

SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO UTILIZANDO LUVAS COM SENSORES

IDENTIFICATION SYSTEM USING GLOVES WITH SENSORS

Bryan Lopes da COSTA

bryancosta31@gmail.com

Bach. em Ciência da Computação

Centro Universitário Anchieta (UniAnchieta)

Felipe Augusto Honorato MERCURIO

mercuriofelipe10@gmail.com

Bach. em Ciência da Computação

Centro Universitário Anchieta (UniAnchieta)

Giovana Maria SANTANA

giovana.santata@gmail.com

Bach. em Ciência da Computação

Centro Universitário Anchieta (UniAnchieta)

Kelwin Daniel Ribeiro da SILVA

kelwin.ribeiro1704@gmail.com

Bach. em Ciência da Computação

Centro Universitário Anchieta (UniAnchieta)

Clayton Augusto VALDO

clayton.valdo@anchieta.br

Bach. em Ciência da Computação

Centro Universitário Anchieta (UniAnchieta)

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é a maneira pela qual se comunicam as pessoas com deficiência auditiva, utilizando gestos visuais para transmitir mensagens. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma luva equipada com sensores capaz de identificar os movimentos correspondentes ao alfabeto manual e aos numerais de Libras. O objetivo é oferecer uma solução tecnológica acessível que traduza os gestos em áudio no idioma português, contribuindo para a eliminação de barreiras de comunicação entre pessoas surdas e ouvintes. O protótipo foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino como núcleo para integração e processamento dos dados captados pelos sensores, priorizando ferramentas acessíveis para viabilizar uma solução popular de baixo custo. Os testes realizados demonstraram eficiência na captação dos gestos, reconhecendo com precisão todas as letras e números programados. Os resultados reforçam o potencial do dispositivo para melhorar a comunicação e promover a inclusão social.

Palavras-Chave

Tradução de Libras; Comunicação inclusiva; Sensores de movimento; Reconhecimento de padrões; Luva tradutora.

Abstract

Brazilian Sign Language (Libras) is the way in which people with hearing impairments communicate, using visual gestures to convey messages. This work proposes the development of a glove equipped with sensors capable of identifying movements corresponding to the manual alphabet and Libras numerals. The goal is to offer an accessible technological solution that translates gestures into audio in the Portuguese language, contributing to the elimination of communication barriers between deaf and hearing people. The prototype was developed using the Arduino platform as the core for integration and processing of data captured by the sensors, prioritizing accessible tools to enable a low-cost, popular solution. The tests performed demonstrated efficiency in capturing gestures, accurately recognizing all programmed letters and numbers. The results reinforce the device's potential to improve communication and promote social inclusion.

Keywords

Sign language translation; Inclusive communication; Motion sensors; Pattern recognition; Translation glove.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país marcado por uma vasta diversidade de pessoas e culturas, cada uma com as suas características e questões de saúde física ou emocional. A crescente atenção dada às pessoas com deficiência auditiva tem sido um desafio para a sociedade, que visa promover a inclusão para criar um ambiente em que todos sejam capazes de se comunicar.

Segundo Carvalho (2011), a Língua Brasileira de Sinais (Libras) foi oficializada como segunda língua do país, ao lado do português. Libras tem ganhado cada vez mais espaço em todos os ambientes em que a comunicação é fundamental, como em programas de televisão, eventos educativos, escolas e igrejas, por exemplo, tornando-se a principal ferramenta para atender às necessidades de diálogo das pessoas com deficiência auditiva.

De acordo com o portal Brasil (2023), no cenário brasileiro, a população com algum nível de perda auditiva representa cerca de 8,9% da população, ou seja, aproximadamente 18 milhões de pessoas em 2023. A

dificuldade para encontrar um suporte adequado, junto com a falta de atenção à saúde auditiva, tem limitado o acesso da população aos cuidados necessários.

Segundo informações do site BVSMS (2024), hoje observa-se uma carência de conhecimento sobre prevenção, diagnóstico preciso e tratamento da perda auditiva. Com o crescimento gradativo dos casos de surdez, a tecnologia pode ser utilizada como ferramenta para eliminar os principais obstáculos de comunicação enfrentados por esses indivíduos.

Com o passar dos anos, os esforços para integrar a Língua Brasileira de Sinais (Libras) na sociedade têm crescido significativamente, mas ainda se enfrenta diversas dificuldades, uma vez que não é uma língua amplamente compreendida pela população em geral. As pessoas com deficiência auditiva se comunicam com indivíduos ouvintes apenas por meio de intérpretes ou texto escrito que, embora permita a comunicação entre os dois grupos, não são soluções realmente acessíveis. (Torres et al., 2007)

O propósito central deste projeto é criar um Sistema de Identificação que emprega luvas equipadas com sensores que servirão como intérpretes de Libras para o idioma português. O plano empregará tecnologias de ponta, tais como sensores de movimento e flexão que registram os movimentos. Esses gestos serão posteriormente analisados por algoritmos de reconhecimento de padrões, tais como Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs).

O protótipo será desenvolvido com o uso de plataformas para desenvolvimento de hardware, como Arduino ou Raspberry Pi. A iniciativa utilizará softwares de processamento de sinais para a criação e aprimoramento dos algoritmos de tradução. O objetivo do sistema é auxiliar na comunicação entre pessoas com deficiência auditiva e ouvintes, proporcionando, de maneira acessível, um instrumento eficiente para a tradução automática da Linguagem Brasileira de Sinais.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando a temática de inclusão de deficientes auditivos, este trabalho propõe o desenvolvimento prático de um sistema que utiliza uma luva equipada com sensores para realizar a tradução de gestos em Libras para a língua portuguesa. Neste contexto, o Arduino será o controlador central, responsável por processar as entradas dos sensores de flexão (aplicados aos dedos), do giroscópio e do acelerômetro. Essa solução tecnológica abre caminho para novas oportunidades de explorar sobre como a tecnologia pode ser utilizada para solucionar os desafios da tradução de Libras. (Leacina; Ferreira, 2021)

1.1. Sensores de Movimento e Flexão (Motion and Flex Sensors)

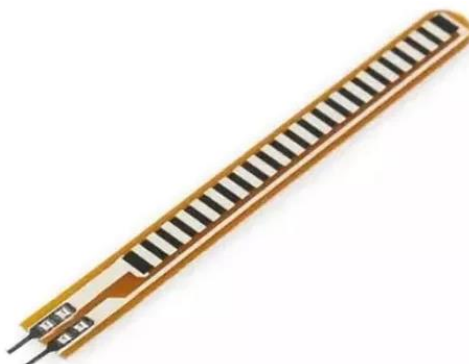
A utilização de luvas equipadas com sensores é um eficiente instrumento capaz de identificar e traduzir os sinais de Libras (Língua Brasileira de Sinais). Para o desenvolvimento desses sistemas, faz-se necessário o uso de diversas tecnologias, incluindo sensores, que são fundamentais para o reconhecimento dos movimentos dos usuários. Os sensores de movimento e flexão são responsáveis pela captura dos gestos utilizados em Libras, permitindo a medição de dados específicos que, posteriormente, são utilizados no processo de tradução (Lazzarotto, 2016).

1.1.1. Sensores de flexão, giroscópio e acelerômetro

Para realizar a conversão da alteração de flexão ou curvatura, são utilizados sensores de flexão que convertem os movimentos em uma variação de resistência, ou seja, são capazes de transformar uma energia

física em sinais elétricos. Conforme a figura 1, os sensores desenvolvidos pela Spectrasymbol possuem uma construção simples e são compostos por materiais plásticos finos, menores que 0,127 milímetros, contendo um filme resistivo de carbono ou polímeros, criados em diversos tamanhos e formatos. (SEA, 2017)

Figura 1. Sensores de Flexão (Spectrasymbol, 2021)



Para aprimorar a cobertura dos movimentos, existem diferentes técnicas que utilizam sensores fixados ao corpo do usuário, gerando resultados mais precisos e reduzindo as interferências do ambiente, principalmente em relação ao reconhecimento por vídeos. As luvas para medição de gestos, por exemplo, utilizam os sensores de curvatura, pressão, acelerômetros e giroscópios para captar com maior precisão a cinemática corporal. Os ângulos de movimento são medidos por meio de sensores nas juntas do corpo humano, como goniômetros eletrônicos, que medem ângulos de rotação, ou luvas goniométricas que, para reconhecer os padrões, analisam simultaneamente a posição dos dedos (Guimarães, 2019).

De acordo com dados apresentados no seminário SEA (2017), o sensor FlexForce responde às variações de sua microestrutura. Sem necessitar de uma excitação externa, este sensor passivo realiza a alteração da resistência elétrica em seus terminais, podendo ser utilizado em uma série de aplicações que envolvem variação angular longitudinal.

Na Universidade Federal do Pampa (Unipampa), em Alegrete, Longaretti (2015) desenvolveu um protótipo de luva que utiliza sensores MPU6050 com acelerômetros e giroscópios de três eixos para capturar os gestos da mão humana. Os sensores, representados na figura 2, geravam dados que eram transmitidos para um computador, que realizava posteriormente a análise e o processamento dos dados.

1.1.2. Projeto de desenvolvimento da luva

A luva de dados é um dispositivo multissensorial que, para Lazzarotto (2016), é capaz de gerar uma grande quantidade de informações sobre a postura e os movimentos da mão. Neste contexto, mesmo que seja utilizada uma luva simples, como a X11 na figura 3, os autores destacam que ela é amplamente utilizada pelos pesquisadores devido à sua integração com plataformas com interface natural para usuário.

Figura 2. Giroscópio (Amazon, 2023)

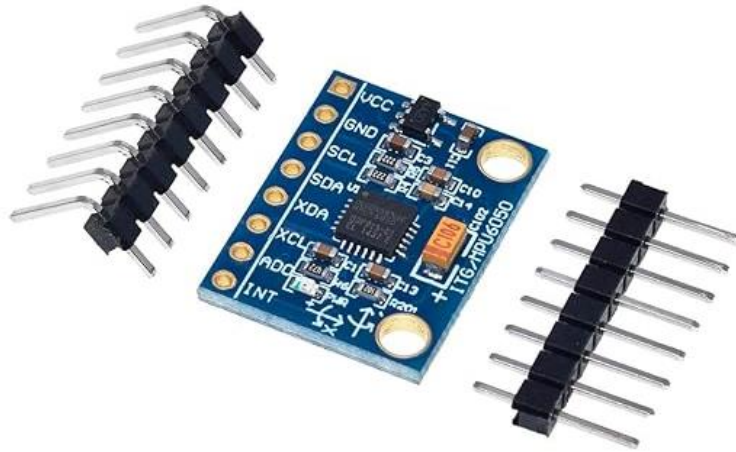


Figura 3. Luva X11 (X11, 2021)



Os sensores de flexão detectam o movimento dos dedos, enquanto os giroscópios e acelerômetros realizam a medição da posição e orientação das mãos em um espaço tridimensional. A velocidade angular é medida pelos giroscópios, e os acelerômetros são responsáveis pela detecção da aceleração linear. Quando combinados, esses sensores fornecem dados sobre o movimento completo das mãos, permitindo uma maior precisão na tradução dos sinais (Lazarotto, 2016).

1.2. Algoritmos de Reconhecimento de Padrões (Pattern Recognition Algorithms)

A etapa de utilização de um algoritmo de reconhecimento de padrões é fundamental para o desenvolvimento deste projeto. Por meio de algoritmos como Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs), os dados que foram coletados pelos sensores são analisados e interpretados. Baseando-se nos padrões de movimento e nos métodos de aprendizado de máquina, os algoritmos identificam os sinais da linguagem, processam e classificam os dados para, assim, realizar a tradução em texto ou fala (SANTOS et al., 2019).

1.2.1. Redes Neurais Convolucionais (CNNs)

Sob a perspectiva de Ebermam e Krohling (2018), inspiradas no córtex visual biológico, as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) são um tipo de rede neural artificial amplamente utilizado para o reconhecimento de padrões. De maneira eficiente, elas são capazes de processar e analisar dados visuais, como imagens, devido à sua capacidade de identificar padrões e características de forma hierárquica, aprendendo com precisão os diferentes gestos utilizados em Libras.

A técnica utilizada por CNNs consiste em separar camadas. As primeiras são responsáveis por identificar padrões e características que possibilitam uma análise mais localizada, pois os neurônios não estão totalmente conectados aos neurônios da camada seguinte. Já as camadas finais são totalmente conectadas e têm a função de interpretar as informações extraídas, gerando uma resposta final (Ebermam; Krohling, 2018).

No contexto do processo de uma CNN, consideram-se três etapas principais:

- Camada convolucional, que detecta características específicas da imagem;
- Camada de pooling, que torna o processamento mais eficiente por meio da redução da dimensionalidade dos dados;
- Camadas totalmente conectadas, que realizam a interpretação final.

Segundo Ebermam e Krohling (2018), a inspiração deste modelo está no trabalho pioneiro de Hubel e Wiesel, que descobriram como as células do córtex visual dos gatos reagem aos estímulos visuais.

1.2.2. Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs)

Com a evolução tecnológica, uma técnica de aprendizado conhecida como Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs) tem se destacado. São algoritmos de classificação que, muitas vezes, superam os resultados obtidos por outros algoritmos de aprendizado, como as RNAs, conhecidas como Redes Neurais Artificiais (Lorena; Carvalho, 2007).

Muito utilizadas em áreas como categorização de textos, análise de imagens e bioinformática, como argumenta Lorena e Carvalho (2007), as SVMs foram inspiradas pela teoria de aprendizado estatístico, desenvolvida por Vapnik. Essa técnica segue rigorosos princípios que garantem, de maneira eficaz, a criação de classificadores capazes de prever a classe de novos dados que pertencem ao mesmo domínio do aprendizado inicial, apresentando uma boa capacidade de generalização.

1.3. Plataformas de Desenvolvimento de Hardware (Hardware Development Platforms)

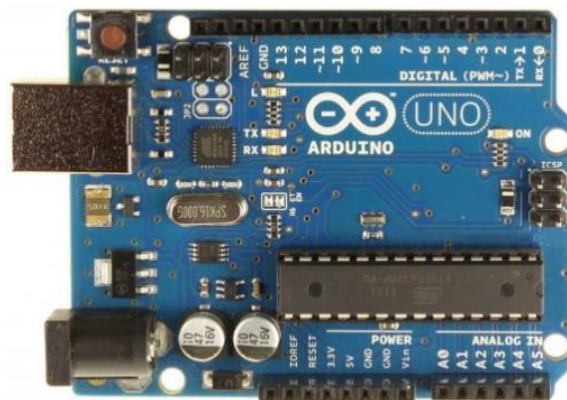
A construção do projeto requer uma plataforma de desenvolvimento de hardware que terá um papel fundamental para o funcionamento do protótipo. Essa plataforma será responsável por integrar os sensores e processar os dados capturados dos gestos. Para este fim, o Arduino e o Raspberry Pi se destacam como duas opções eficientes, principalmente pela acessibilidade e versatilidade que ambos apresentam (Silva, 2019).

1.3.1. Arduino

Como descrito por Silva et al., (2014), o Arduino é uma plataforma de código aberto, composta por um microcontrolador e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que simplifica de maneira eficaz o desenvolvimento de projetos eletrônicos. Com origem na Itália, em 2005, o Arduino conta com microcontroladores programáveis por meio de softwares de código aberto, com suporte para hardware e software.

Como apresentado na figura 4, o modelo Arduino Uno R3 possui entradas digitais e analógicas, que permitem a captação de diversos sinais de sensores, e suas saídas são capazes de controlar diferentes componentes eletrônicos. Dessa forma, a placa pode ser utilizada em uma grande diversidade de projetos, desde sensores mais simples até instrumentos científicos complexos. (Silva et al., 2014)

Figura 4. Arduino Uno R3 (ELETRODEX, 2021)



A capacidade do Arduino em realizar tarefas como a leitura de sensores de luz ou câmeras, por exemplo, evidencia a sua versatilidade. Em palavras de Silva (2019), ele funciona como um “cérebro” para diversos dispositivos, sendo adaptável a diferentes aplicações. Desenvolvido em Java, seu ambiente de desenvolvimento oferece uma interface acessível e flexível, o que torna o Arduino uma das plataformas eletrônicas mais populares para projetos educacionais e profissionais.

1.3.2. Raspberry Pi

Como representado na figura 5, o Raspberry Pi é um dispositivo compacto e altamente funcional, capaz de realizar grande parte das tarefas de um computador de mesa tradicional. Desenvolvido em 2012 pela Fundação Raspberry Pi, essa plataforma se destaca por sua versatilidade, sendo utilizada para diversas finalidades, desde atividades educativas até projetos avançados. (Silva, 2019)

Figura 5. Raspberry Pi (Silva, 2019)



Para Silva (2019), o Raspberry Pi se destaca como uma ferramenta que promove o desenvolvimento do raciocínio lógico, tornando-se uma escolha apropriada para integrar diversos tipos de projetos tecnológicos. Com um grande volume de material de estudo disponível, o dispositivo foi preparado para suportar periféricos comuns, como saídas HDMI, conexão para mouse, teclado e Wi-Fi integrado, eliminando a necessidade de acessórios adicionais para iniciar o desenvolvimento.

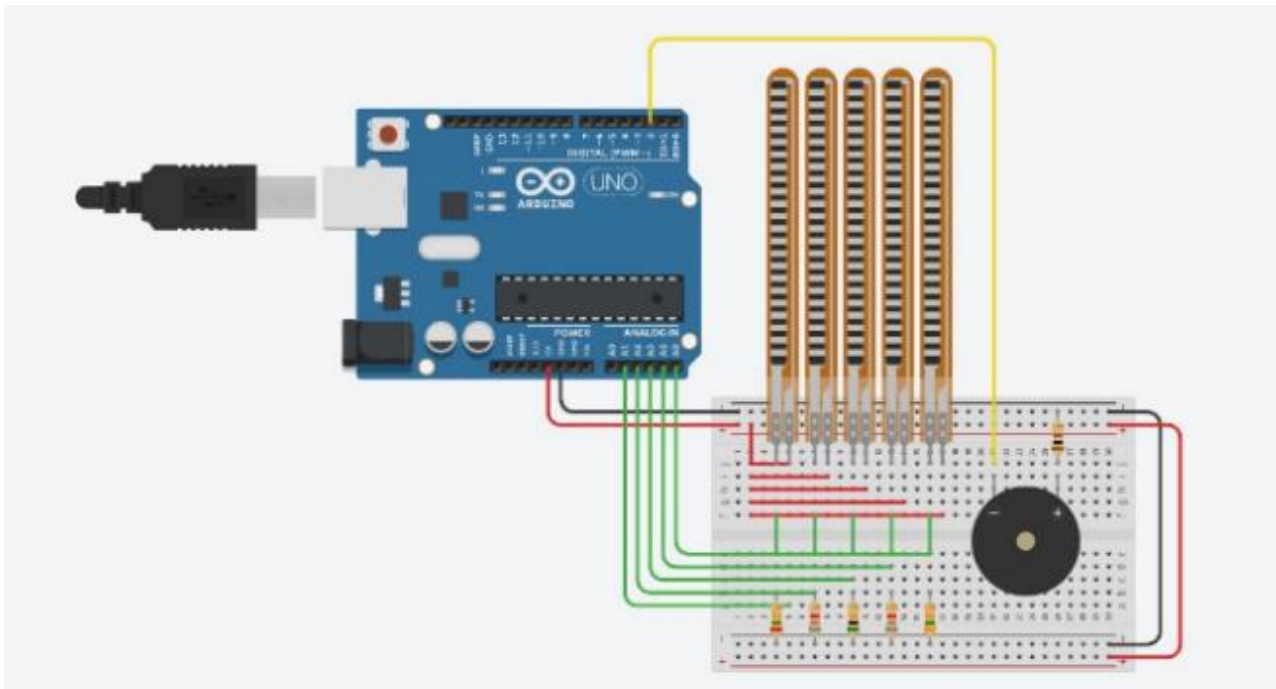
1.4. Softwares de Processamento de Sinais (Signal Processing Software)

Em conjunto com o hardware que será utilizado no projeto, o desenvolvimento dos algoritmos de reconhecimento de sinais de Libras dependerá de um software de processamento que, dessa forma, permitirá que sejam realizados testes e ajustes antes da implementação física. O Tinkercad foi escolhido devido ao seu ambiente virtual intuitivo e acessível para a criação e simulação de circuitos eletrônicos. (Santos, 2023)

1.4.1. Tinkercad

Criada pela Autodesk, a plataforma Tinkercad é um simulador online gratuito que permite que os usuários projetem, simulem e verifiquem o comportamento de diversos componentes que serão utilizados no projeto, como está ilustrado na Figura 6. Segundo Santos (2023), devido à sua interface simples, o gerenciamento dos resultados com o Tinkercad será mais eficiente, mesmo que não haja um hardware físico implementado durante a fase inicial de desenvolvimento.

Figura 6. Representação no Tinkercad



No contexto do projeto em questão, a plataforma conta com um espaço dedicado à programação dos circuitos e componentes por meio de linguagens de programação. Portanto, na etapa de codificação, o Tinkercad será fundamental para realizarmos simulações virtuais do processamento dos sinais emitidos pelos sensores, que serão aplicados na luva tradutora de Libras. Com ele, é possível garantir o funcionamento do sistema antes da implementação física, facilitando a correção de erros e a otimização do projeto desde a fase inicial (Silva, 2018).

1.5. Resultados e Discussão

Os resultados deste trabalho foram alcançados por meio da utilização de componentes que desempenharam papéis fundamentais para realizar a tradução precisa de Libras para o português. A figura 7 mostra um fluxograma detalhado de cada módulo utilizado, incluindo os sensores de flexão, o Sensor de Giroscópio e Acelerômetro (IMU - Unidade de Medição Inercial), o Arduino, o Módulo LDPlayer com cartão SD e um alto-falante.

1.5.1. Fluxograma do projeto

Cada componente do projeto possui uma função específica que, em conjunto, são capazes de identificar e interpretar os movimentos da luva. Como evidenciado na figura 7, os sensores de flexão detectam a variação de resistência gerada pela dobra de cada dedo, enquanto o giroscópio e acelerômetro capturam a movimentação e a orientação espacial da luva. O Arduino processa esses dados e toma decisões baseadas nos movimentos capturados, enviando instruções ao módulo LDPlayer que armazena os arquivos de áudio mapeados, e o alto-falante emite o som que conclui a tradução.

Figura 7. Fluxograma do projeto

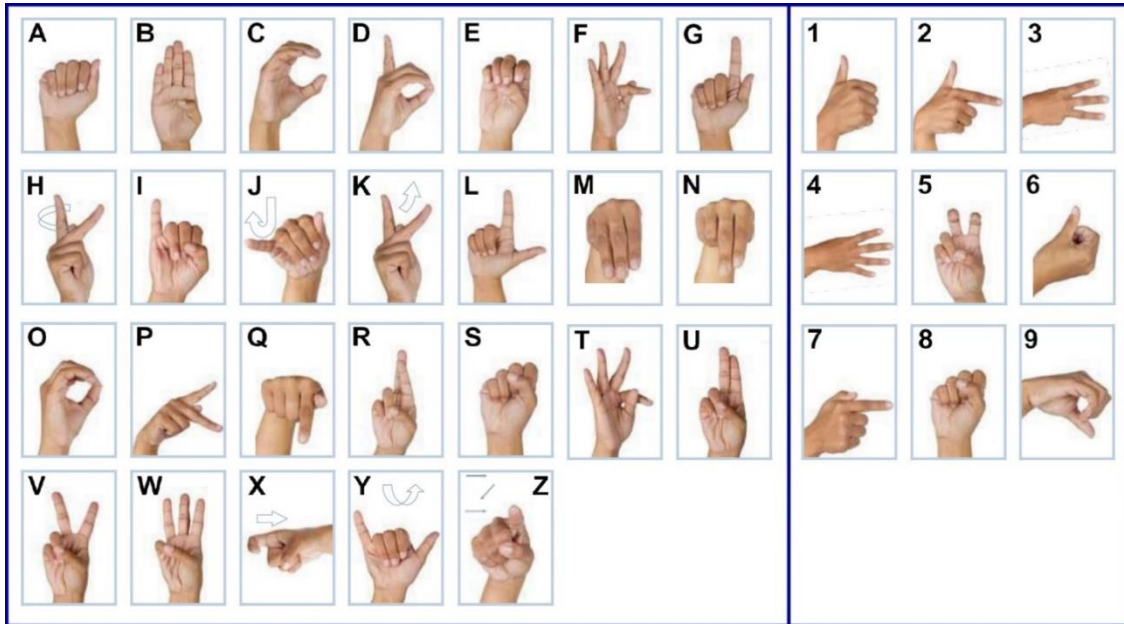


Para aprimorar a precisão do reconhecimento dos gestos, o projeto foi estruturado em etapas que consistem no funcionamento dos sensores, processamento dos dados e reprodução de áudio. Conectados nas portas analógicas do Arduino, os sensores de flexão convertem a curvatura dos dedos em valores de tensão que representam o grau de curvatura. O giroscópio e acelerômetro, conectados nas portas I2C do Arduino, capturam movimentos e a orientação da luva, possibilitando a distinção de gestos com base na leitura de inclinação e rotação, o que facilita interpretações mais complexas.

1.5.1. Configuração e mapeamento

Para configurar os movimentos padrão de cada letra e número, utilizou-se como referência o alfabeto manual e os numerais da Língua Brasileira de Sinais (Libras), conforme representado na figura 8. Cada gesto correspondente a uma letra ou número apresenta um movimento único, que foi devidamente mapeado e associado às leituras dos sensores.

Figura 8. Alfabeto manual e os numerais em Libras (Brasil, 2022)



A Figura 9 demonstra como é feita a leitura dos valores dos sensores de flexão. O código faz uso da função `analogRead()` para capturar os valores dos sensores, que variam entre 750 (dedos abertos) e 900 (dedos completamente flexionados). Esses valores são, então, agrupados em uma variável chamada “gestoAtual”, do tipo `String`, que será utilizada posteriormente para identificar os gestos.

Figura 9. Leitura dos valores dos sensores

```

1 // Leitura dos valores dos sensores
2 valorDedo1 = analogRead(A1);
3 valorDedo2 = analogRead(A2);
4 valorDedo3 = analogRead(A3);
5 valorDedo4 = analogRead(A4);
6 valorDedo5 = analogRead(A5);
7
8 // Reconhecimento do gesto atual
9 String gestoAtual = reconhecerGesto(valorDedo1, valorDedo2, valorDedo3, valorDedo4, valorDedo5);

```

Inicialmente, foi pré-configurada uma série de gestos que contempla todas as letras do alfabeto, os números de 1 a 9 e as frases “bom dia”, “boa tarde” e “boa noite”. O processo de mapeamento foi fundamental: para cada gesto em Libras que representa uma letra, número ou palavra, foram capturadas as leituras dos sensores, que indicam os ângulos dos dedos e a orientação da mão. Com essas leituras, foi criada uma tabela que estabelece uma matriz, na qual cada gesto está associado a um valor específico de leitura dos sensores e a um arquivo de áudio correspondente no cartão SD, conforme visualizado na Figura 10.

Figura 10. Criação da Tabela de Mapeamento

```

1 // Array de gestos com valores de referência para letras
2 Gesto gestos[] = {
3   {900, 700, 700, 700, 700, 'A'}, // Somente o polegar dobrado
4   {700, 900, 900, 900, 900, 'B'}, // Todos os dedos esticados, exceto o polegar
5   {800, 800, 800, 800, 800, 'C'}, // Forma arredondada, todos semi-dobrados
6   {700, 900, 700, 700, 700, 'D'}, // Somente indicador esticado
7   {900, 900, 900, 900, 900, 'E'}, // Todos os dedos dobrados
8   {700, 700, 900, 900, 900, 'F'}, // Polegar e indicador esticados
9   {900, 900, 700, 700, 700, 'G'}, // Indicador e polegar apontando
10  {900, 900, 700, 700, 700, 'H'}, // Indicador e médio esticados
11  {900, 700, 900, 900, 900, 'I'}, // Mínimo esticado
12  {900, 700, 900, 900, 900, 'J'}, // Movimento em 'J' (dedo mínimo)
13  {900, 700, 700, 900, 900, 'K'}, // Indicador e médio abertos, polegar dobrado
14  {900, 900, 900, 700, 700, 'L'}, // Indicador e polegar formando 'L'
15  {900, 900, 900, 900, 700, 'M'}, // Três dedos sobrepostos
16  {900, 900, 900, 700, 700, 'N'}, // Dois dedos sobrepostos
17  {900, 800, 800, 800, 800, 'O'}, // Todos os dedos semi-dobrados formando 'O'
18  {900, 700, 900, 700, 700, 'P'}, // 'K' invertido
19  {900, 900, 700, 700, 900, 'Q'}, // 'G' apontando para baixo
20  {900, 700, 900, 700, 900, 'R'}, // Indicador e médio cruzados
21  {900, 900, 900, 900, 700, 'S'}, // Punho fechado
22  {900, 900, 900, 700, 900, 'T'}, // Polegar entre indicador e médio
23  {900, 700, 700, 900, 900, 'U'}, // Indicador e médio juntos
24  {900, 700, 700, 700, 900, 'V'}, // Indicador e médio em 'V'
25  {900, 700, 700, 700, 700, 'W'}, // Três dedos esticados (V + médio)
26  {900, 700, 900, 900, 700, 'X'}, // Indicador dobrado
27  {900, 700, 900, 700, 700, 'Y'}, // Polegar e mínimo esticados
28  {900, 700, 900, 700, 900, 'Z'} // Movimento em 'Z' com indicador
29 };
30
31 // Array de gestos com valores de referência para números
32 Gesto gestosNumeros[] = {
33   {900, 900, 900, 900, 900, "0"}, // Todos os dedos dobrados (punho fechado)
34   {700, 900, 900, 900, 900, "1"}, // Apenas o polegar esticado
35   {700, 700, 900, 900, 900, "2"}, // Polegar e indicador esticados
36   {700, 700, 700, 900, 900, "3"}, // Polegar, indicador e médio esticados
37   {700, 700, 700, 700, 900, "4"}, // Quatro dedos esticados (exceto mínimo)
38   {700, 700, 700, 700, 700, "5"}, // Todos os dedos esticados
39   {900, 700, 700, 700, 700, "6"}, // Mínimo tocando o polegar (forma de "OK")
40   {900, 900, 700, 700, 700, "7"}, // Anelar tocando o polegar
41   {900, 900, 900, 700, 700, "8"}, // Médio tocando o polegar
42   {900, 900, 900, 900, 700, "9"} // Indicador tocando o polegar
43 };
44
45 // Estrutura para armazenar seqüências de gestos
46 struct PalavraGesto {
47   String palavra;
48   String gestosSequencia[2]; // Até duas letras para formar uma palavra
49 };
50
51 // Array de palavras e suas seqüências de gestos
52 PalavraGesto palavrasCompostas[] = {
53   {"bom dia", {"B", "D"}},
54   {"boa tarde", {"B", "T"}},
55   {"boa noite", {"B", "N"}}
56 };

```

O processamento de dados no Arduino é composto por três etapas principais. A primeira é a Leitura Analógica e Digital, na qual dados dos sensores de flexão e do IMU são recebidos a uma taxa de amostragem definida para garantir leituras contínuas. Então, ocorre o Mapeamento dos Gestos, onde as leituras dos sensores são comparadas com valores de referência previamente estabelecidos para identificar gestos específicos. Por fim, a Lógica de Decisão utiliza um algoritmo no código do Arduino, permitindo um reconhecimento mais eficiente dos gestos.

Figura 11. Identificação de gestos com valores fictícios

```

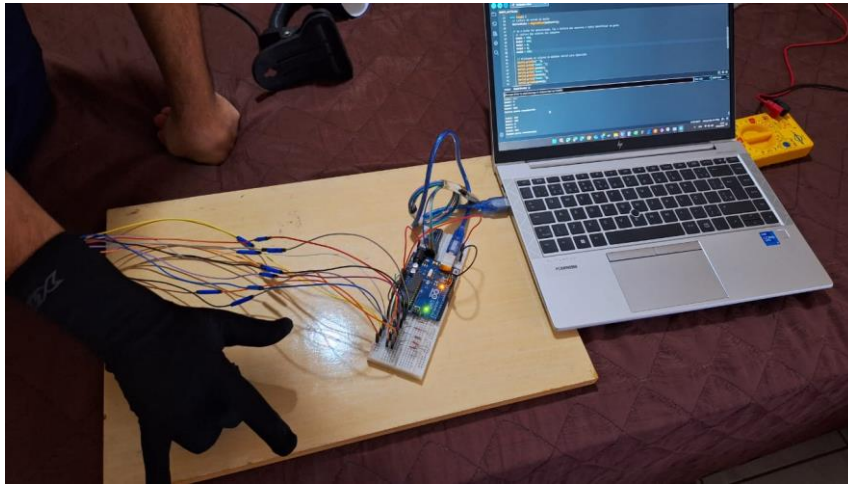
1 // Função para reconhecer letras ou números com tolerância
2 String reconhecerGesto(int valorDedo1, int valorDedo2, int valorDedo3, int valorDedo4, int valorDedo5) {
3     for (int indice = 0; indice < sizeof(gestos) / sizeof(gestos[0]); indice++) {
4         if (abs(valorDedo1 - gestos[indice].valorDedo1) < 20 &&
5             abs(valorDedo2 - gestos[indice].valorDedo2) < 20 &&
6             abs(valorDedo3 - gestos[indice].valorDedo3) < 20 &&
7             abs(valorDedo4 - gestos[indice].valorDedo4) < 20 &&
8             abs(valorDedo5 - gestos[indice].valorDedo5) < 20) {
9                 return gestos[indice].identificador;
10            }
11        }
12    return "";
13 }
14
15 // Função para verificar palavras compostas
16 void verificarPalavraComposta(String gestosIdentificados[]) {
17     for (int i = 0; i < sizeof(palavrasCompostas) / sizeof(palavrasCompostas[0]); i++) {
18         if (gestosIdentificados[0] == palavrasCompostas[i].gestosSequencia[0] &&
19             gestosIdentificados[1] == palavrasCompostas[i].gestosSequencia[1]) {
20             Serial.print("Palavra detectada: ");
21             Serial.println(palavrasCompostas[i].palavra);
22             return;
23         }
24     }
25     Serial.println("Nenhuma palavra composta reconhecida.");
26 }

```

A identificação de letras é realizada com base nos valores dos sensores que já foram padronizados e armazenados nas variáveis correspondentes. O código mostrado na figura 11 compara esses valores com limites predefinidos para cada gesto: se a combinação dos valores de Dedo1, Dedo2, Dedo3, Dedo4 e Dedo5 corresponde a um padrão específico, o termo correspondente é detectado e seu som é enviado para o alto-falante. Caso nenhum gesto corresponda aos valores esperados, o sistema retorna um resultado programado. A figura 12 apresenta os primeiros testes realizados no protótipo.

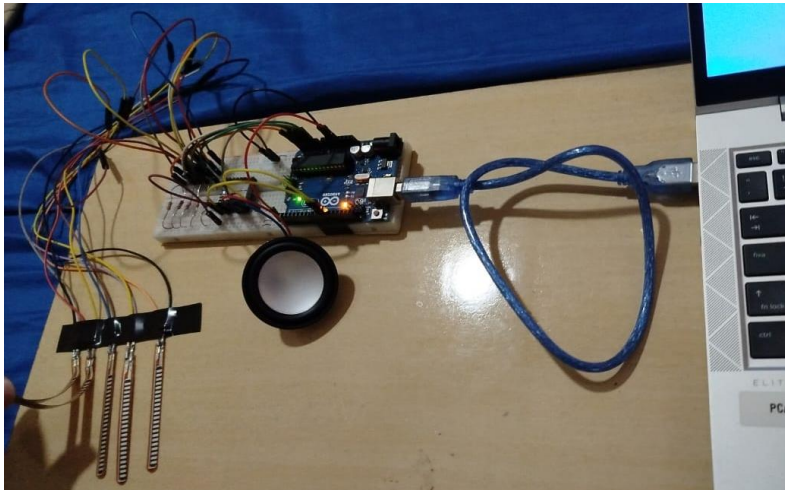
A última etapa de execução da luva é a reprodução do áudio. Para isso, um módulo LDPlayer foi conectado ao Arduino por meio de pinos digitais ou via comunicação serial. O módulo recebe comandos do Arduino, indicando qual arquivo de áudio deve ser acessado e reproduzido. Esses arquivos, armazenados em um cartão SD, foram nomeados para facilitar a correspondência com os gestos reconhecidos, como "A.wav" ou "bom_dia.wav", por exemplo. Posteriormente, o áudio é transmitido para um alto-falante, que emite o som audível da tradução.

Figura 12. Primeiro teste do protótipo



Para garantir a leitura sincronizada dos sensores de flexão com o giroscópio e acelerômetro, foi implementado um sistema de buffer de dados e o uso de timestamps para alinhar as leituras, utilizando bibliotecas que suportam leitura assíncrona. Como esses sensores podem gerar ruídos que afetam a precisão das leituras, foi necessário calibrá-los antes do uso, processo que foi realizado por meio de uma função de calibração no código do Arduino e testes físicos, como demonstrado na figura 13.

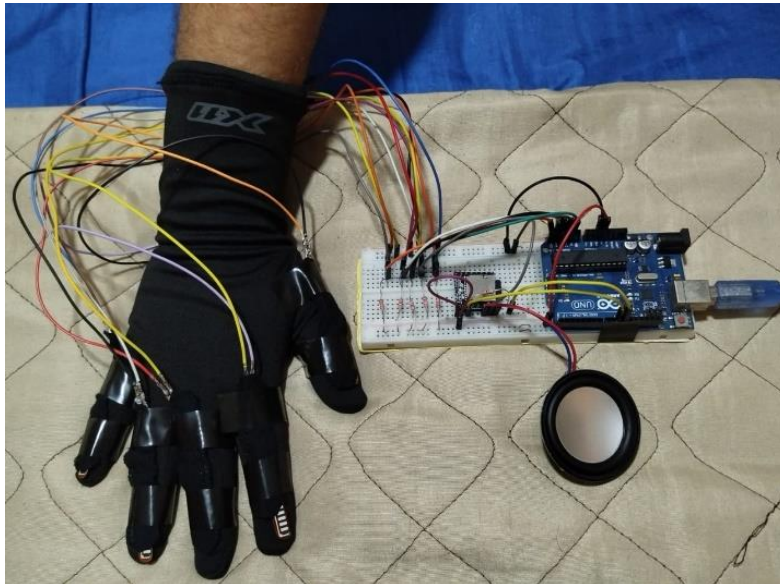
Figura 13. Calibragem no código do Arduino



O reconhecimento dos gestos não envolve apenas a posição dos dedos, mas também os movimentos da mão, como giros e inclinações. Por isso, foi desenvolvida uma lógica que combina as leituras dos sensores de flexão com os dados do giroscópio/acelerômetro para criar um perfil de movimento. No entanto, o Arduino Uno apresentou algumas limitações de memória e processamento, e a realização de múltiplas leituras de sensores e o envio de comandos poderiam sobrecarregar o dispositivo. Dessa forma, o código foi otimizado e modularizado, utilizando funções eficientes para manipulação de dados, minimizando o uso de recursos.

Quanto ao manuseio do módulo LDPlayer, foi cuidadosamente planejado para garantir que o áudio fosse reproduzido rapidamente após a identificação do gesto. Para isso, o mapeamento de gestos e seus arquivos de áudio correspondentes foi pré-carregado em uma tabela de lookup no código do Arduino, possibilitando a emissão de respostas em tempo real. Na figura 14 encontra-se o protótipo concluído da luva tradutora de Libras.

Figura 14. Protótipo da luva concluído



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste projeto apresentou uma solução tecnológica acessível para facilitar a comunicação entre pessoas com deficiência auditiva e ouvintes, por meio da criação de uma luva equipada com sensores que traduz os gestos da Língua Brasileira de Sinais (Libras) em áudio no idioma português. Com a integração de sensores de flexão, giroscópio, acelerômetro e algoritmos, foi possível projetar um protótipo funcional com a capacidade de realizar essa tradução automaticamente.

Os resultados obtidos durante a fase de teste foram promissores, embora algumas limitações técnicas tenham dificultado a identificação de frases compostas. Fatores como variações do ambiente mostraram-se desafiadores, influenciando a precisão dos sensores e, conseqüentemente, a interpretação dos gestos. O uso de ferramentas acessíveis, como o Arduino e o software de simulação Tinkercad, proporcionou um ambiente eficiente para o desenvolvimento do projeto. Ainda assim, as soluções implementadas demonstraram ser capazes de captar e interpretar gestos com precisão dentro das condições controladas de teste.

Este projeto reforça o papel fundamental da tecnologia na promoção da inclusão social, demonstrando como dispositivos acessíveis podem reduzir os obstáculos de comunicação entrados pela comunidade com surdez. Apesar de a Libras ser oficialmente brasileira, sua compreensão entre os ouvintes ainda é limitada, destacando a relevância de iniciativas que promovam acessibilidade de maneira prática e efetiva.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do protótipo, ampliando o número de gestos contemplados, abrangendo mais palavras, frases e expressões da língua portuguesa. É necessário realizar um

estudo aprofundado sobre as condições de temperatura e outros fatores ambientais que possam gerar variações incorretas nos resultados dos sensores, buscando soluções para minimizar tais interferências. Também é recomendada a inclusão de uma interface gráfica, além do áudio, para exibir visualmente o que está sendo reconhecido em tempo real. Desta forma, espera-se que o projeto evolua para uma ferramenta amplamente utilizada, contribuindo significativamente para a inclusão de pessoas com deficiência auditiva na sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZON. MPU6050 GY-521 - Módulo Sensor Acelerômetro e Giroscópio. Amazon Prime 2023. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/MPU6050-GY-521-M%C3%B3dulo-Aceler%C3%B4metro-Girosc%C3%B3pio/dp/BOC9PCXLTZ>>. Acesso em: 7 out. 2024.

Biblioteca Virtual em Saúde (BVSMS). *Mudando mentalidades: Vamos tornar os cuidados auditivos uma realidade para todos!* 03/3 – Dia Mundial da Audição. Audição, [s. l.], 3 mar. 2024. Disponível em: <<https://bvsm.sau.gov.br/mudando-mentalidades-vamos-tornar-os-cuidados-auditivos-uma-realidade-para-todos-03-3-dia-mundial-da-audicao/#:~:text=No%20Brasil%2C%20segundo%20dados%20da,de%20pessoas%20possuem%20defici%C3%ancia%20auditiva>>. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL, Ministério da Saúde. *Alfabeto de Libras e Configuração de Mãos*. [S. l.], 19 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/ines/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes-1/todas-as-publicacoes/alfabeto-manual-e-configuracao-de-maos>> . Acesso em: 21 nov. 2024.

BRASIL, Ministério da Saúde. *BRASIL tem 18,6 milhões de pessoas com deficiência, indica pesquisa divulgada pelo IBGE e MDHC*. Pessoas com deficiência, [s. l.], 7 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-tem-18-6-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-indica-pesquisa-divulgada-pelo-ibge-e-mdhc>>. Acesso em: 23 set. 2024.

CARVALHO, Dariel de. *SOFTWARE EM LÍNGUA PORTUGUESA/LIBRAS COM TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA: ensinando palavras para alunos com surdez*. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Filosofia e Ciências – UNESP, [S. l.], 2011. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/23a03b49-ca9a-4599-9087-48c1cd7feced>> . Acesso em: 25 set. 2024.

EBERMAM, Eivelto; KROHLING, Renato A. *Uma Introdução Compreensiva às Redes Neurais Convolucionais: Um Estudo de Caso para Reconhecimento de Caracteres Alfabéticos*. Redes neurais convolucionais, reconhecimento de caracteres, Vitória - ES, ed. 22, p. 49-59, 2018. Disponível em: <https://www.fsma.edu.br/si/edicao21/FSMA_SI_2018_1_Principal_08.pdf?form=MG0AV3>. Acesso em: 12 out. 2024.

ELETRODEX. *Arduino UNO R3 + Cabo USB*. Eletrodex eletrônica 2021. Disponível em: <<https://www.eletródex.net/placasmódulos/arduino/arduino-uno-r3-cabo-usb>>. Acesso em: 2 out. 2024.

GUIMARÃES, Pedro Túlio Silveira. *Construção de protótipo de uma mão artificial acionada por servomotores e controlada por luva sensorizada*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://www.eng-mecatronica.divinopolis.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/195/2019/12/PedroT%3%balio-Silveira-Guimar%3%a3es.pdf>> . Acesso em: 9 out. 2024.

LAZZAROTTO, Ruani. *SISTEMA DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES DO ALFABETO DA LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia de Computação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14639/3/PB_COENC_2016_1_07.pdf>. Acesso em: 7 out. 2024.

LEACINA, Giovane Santiago; FERREIRA, Matheus Leandro. *Luva para interpretação de Libras com comunicação a um aplicativo educacional*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciência da Computação) - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), [S. l.], 2021. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/8857/1/Giovane%20Santiago%20Leacina.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2024.

LONGARETTI, Dionatas. *IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LUVA MICROCONTROLADA PARA A CAPTURA DE GESTOS*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pampa, [S. l.], 2015. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1529/1/Implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma%20luva%20microcontrolada%20para%20a%20captura%20de%20gestos.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2024.

LORENA, A. C.; de Carvalho, A. C. P. L. F. *Uma Introdução às Support Vector Machines*. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 43–67, 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita_v14_n2_p43-67/3543>. Acesso em: 12 oct. 2024.

RASPBERRY. *Raspberry Pi 3 Modelo B+*. Raspberry Pi 2012. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>>. Acesso em: 1 out. 2024.

SANTOS, Douglas Cristiano. *A UTILIZAÇÃO DO TINKERCAD COMO PROPOSTA METODOLÓGICA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ELETRICIDADE*. 2023. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2023. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31905/3/fisicaeletricidadetinkercadaprendizagem.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2024.

SANTOS, HERDNEY SOUZA DOS *et al.* *LUVA TRADUTORA DA LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia da Computação) - Escola Superior Politécnica do Universitário Internacional Uninter, [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1389/TCC%20ENG%20COMP%20HERDNEY%20SOUZ%A%20DOS%20SANTOS%2c%20LEILA%20FABIOLA%20FERREIRA%2c%20POLIANA%20GON%2c%2087ALVES%20LEITE%20ALVES%2c%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 out. 2024.

SEA, 2017, Ponta Grossa – Paraná. *METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE UM SENSOR DE FLEXÃO [...]*. Ponta Grossa: [s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320191599_METODOLOGIA_DE_CARACTERIZACAO_DE_UM_SENSOR_DE_FLEXAO>. Acesso em: 12 out. 2024.

SILVA, Cássio Moreira. *Sistema de controle de apresentação por meio de Raspberry Pi*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Sistemas de Informação) - Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26247/4/SistemaControleApresenta%2c%20a%20a3o.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2024.

SILVA, João Lucas de S.; CAVALCANTE, Michelle M.; CAMILO, Romério da S.; GALINDO, Adailton L.; VIANA, Esdriane C. *Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35*. In: XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA, 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/305771112_Plataforma_Arduino_integrado_ao_PLX-DAQ_Analise_e_aprimoramento_de_sensores_com_enfase_no_LM35>. Acesso em: 9 out. 2024.

SILVA, Windemberg Costa. *Aplicando a computação física e o arduino para o apoio ao ensino de programação com base na abordagem motivacional ARCS: uma proposta de curso a distância com o uso de simulador*. Monografia (Licenciatura em Computação) - CENTRO DE INFORMÁTICA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, [S. l.], 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15756/1/WCS08022019.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2024.

SPACTRASymbol. *SENSOR SPECTRAFLEX VS FLEX ORIGINAL*. Spactrasymbol, 2021. Disponível em: <<https://www.spectrasymbol.com/resistive-flex-sensors/spectraflex-vs-original-flex-sensor>>. Acesso em: 18 out. 2024.

TORRES, Elisabeth Fátima et al. *Nem toda pessoa cega lê em Braille nem toda pessoa surda se comunica em língua de sinais*. Acessibilidade — Cegueira — Diversidade — Surdez., [s. l.], p. 1-18, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ep/a/DmVQcky9hfRjBHzdYcjmLJw/>>. Acesso em: 23 set. 2024.

X11. *LUVA THERMIC*. X11 Expert Riders 2021. Disponível em: <<https://x11.com.br/produto/luva-thermic/>>. Acesso em: 1 out. 2024.

AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossa mais sincera gratidão, primeiramente a Deus, pela força e inspiração em cada etapa deste trabalho. Agradecemos também à nossa família pelo apoio, compreensão e incentivo, que foram fundamentais para que chegássemos até aqui. Ao professor Clayton Augusto Valdo, cuja orientação foi indispensável para a realização deste trabalho. Seu apoio constante, desde a introdução até a conclusão, sua paciência para esclarecer dúvidas, sua disponibilidade e sua dedicação foram essenciais para alcançarmos os resultados almejados, marcando profundamente nossa trajetória.