicia o
reconhecimento total
                } else {
                    // Continua escutando até que "Olá" seja dito
                    startFullRecognition()
                }
            }
        }
        else -> {
            campo_mensagem.text = spokenText
            startFullRecognition() // Continua ouvindo os
próximos comandos
        }
    }
}

```

```
    }
}
```

Envio de comandos descritos de forma resumida:

```
when (spokenText.toLowerCase()) {
    "fechar mão" -> ultimaAcao = "A"
    "abrir mão" -> ultimaAcao = "B"
    "abrir polegar" -> ultimaAcao = "C"
    "abrir indicador" -> ultimaAcao = "D"
    "abrir medio" -> ultimaAcao = "E"
    "abrir anelar" -> ultimaAcao = "F"
    "abrir mindinho" -> ultimaAcao = "G"
    "fechar polegar" -> ultimaAcao = "H"
    "fechar indicador" -> ultimaAcao = "I"
    "fechar medio" -> ultimaAcao = "J"
    "fechar anelar" -> ultimaAcao = "K"
    "fechar mindinho" -> ultimaAcao = "L"
    "abrir pinça" -> ultimaAcao = "M"
    "fechar pinça" -> ultimaAcao = "N"
    "conectar braço" -> startActivity(Intent(this@TelaEnviaMSG,
TelaConexaoBT::class.java))
    "ajuda" -> startActivity(Intent(this@TelaEnviaMSG,
TelaInfo::class.java))
    "home" -> startActivity(Intent(this@TelaEnviaMSG,
TelaPrincipal::class.java))
    "sair" -> {
        islistening = false
        Toast.makeText(this@TelaEnviaMSG, "Reconhecimento de voz
encerrado", Toast.LENGTH_SHORT).show()
        speechRecognizer.stopListening()
    }
    else -> {
        if (islistening) startListening()
    }
}
```

Em seguida, o sistema envia comandos Bluetooth para o dispositivo conectado, transformando o texto do comando em bytes e transmitindo-o via *OutputStream*. Exibe uma confirmação de envio ou uma mensagem de erro caso a conexão não esteja ativa. Esta função é a responsável por estabelecer a comunicação direta com a prótese e executar os comandos físicos nela.

```
private fun enviaMsg(msg: String) {
    // Verificar se o socket e o OutputStream estão disponíveis
    if (socket != null && outputStream != null) {
        try {
```

```

        outputStream?.write(msg.toByteArray()) // Enviar a mensagem
via Bluetooth
        Toast.makeText(this, "Mensagem enviada: $msg",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    } catch (e: IOException) {
        e.printStackTrace()
        Toast.makeText(this, "Falha ao enviar mensagem",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    }
} else {
    Toast.makeText(this, "Não conectado ao dispositivo Bluetooth",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
}
}
}

```

E por fim, é acionado o `onDestroy`, que libera os recursos do *SpeechRecognizer* ao encerrar a atividade, evitando consumo desnecessário de recursos e garantindo que o componente seja encerrado corretamente.

```

override fun onDestroy() {
    super.onDestroy()
    // Libera o SpeechRecognizer quando a atividade for destruída
    speechRecognizer.destroy()
}
}

```

Para que o aplicativo acima funcione de maneira eficaz e em sincronia com a prótese, foi desenvolvido um código em C especificamente para a plataforma Arduino, que visa possibilitar o movimento de abertura e fechamento dos dedos da prótese de maneira independente ou em conjunto, utilizando os servos motores para simular os movimentos dos dedos de uma mão humana. A proposta é permitir que os comandos enviados pelo aplicativo sejam recebidos pelo Arduino, o qual irá processá-los e transformar os dados recebidos em ações.

O código implementa a leitura dos comandos de forma eficiente, verificando a comunicação do dispositivo móvel com o Arduino, além de garantir a execução dos movimentos somente quando necessário, evitando movimentos desnecessários ou repetidos.

Cada dedo da prótese é controlado por um servo motor, e o código utiliza a biblioteca *Servo.h* para controlar esses motores. A comunicação entre o Arduino e o dispositivo móvel ocorre por meio de uma conexão serial, utilizando a biblioteca

*SoftwareSerial.h* para a criação de uma conexão via Bluetooth. O código define um conjunto de comandos, como "A" para fechar a mão, "B" para abrir a mão, e comandos individuais para cada dedo. O Arduino processa esses comandos e aciona os servos conforme a necessidade, ajustando o estado de cada dedo da prótese de acordo com as instruções recebidas. O código completo está disponível no link:

[https://github.com/ViniiDev/BracoKotlin/blob/master/Arduino\\_braco.ino](https://github.com/ViniiDev/BracoKotlin/blob/master/Arduino_braco.ino)

## 4 RESULTADOS

O capítulo a seguir fornece um detalhamento mais amplo dos resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto, dividindo-se em três principais vertentes: Movimento da Mão, Conexão do Braço e Aplicativo, e Leitura de Voz. Cada uma dessas áreas engloba objetivos específicos e foi essencial para alcançar o desempenho esperado do sistema, conforme detalhado abaixo:

### 4.1 Movimento da Mão

O movimento da mão representa o objetivo final e o aspecto mais importante deste projeto. Cada componente e interface foi projetado para alcançar movimentos precisos, necessários para a funcionalidade da prótese. Este movimento é controlado por servos motores, que permite ajustes refinados no ângulo e na força aplicada pelos dedos, simulando a destreza de uma mão humana. A central de controle desse servo motor é o microcontrolador Arduino, que recebe e processa os comandos de movimento emitidos pelo aplicativo. O Arduino atua como uma interface inteligente, interpretando as instruções enviadas e traduzindo-as em impulsos elétricos que orientam o movimento preciso dos servomotores, assegurando um desempenho seguro e eficiente.

**Figura 11 - Prótese aberta**

Fonte: Autoral

**Figura 12 - Prótese fechada**

Fonte: Autoral

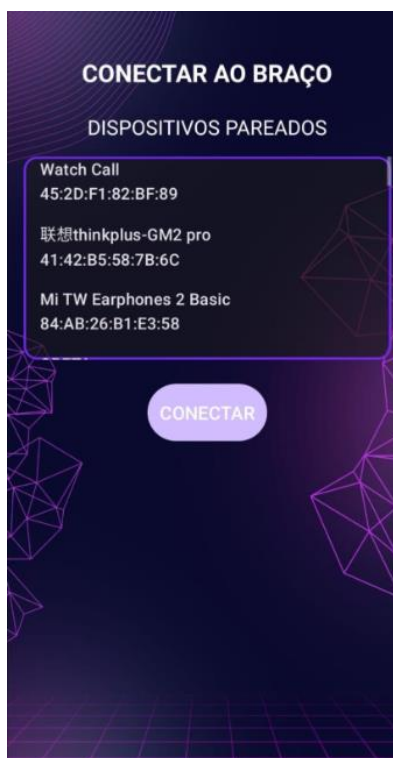
#### 4.2 Conexão entre Braço e Aplicativo

A interface entre o usuário e o sistema ocorre através de um aplicativo desenvolvido para dispositivos Android. Este aplicativo foi planejado para proporcionar uma experiência intuitiva, com uma interface gráfica que facilita a conexão e envio de comandos de voz para a prótese via tecnologia Bluetooth.

O processo de conexão utiliza classes dedicadas, como a *TelaConexaoBT* e *TelaEnviaMSG*, que são responsáveis pelo controle e gerenciamento da conexão Bluetooth. Essas classes contêm métodos para obtenção de permissões necessárias, detecção e emparelhamento do dispositivo, e transmissão de dados de comando. A troca de informações entre o aplicativo e a prótese é feita por meio de um "Socket",

um ponto de conexão de entrada e saída que permite o envio dos comandos processados em tempo real. O texto resultante do reconhecimento de voz é capturado pelo aplicativo, convertido em um formato compreensível pelo Arduino e, em seguida, enviado para execução dos movimentos programados.

**Figura 13 - Conexão Bluetooth**



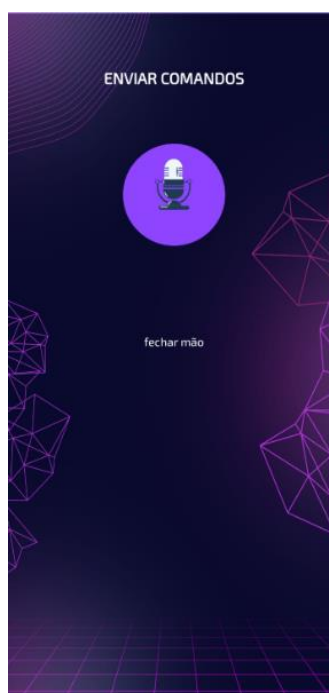
Fonte: Autoral

### 4.3 Leitura de Voz

O recurso de leitura de voz foi implementado usando a *Cloud Speech-to-Text API* do Google, uma ferramenta baseada em inteligência artificial que utiliza modelos de redes neurais para converter áudio em texto. Essa API realiza o processamento de voz em um servidor remoto, garantindo precisão no reconhecimento, mas requer uma conexão ativa com a internet. A conversão de voz para texto possibilita que o usuário emita comandos para a prótese sem a necessidade de utilizar ambas as mãos, o que torna o uso mais prático e eficiente. A API do Google foi integrada ao aplicativo, proporcionando uma interface de reconhecimento de voz simples, porém eficaz, permitindo comandos como “Abrir mão” ou “Fechar mão”, que são transformados em ações imediatas.

**Figura 14 - Comando abrir**

Fonte: Autoral

**Figura 15 - Comando fechar**

Fonte: Autoral

Esses três componentes, o movimento da mão, a conexão entre o aplicativo e a prótese, e o recurso de leitura de voz—são a base da funcionalidade do sistema. O uso coordenado dessas tecnologias proporciona um controle responsivo e simplificado, atendendo ao objetivo do projeto de fornecer uma interface prática para controle da prótese através de comandos de voz. Para acesso ao código completo e à documentação do aplicativo, incluindo as classes mencionadas, o repositório GitHub está disponível em <https://github.com/ViniiDev/BracoKotlin>.



## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou compreender as diversas dificuldades que as pessoas com deficiência (PcD) enfrentam em suas rotinas diárias, e o nosso intuito foi trazer a essas pessoas uma forma de melhoria na sua qualidade de vida. Após debates sobre como criar um projeto viável para este propósito, chegamos à conclusão de que o desenvolvimento de uma prótese para membros superiores com uma comunicação via comando de voz atenderia este objetivo.

Para a criação da prótese decidimos que a impressão 3D era a melhor opção de custo-benefício. Utilizamos o material ABS como matéria prima para a confecção da prótese que possibilitou um baixo orçamento, pois havíamos feito algumas pesquisas sobre custos com lojas especializadas e verificamos que uma prótese tem um custo em média de R\$ 1.000,00 a R\$ 6.000,00. Com a utilização da impressora 3D e do material ABS tivemos um gasto de R\$ 700,00, gerando assim um excelente custo-benefício.

Para o aplicativo de comando de voz decidimos utilizar a linguagem de programação Kotlin junto com o Android Studio, possibilitando a criação de um aplicativo de reconhecimento de voz, onde ele reconhece a voz e converte em texto, e posteriormente é transformado em comando para a prótese. A criação do aplicativo contribuiu com um enriquecimento no conhecimento da programação e em conceitos como o modelo cliente-servidor.

Outro ponto de aprendizagem foi com relação ao uso do Arduíno, utilizado para controlar os movimentos da prótese, atestamos o quão ele pode ser uma ferramenta versátil para diversos projetos. Nesta prótese além de ser responsável pelo controle dos movimentos, o Arduíno nos possibilitou incrementar um módulo Bluetooth, o que nos permite realizar a comunicação prótese e aplicativo de voz.

Finalmente, após o trabalho desenvolvido esperamos ter ajudado mesmo que minimamente para a melhoria na qualidade de vida das pessoas com deficiência.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DSOURCED, Fused Deposition Modeling: Everything You Need To Know About FDM 3D Printing 2023. Disponível em: <https://www.3dsourced.com/guides/fused-deposition-modeling-fdm/> Acesso em: 25 de agosto de 2024

AGUIAR, L. C. D.; WILSON, M. Y. 2014. Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3d. Disponível em: <<http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/tic-no-ensino-aprendizagem-de-ciencias-e-tecnologia/01409583389.pdf>>. Acesso em 11 de setembro de 2024.

ALURA. Kotlin: A linguagem oficial para desenvolvimento Android. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/kotlin>. Acesso em: 9 de outubro de 2024.

ALURA. O que é Java?, 2024. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/java>. Acesso em: 6 out. 2024.

AMAZON WEB SERVICES. O que é Java?, 2024. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/java/>. Acesso em: 6 out. 2024.

ARDUINO. Arduino Mega 2560. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>. Acesso em: 22 set. 2024.

ARDUINO. Interfacing the HC-06 Bluetooth Module with Arduino. Disponível em: <https://projecthub.arduino.cc/RucksikaaR/interfacing-the-hc-06-bluetooth-module-with-arduino-94aabd>. Acesso em: 23 de outubro de 2024.

ARDUINO. What is Arduino? Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 22 set. 2024.

Banco Mundial. Ivers, L. "Disability inclusion overview", 2019 Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/disability#:~:text=One%20billion%20people%2C%20or%2015,outcomes%20than%20persons%20without%20disabilities.>> Acesso em 21 maio de 2024.

BANZI, M. Cuartielles, D. Igoe, T. Mellis, D. Shiloh, M. "Arduino: An Open Electronics Prototyping Platform." Interaction Design Institute Ivrea, 2005. Disponível em: <https://typeset.io/pdf/arduino-an-open-electronics-prototyping-platform-1623ds21d6.pdf>. Acesso em 25 de setembro de 2024.

BANZI, M; Shiloh, M. "Getting Started with Arduino". 3rd edition. O'Reilly Media, 2014. Disponível em: [https://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make\\_gettings\\_tartedwitharduino\\_3rdedition.pdf](https://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettings_tartedwitharduino_3rdedition.pdf). Acesso em 20 de setembro de 2024.

BARDI, E. GANDOLLA, M. BRAGHIN, F. RESTA, F. PEDROCCHI, A. L. G. AMBROSINI, E. Upper limb soft robotic wearable devices: a systematic review, 2022. Disponível em: <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-022-01065-9> Acesso em: 25 de Junho de 2024

BARRAGÁN, H. The Untold History of Arduino. 2019. Disponível em: <https://arduinhistory.github.io/>. Acesso em: 22 de setembro de 2024.

BERNARDES, L. C. G.; MAIOR, I. M. M. L.. Pessoas com deficiência e políticas de saúde no Brasil: reflexões bioética. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/csc/2009.v14n1/31-38/pt> . Acesso em: 15 de agosto de 2024.

DANTAS. "Bluetooth"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/informatica/bluetooth.htm>. Acesso em 23 de outubro de 2024

EDWARDS, S. The History of 3D Printing: Origins, Advancements, and Modern-Day Applications. Disponível em: <https://www.thomasnet.com/insights/history-of-3d-printing/> Acesso em: 13 de setembro de 2024.

ELECHOUSE. Speak Recognition – Voice Recognition Module V3. Disponível em: <https://www.elechouse.com/product/speak-recognition-voice-recognition-module-v3/>. Acesso em: 23 set. 2024.

EVANS, M., NOBLE, J., e HOCHENBAUN, J. Arduino em Ação. 2013. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=tig0CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=arduino+hist%C3%B3ria&ots=mTgrdb3r3M&sig=09Pi6pwNhJMn83c46UmLaCm6ncl&redir\\_esc=y#v=onepage&q=arduino%20hist%C3%B3ria&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=tig0CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=arduino+hist%C3%B3ria&ots=mTgrdb3r3M&sig=09Pi6pwNhJMn83c46UmLaCm6ncl&redir_esc=y#v=onepage&q=arduino%20hist%C3%B3ria&f=false). Acesso em: 13 de setembro de 2024.

Fantoni, R. F. (2010) Artigo Como a Poliamida Substituiu a Seda: uma História da Descoberta da Poliamida . Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/7TwsxTfCGv98fXy4kcQYt5t/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 11 de setembro de 2024.

FEUP, Faculdade de engenharia, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72684/1/000155343.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2024.

GERHARDT, T. E. SILVEIRA, Métodos de Pesquisa. 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806> Acesso em: 16 de Abril de 2024.

GOLDBERG, J. On Pará and Prosthetics. Disponível em: <https://nyamcenterforhistory.org/2014/12/19/on-pare-and-prosthetics/>. Acesso em 13 de abril de 2024.

HOLANDA, C. M. A.; ANDRADE, F. L. J. P.; BEZERRA, M. A. ; Nascimento, J. P. S.; NEVES, R. F.; ALVES, S. B.; RIBEIRO, K. S. Q. S. Disponível em <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63033062020>. Acesso em 31 de out. 2024.

IBGE, CENSO ,2010. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/metodologia/notas\\_tecnicas/nota\\_tecnica\\_2018\\_01\\_censo2010.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/metodologia/notas_tecnicas/nota_tecnica_2018_01_censo2010.pdf). Acesso em: 10 de agosto de 2024

IBM. "The client-server model." 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/pt-br/cics-ts/5.6?topic=programs-clientserver-model>. Acesso em 22 de setembro de 2024.

IBM. Reconhecimento de voz. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/speech-recognition>. Acesso em: 23 de setembro de 2024.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Plataforma de jogos digitais adaptada para pessoas com deficiência nos membros superiores. Disponível em: <https://www.sbgames.org/proceedings2020/WorkshopG2/209506.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

KOTLINLANG. Overview: Android development with Kotlin. Disponível em: <https://kotlinlang.org/docs/android-overview.html>. Acesso em: 9 de outubro de 2024.

Lei nº 13.146. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). 2015. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm) Acesso em 17 maio de 2024.

LONGHI, G. Proposta de um método de projeto de próteses de membros superiores com a utilização da engenharia e análise de valor. 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-12012006-103703/publico/TextoDissertCompleto.pdf>. Acesso em 29/04/2024.

MENDES, E. A. A Inclusão das Pessoas com Deficiência no Mercado de Trabalho: Desafios e Oportunidades. Instituto Nacional de Estatística e Geografia (IBGE). 2014. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34977-desemprego-e-informalidade-sao-maiores-entre-as-pessoas-com-deficiencia> Acesso em: 2 de agosto de 2024.

Ministério da Educação. Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva. 2015, Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducoespecial.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

Ministério da Saúde. GUIA PARA PRESCRIÇÃO, CONCESSÃO, ADAPTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ÓRTESES, PRÓTESES E MEIOS AUXILIARES DE LOCOMOÇÃO. (2019), 10 p. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_manutencao\\_orteses\\_proteses\\_auxiliares\\_locomocao.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_manutencao_orteses_proteses_auxiliares_locomocao.pdf). Acesso em: 1 maio de 2024.

Organização Mundial da Saúde. 2011. World Report on Disability. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241564182>. Acesso em 21 maio de 2024.

PEDR'ANGELO, M. Trabalhar as habilidades motoras é importante para viver com mais autonomia. (2023) Disponível em: <https://toquedemae.com.br/trabalhar-as-habilidades-motoras-e-importante-para-viver-com-mais-autonomia/#:~:text=As%20habilidades%20motoras%20fundamentais%20s%C3%A3>

o,pr%C3%B3prio%20corpo%2C%20vivendo%20com%20autonomia. Acesso em: 22 maio de 2024.

PUDULSKI, R. The Boston Arm. Fórum. \*IEEE Spectrum\* 6, 1969. Disponível em: <https://www.worldradiohistory.com/Archive-IEEE/1969/IEEE-Spectrum-1969-12.pdf> Acesso em 13 de abril de 2024.

RABELO, S. C. 11 de outubro - Dia Nacional da Pessoa com Deficiência Física. 2021. Disponível em: <https://www.tre-pe.jus.br/comunicacao/noticias/2022/Outubro/11-de-outubro-dia-nacional-da-pessoa-com-deficiencia-fisica>. Acesso em: 17 abril de 2024.

RAMOS, A.; CALADO, J. C. BRAGA, J. Silva, S. A Integração, Socialização e os fatores que interferem no processo de contratação de Pessoas com Deficiência. 2010. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/96738329/a-integracao-socializacao-e-os-fatores-que-interferem-no-processo-de-contratacao?mgm=NHt3v9Q52M4etGX5j%2FIdNg%3D%3D> Acesso em 15 de agosto de 2024

RBCTI, Revista Brasileira de Ciência, tecnologia e Inovação, <<https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/download/3298/3357>> Acesso em 27 de setembro de 2024.

RIBEIRO, C. T. M., et al. O sistema público de saúde e as ações de reabilitação no Brasil. \*Revista Panamericana de Saúde Pública\*. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/2010.v28n1/43-48> Acesso em: 20 de agosto de 2024

ROCHA, e. F.; SOUZA, C. C. B. X. Terapia Ocupacional em reabilitação na Atenção Primária à Saúde: possibilidades e desafios. Rev. Ter. Ocup. Univ. São Paulo, v. 22. 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/268317740> Acesso em: 15 de agosto de 2024

SCHWARZ, A.; HABER, J. Cotas: como vencer os desafios da contratação das pessoas com deficiência. 2009. Disponível em: <https://vidamaislivre.com.br/uploads/isocial/livro-cotas.pdf>. Acesso em 19 de abril de 2024.

SCIENTIFIC RESEARCH PUBLISHING, Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics, 2017. Disponível em: [https://www.scirp.org/pdf/JSSM\\_2017050415564611.pdf](https://www.scirp.org/pdf/JSSM_2017050415564611.pdf) Acesso em 14 de outubro de 2024.

Silva, P. L., et al. "Attitudes towards people with disabilities: A critical review of the literature." \*Journal of Disability Studies\*. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbee/a/HGQLyQG4TsQmggrDQ3mY8Zb/?lang=pt>. Acesso em 1 maio de 2024.

SIQUEIRA, W. Síndrome do membro fantasma. \*Sanar\*. 2021. Disponível em: <https://sanarmed.com/sindrome-do-membro-fantasma-colunistas>. Acesso em 12 de abril de 2024.

STACK OVERFLOW. Stack Overflow Developer Survey 2021. Disponível em: <https://survey.stackoverflow.co/2021>. Acesso em: 9 de outubro de 2024.

UNITED NATIONS. Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). 2006. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/>. Acesso em 1 maio de 2024.

Wong, K. V., & Hernandez, A. A Review of Additive Manufacturing. ISRN Mechanical Engineering. (2012) Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.5402/2012/208760>. Acesso em: 11 de novembro de 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, World Report on Disability, 2011 Disponível em: <https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/world-report-on-disability> Acesso em: 25 de Abril de 2024.

YOUSSEF, A, R. MORSY, A. BMC, Assistive technology: opportunities for societal inclusion of persons with disabilities and independence of the elderly. Disponível em: <https://bmcbiomedeng.biomedcentral.com/counter/pdf/10.1186/s42490-023-00072-8.pdf>. Acesso em: 04 de Julho de 2024