

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

GABRIEL MORO CONKE  
HENRIQUE ALBERTO PADILHA MENDES  
ALAN YOSHIO TARA

**DISPLAY DE BRAILLE PORTÁTIL**

OFICINA DE INTEGRAÇÃO 2 – RELATÓRIO FINAL

CURITIBA

2025

GABRIEL MORO CONKE  
HENRIQUE ALBERTO PADILHA MENDES  
ALAN YOSHIO TARA

## **DISPLAY DE BRAILLE PORTÁTIL**

Relatório Final da disciplina Oficina de Integração 2, do curso de Engenharia de Computação, apresentado aos professores que ministram a mesma na Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção da aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. César Manuel Vargas Benítez  
Prof. Dr. Heitor S. Lopes

**CURITIBA**

**2025**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Diagrama em blocos simplificado do projeto. ....	13
FIGURA 2	– Conexão dos pinos com a PCB. ....	14
FIGURA 3	– Conexão das pontes H com a PCB. ....	15
FIGURA 4	– Esquemático da Placa de Circuito Impressa. ....	15
FIGURA 5	– Simulação visual do resultado final com a PCB. ....	16
FIGURA 6	– Diagrama intuitivo do software. ....	16
FIGURA 7	– Página de consulta e configuração da palavra ....	17
FIGURA 8	– Página de consulta e configuração da palavra para dispositivos mobile ...	18
FIGURA 9	– Estados na apresentação da palavra na interface. ....	19
FIGURA 10	– Estados na atualização da palavra pela interface. ....	19
FIGURA 11	– Estados na atualização dos pinos pelo microprocessador. ....	19
FIGURA 12	– Modelagem mecânica inicial. ....	20
FIGURA 13	– Modelagem mecânica final. ....	21
FIGURA 14	– Case projetada e impressa ....	24

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 2	– Tabela com os custos do projeto .....	28
----------	---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	7
1.2	OBJETIVOS	8
1.2.1	Objetivo geral	8
1.2.2	Objetivos específicos	8
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>9</b>
2.1	BRILLE	9
2.2	DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	9
2.3	TECNOLOGIAS UTILIZADAS	9
2.4	SISTEMAS MAGNÉTICOS	10
2.5	ACESSIBILIDADE E IMPACTO SOCIAL	11
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>12</b>
3.1	VISÃO GERAL	12
3.2	PROJETO MECÂNICO	13
3.3	PROJETO DE HARDWARE	13
3.4	PROJETO DE SOFTWARE	16
3.5	INTEGRAÇÃO	19
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS E RESULTADOS</b>	<b>20</b>
4.1	MECÂNICA	20
4.2	ELETRÔNICA	22
4.3	SOFTWARE	22
4.4	INTEGRAÇÃO	23
<b>5</b>	<b>CRONOGRAMA E CUSTOS DO PROJETO</b>	<b>25</b>
5.1	CRONOGRAMA	25
5.2	CUSTOS	27
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>29</b>
6.1	CONCLUSÕES	29
6.2	TRABALHOS FUTUROS	29
	REFERÊNCIAS	31

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

É fato que a tecnologia está em crescente desenvolvimento, desempenhando um papel fundamental no cotidiano das pessoas. Deste modo, o acesso a essa tecnologia e à informação é essencial para promover a inclusão social, de modo a permitir que todos os indivíduos possam participar da sociedade digital.

No entanto, observa-se que a acessibilidade ainda é limitada, especialmente para pessoas com deficiência visual (ESTABEL et al., 2006). Para enfrentar esse desafio, várias empresas começaram a desenvolver dispositivos que convertem textos digitais em braille. Esses dispositivos funcionam transformando textos exibidos em telas para braille, permitindo que pessoas cegas ou com baixa visão possam acessar o conteúdo de forma tátil.

Contudo, o alto custo de produção e a tecnologia sofisticada envolvida são fatores que restringem a utilização em massa dos displays, especialmente ao considerar países de baixa renda. Assim, sem soluções baratas, muitos indivíduos dependem exclusivamente de leitores de tela, esses que não conseguem oferecer a mesma profundidade de leitura e aprendizado que o braille proporciona (DIAS; VIEIRA, 2024). O braille é fundamental não só para a alfabetização, mas também para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e para a independência de pessoas cegas.

Nesse contexto, a criação de um display de braille de baixo custo surge como uma solução necessária para promover a inclusão digital. Com a redução de custos, é possível tornar o dispositivo mais acessível e democratizar o acesso à informação. Assim, é possível ampliar o uso do braille em diversas áreas, proporcionando maior autonomia e oportunidades.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema microcontrolado de baixo custo capaz de receber mensagens de um servidor, traduzir o conteúdo para o formato Braille e exibi-lo de forma dinâmica em displays modulares, proporcionando acessibilidade e inovação.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos envolvem:

1. Implementar a funcionalidade de conexão do dispositivo a um servidor para receber atualizações regulares de conteúdo.
2. Garantir que o display permaneça estável, sem alterações acidentais devido ao toque.
3. Garantir que o texto exibido no display seja atualizado de acordo com as informações mais recentes recebidas do servidor.
4. Selecionar componentes que minimizem os custos de produção.
5. Garantir que os displays sejam modulares e escaláveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 BRAILLE

O sistema Braille foi desenvolvido por Louis Braille no século XIX e explicado de forma detalhada em (BRAILLE, 1829), sendo amplamente utilizado por pessoas com deficiência visual para leitura e escrita. Ele consiste em uma matriz de seis pontos dispostos em duas colunas de três linhas, permitindo a formação de 64 combinações distintas que representam letras, números e símbolos. O Braille tem papel fundamental na alfabetização e na inclusão social, pois possibilita que pessoas cegas acessem informações de forma independente, além de possibilitar uma profundidade de leitura e aprendizado.(ESTABEL et al., 2006)

### 2.2 DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Com o avanço da tecnologia, diversos dispositivos foram desenvolvidos para facilitar o acesso à informação para pessoas com deficiência visual. Entre esses dispositivos, destacam-se os displays Braille dinâmicos, que utilizam pinos mecânicos para representar caracteres em Braille e permitir a leitura tátil, como a linha Brailiant BI (HUMANWARE, 2025), por exemplo. No entanto, a maioria dessas soluções apresenta alto custo e disponibilidade limitada, o que dificulta seu acesso em países em desenvolvimento.

### 2.3 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento do display Braille portátil proposto neste trabalho, foram utilizadas diversas tecnologias:

Microcontroladores ESP-32: desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa chinesa fundada em 2008. Esse microcontrolador se destaca pelo suporte a Wi-Fi e Bluetooth, baixo consumo de energia e alta capacidade de processamento, tornando-se ideal para dispositivos IoT e programação de baixo nível. (SYSTEMS, 2025)



Desenvolvimento de PCBs (Placas de Circuito Impresso): As PCBs (Printed Circuit Boards) foram inventadas por Paul Eisler, um engenheiro austríaco, em 1936. Elas permitem a integração dos componentes eletrônicos de maneira eficiente, reduzindo o tamanho do sistema.

Nest.js: Para garantir a comunicação entre o servidor e o dispositivo Braille, foi utilizado o framework Nest.js, criado por Kamil Myśliwiec. Ele é baseado no Node.js e no framework para aplicações web Express e fornece uma estrutura modular e escalável para desenvolvimento de aplicações back-end. Além disso, o banco de dados utilizado é o PostgreSQL, desenvolvido inicialmente por Michael Stonebraker, na década de 1980.

AWS: Para a hospedagem da API que é acessada pela interface e o microprocessador, foi utilizado um servidor em nuvem EC2 instanciado na AWS, que oferece serviços de computação em nuvem confiáveis, escaláveis e acessíveis. (AWS, 2025)

Nginx: Assim como a API, o site para a atualização da palavra do dispositivo também foi hospedado na mesma instância EC2 da AWS. O redirecionamento de rotas é feito pelo proxy reverso do Nginx.

## 2.4 SISTEMAS MAGNÉTICOS

Os eletroímãs são dispositivos que utilizam corrente elétrica para gerar um campo magnético temporário. Ao contrário de ímãs permanentes, que possuem magnetismo constante, os eletroímãs podem ser ativados e desativados conforme a necessidade, tornando-os ideais para aplicações em controle de movimento, como no Display de Braille Portátil deste projeto.

Os eletroímãs operam com base na Lei de Ampère, que estabelece que um campo magnético é gerado ao redor de um condutor quando uma corrente elétrica passa por ele. Esse campo pode ser intensificado ao enrolar o fio condutor em forma de espiral, criando uma bobina. (LIMA, 2012)

No projeto do Display de Braille Portátil, os eletroímãs desempenham um papel crucial na movimentação dos pinos, permitindo que o dispositivo exiba caracteres em Braille. O funcionamento ocorre da seguinte forma:

- Cada pino do display é posicionado dentro de um eletroímã: Quando ativado, o eletroímã altera o estado do pino, levantando-o ou abaixando-o.
- O sistema mantém os pinos em duas posições estáveis: Isso é possível graças ao uso de ímãs permanentes e retenção magnética, evitando consumo excessivo de energia.

- Controle preciso por meio de circuitos eletrônicos: A corrente elétrica que passa pelos eletroímãs é gerenciada por uma ponte H, que permite inverter a polaridade e alterar a posição do pino.

O grande diferencial dessa abordagem é que, uma vez que o pino atinge sua posição final, não há necessidade de manter o eletroímã energizado. Isso reduz o consumo de energia e evita superaquecimento, tornando o sistema mais eficiente.

## 2.5 ACESSIBILIDADE E IMPACTO SOCIAL

A acessibilidade digital é um direito fundamental, assegurado por diversas legislações ao redor do mundo. No Brasil, o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) estabelece diretrizes para garantir inclusão social e autonomia para pessoas com deficiência. Dessa forma, a criação de um display Braille de baixo custo contribui para a democratização do acesso à informação e para a redução da desigualdade digital. (BRASIL, 2015)

### 3 METODOLOGIA

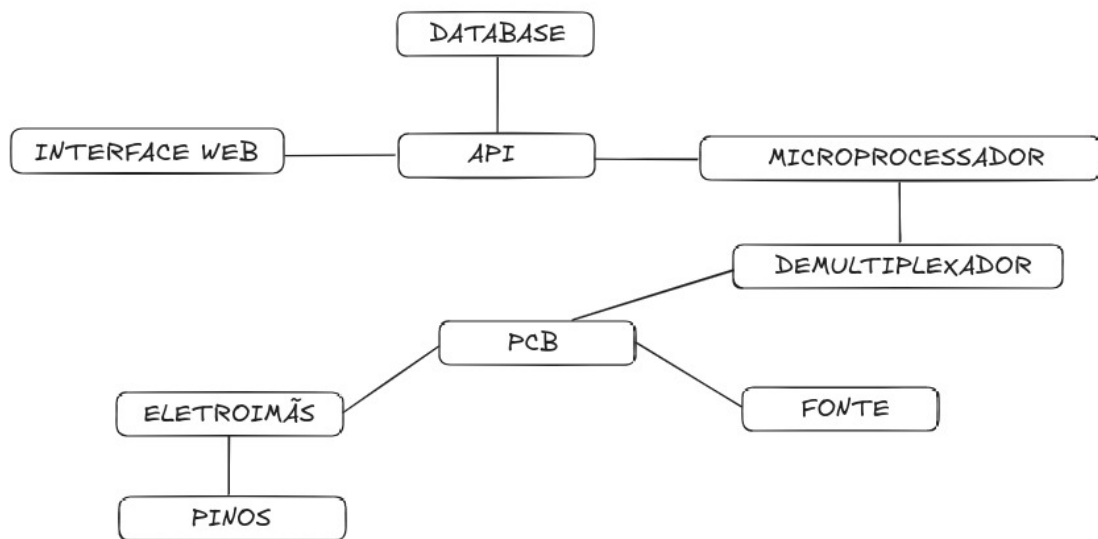
#### 3.1 VISÃO GERAL

Seguindo o fluxo de execução, o usuário terá acesso à uma aplicação web, onde poderá inserir um texto, que será salvo em um servidor externo. Em intervalos pequenos, a aplicação controladora dos displays fará requisições para esse servidor a fim de verificar alterações no conteúdo a ser mostrado.

Caso existam alterações a serem feitas, a aplicação fará a tradução da informação recebida para braille, controlando os pinos do display para subirem ou descerem.

Para a movimentação dos pinos, será utilizado um sistema com eletroímãs, que posicionam os pinos em duas alturas estáveis. Desta forma, suas posições irão alternar de acordo com a orientação da corrente elétrica que passa em cada um dos eletroímãs, isto é, em uma orientação levantam e em outra abaixam, se mantendo nessas posições após o desligamento da corrente para que o sistema não superaqueça.

O diagrama de blocos do sistema pode ser visto logo abaixo.



**Figura 1: Diagrama em blocos simplificado do projeto.**

### 3.2 PROJETO MECÂNICO

Com relação a parte mecânica do projeto, cada pino apresenta dois ímãs posicionados dentro de um módulo magnético, para criar um sistema de retenção magnética. Esse sistema permite que o pino se mova entre duas posições estáveis: uma superior (ativa) e uma inferior (inativa).

Quando o módulo magnético recebe um impulso eletromagnético externo, os ímãs são atraídos por uma porca metálica localizada na posição correspondente, garantindo que o pino permaneça fixo sem a necessidade de consumo contínuo de energia.

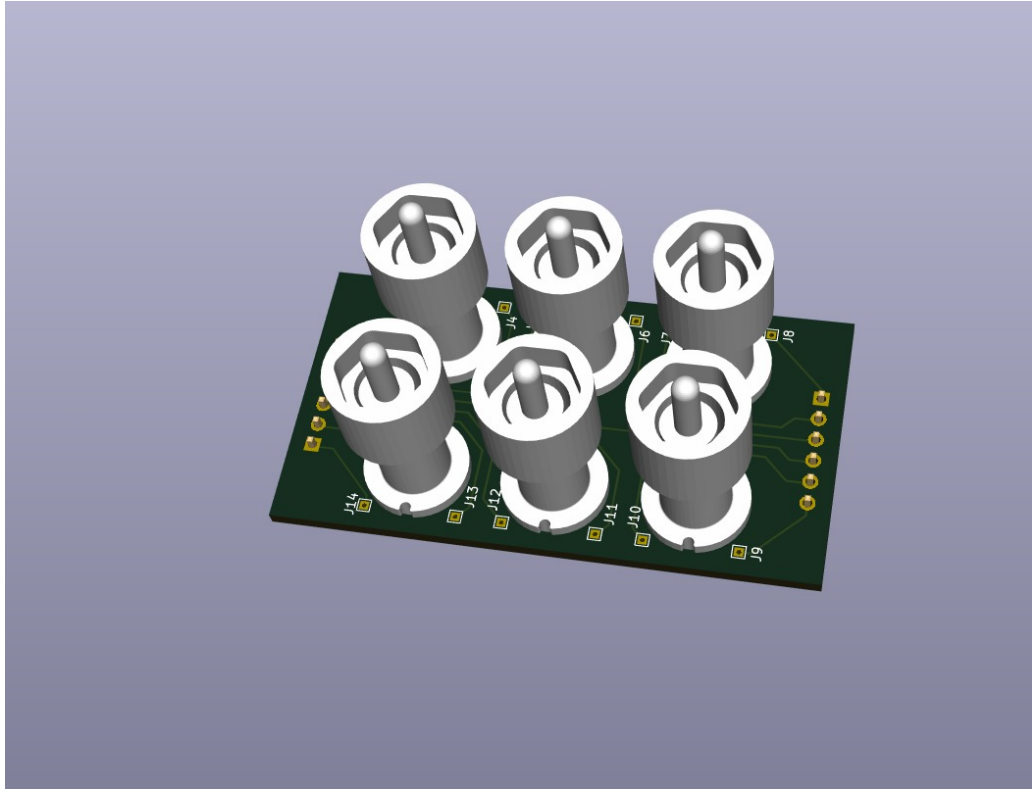
Essa alternância de posições é obtida de maneira precisa e eficiente graças ao design do módulo. Para assegurar a compatibilidade com a realidade prática e a produção em escala, as partes do módulo foram fabricadas por impressão 3D utilizando resina, um material que oferece alta precisão para atender aos requisitos técnicos do projeto.

### 3.3 PROJETO DE HARDWARE

A parte eletrônica do projeto é baseada em uma placa de circuito impresso (PCB) personalizada, desenvolvida para integrar a parte mecânica, os componentes eletrônicos essenciais e o software responsável pelo controle do sistema.

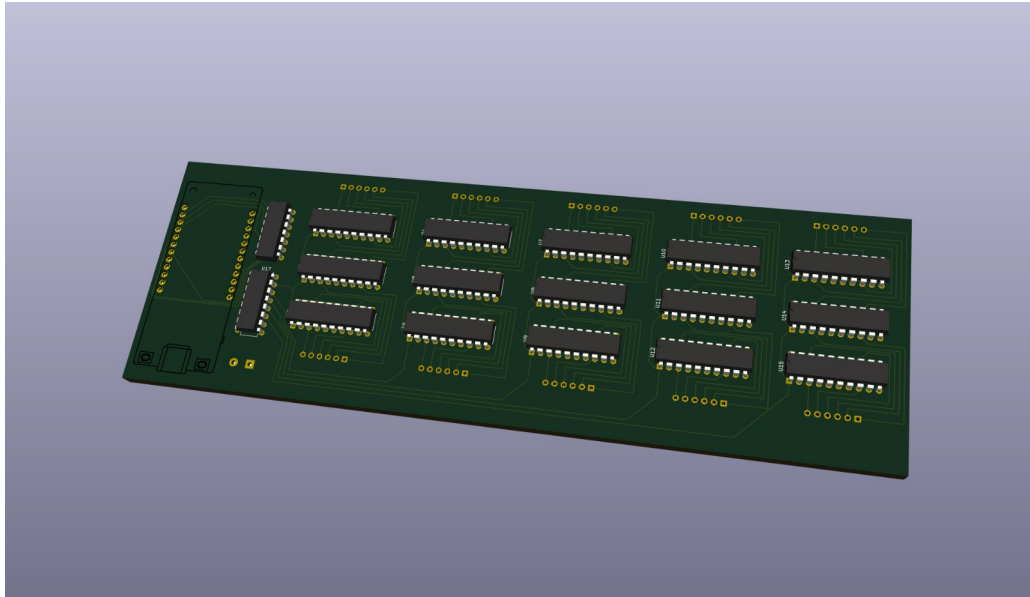
Cada eletroímã será conectado à PCB por meio das extremidades de um fio de cobre,

que, por sua vez, estará ligado a trilhas condutoras na placa. Essas trilhas direcionam a corrente até um conjunto de pontes H, componentes responsáveis pelo controle do fluxo de corrente elétrica.



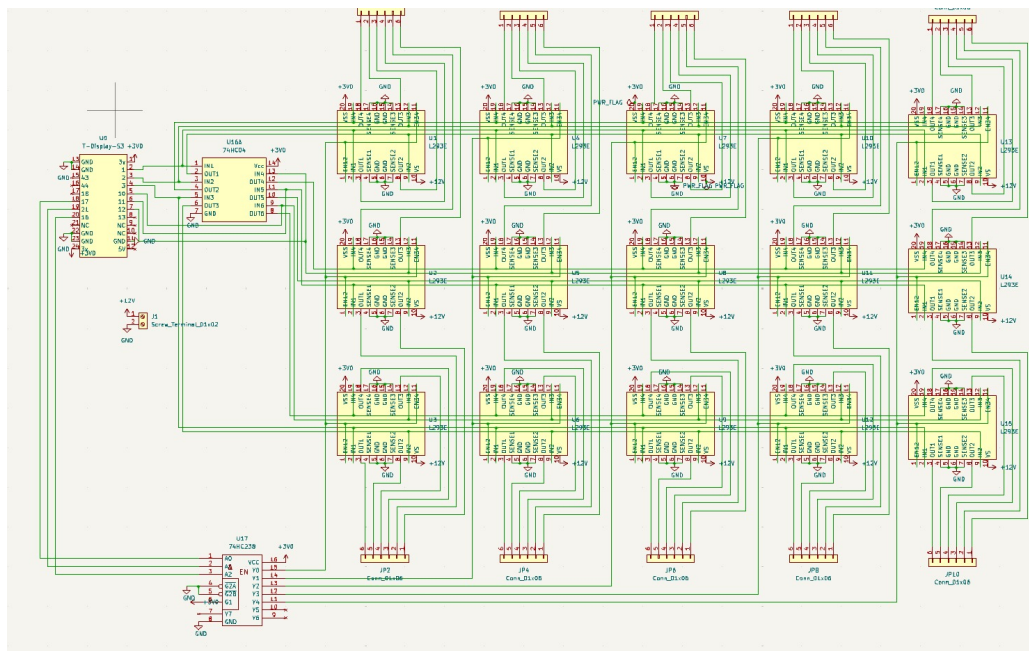
**Figura 2: Conexão dos pinos com a PCB.**

Cada caractere do sistema será mapeado para um conjunto específico de pontes H. Essas pontes têm a função de alternar a direção da corrente em seus terminais, conforme o sinal recebido. Essa inversão de polaridade determina o comportamento dos eletroímãs, ou seja, se os pinos serão levantados ou abaixados, formando os caracteres desejados.

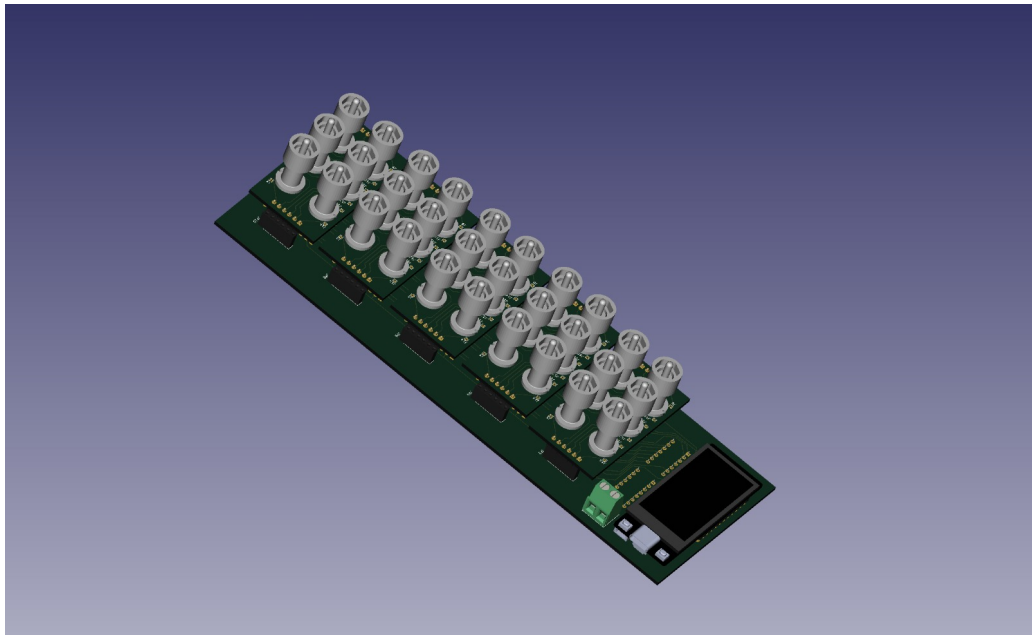


**Figura 3: Conexão das pontes H com a PCB.**

O controle desse processo será realizado por uma ESP-32 integrado à PCB, que atuará como a unidade central de processamento. Ele receberá as configurações da mensagem diretamente do servidor, interpretando os dados e ajustando dinamicamente a ativação dos eletroímãs conforme necessário. Ademais, um esquemático da placa de circuito impressa pode ser vista logo abaixo, assim como seu visual esperado.



**Figura 4: Esquemático da Placa de Circuito Impressa.**



**Figura 5: Simulação visual do resultado final com a PCB.**

### 3.4 PROJETO DE SOFTWARE

O software do projeto foi desenvolvido para oferecer uma interface intuitiva e interativa, permitindo que o usuário insira uma palavra de até cinco caracteres. Ao submeter a palavra desejada, uma API dedicada processará a solicitação e atualizará o banco de dados com a nova palavra.

Periodicamente, um microprocessador conectado à PCB fará requisições à API para obter a palavra mais recente armazenada. Com base nessa informação, o sistema ajustará automaticamente os pinos da PCB, garantindo que os componentes eletromagnéticos sejam reconfigurados conforme necessário. Uma representação de todo o escopo do sistema pode ser vista logo abaixo.



**Figura 6: Diagrama intuitivo do software.**

Para o desenvolvimento da API, foi utilizado o framework Nest.js que se conecta com um banco de dados PostgreSQL. Para a API desenvolvida, existem apenas duas rotas presentes:

1. GET /string.
2. PUT /string.

Desta forma, a rota PUT é utilizada para atualizar o valor da palavra atual no banco de dados, enquanto a rota GET para buscar o valor. Ademais, a interface para o usuário poder inserir e alterar a palavra do display pode ser vista a seguir.

The screenshot displays the RBDS application interface. At the top, a dark blue header contains the RBDS logo on the left and a 'Contatos' link with Brazilian and US flags on the right. The main content area has a light gray background. At the top of this area is a word input field containing the text 'fogo!' with a 'Submit' button below it. Below this is a horizontal line, followed by the heading 'Contatos'. Under the heading is a paragraph: 'Entre em contato com a gente! Se tiver perguntas/dúvidas ou quiser mais alguma informação, sinta-se livre para entrar em contato.' Below this is a table with three columns, each containing a name and an email address. At the bottom of the main content area is a dark blue footer with the text '© 2024 RBDS. All rights reserved.'

Nome	Email
Alan Y. Tara	alantara@alunos.utfpr.edu.br
Gabriel M. Conke	gabrielconke@alunos.utfpr.edu.br
Henrique A. P. Mendes	hmendes@alunos.utfpr.edu.br

**Figura 7: Página de consulta e configuração da palavra**



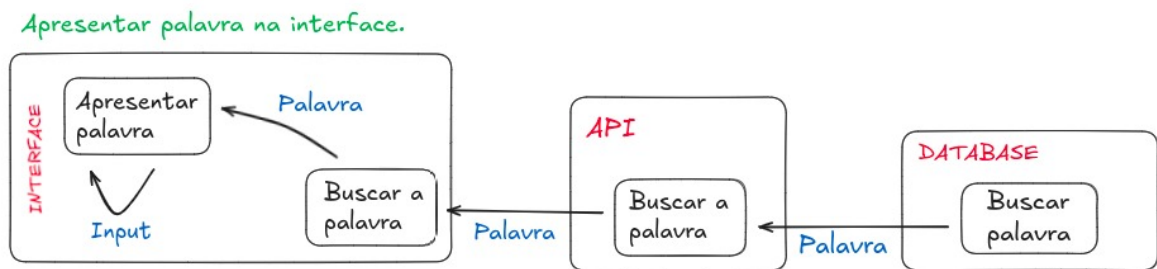


The image shows a mobile application interface for 'RBDS Contatos'. At the top, there is a dark blue header with the 'RBDS' logo on the left and the word 'Contatos' followed by Brazilian and US flags on the right. Below the header is a light gray box containing a text input field with the word 'fogo' and a dark blue 'Submit' button. Below this box is a large section with the title 'Contatos' in bold. Under the title is a paragraph of text: 'Entre em contato com a gente! Se tiver perguntas/dúvidas ou quiser mais alguma informação, sinta se livre para entrar em contato.' Below the text is a light gray box containing three contact entries, each with a name, an email address, and a horizontal line separating them: Alan Y. Tara (alantara@alunos.utfpr.edu.br), Gabriel M. Conke (gabrielconke@alunos.utfpr.edu.br), and Henrique A. P. Mendes (hmendes@alunos.utfpr.edu.br).

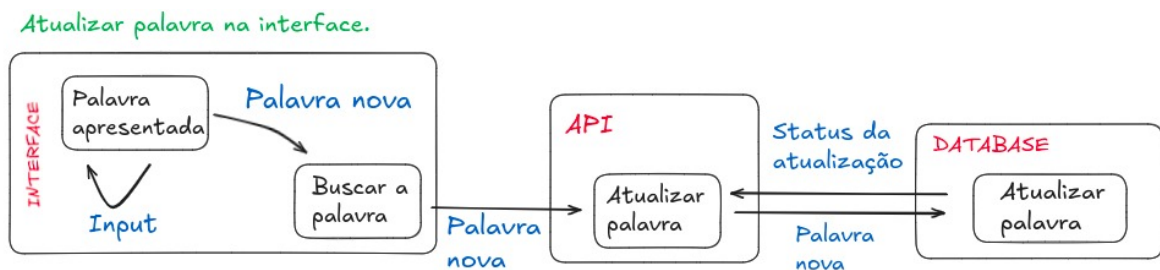
**Figura 8: Página de consulta e configuração da palavra para dispositivos mobile**

Com relação ao microprocessador, periodicamente realizamos a consulta da palavra configurada a utilizando API e então atualizamos a informação nos pinos. A atualização itera caractere por caractere, traduz os caracteres para braille e configura os pinos de saída para movimentar os pinos.

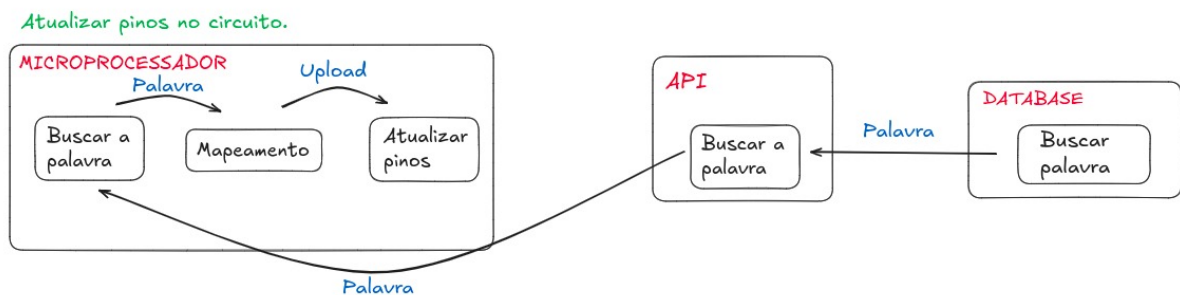
Desta forma, os fluxos que o usuário pode seguir, assim como os repectivos diagramas de estado podem ser vistos a seguir



**Figura 9: Estados na apresentação da palavra na interface.**



**Figura 10: Estados na atualização da palavra pela interface.**



**Figura 11: Estados na atualização dos pinos pelo microprocessador.**

### 3.5 INTEGRAÇÃO

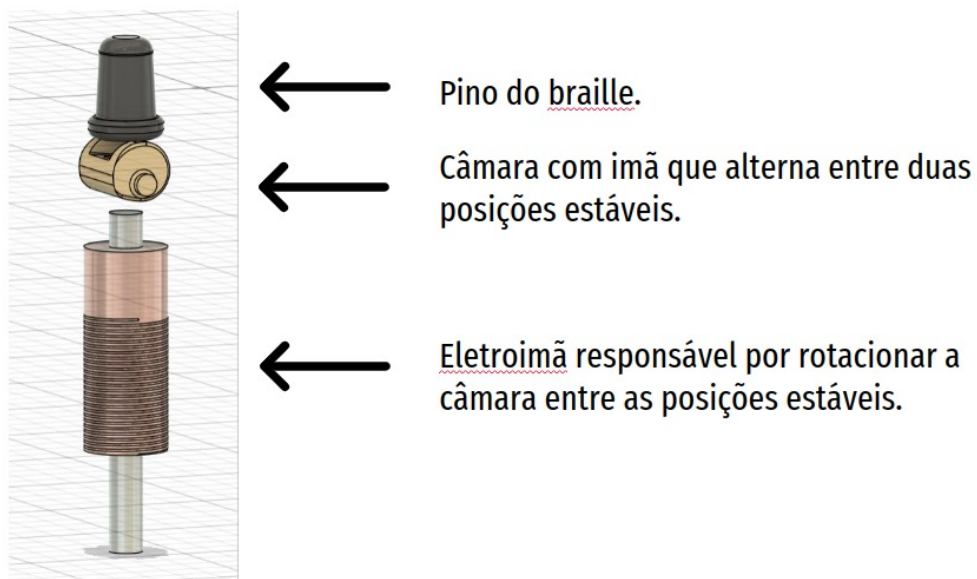
A integração do sistema eletrônico foi realizada por meio de uma PCB customizada, permitindo a conexão dos pinos e eletroímãs com o circuito eletrônico de forma eficiente. Além disso, a comunicação entre a PCB e o software foi projetada para ocorrer por meio de uma ESP-32, que se conecta à uma API para obter a palavra a ser exibida. Essa mesma API também é acessada por uma interface do usuário, conforme descrito anteriormente.

## 4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

### 4.1 MECÂNICA

Inicialmente, o foco do projeto foi direcionado para a parte mecânica, pois essa etapa apresentava maior potencial de falhas, especialmente por envolver o uso de ímãs.

O conceito inicial consistia na criação de pinos acoplados a um sistema rotativo com ímãs embutidos. A rotação desse sistema alternaria os ímãs entre duas posições instáveis, evitando o superaquecimento do circuito eletrônico. Para isso, eletroímãs posicionados abaixo do mecanismo seriam responsáveis por controlar essa rotação entre as posições estáveis.

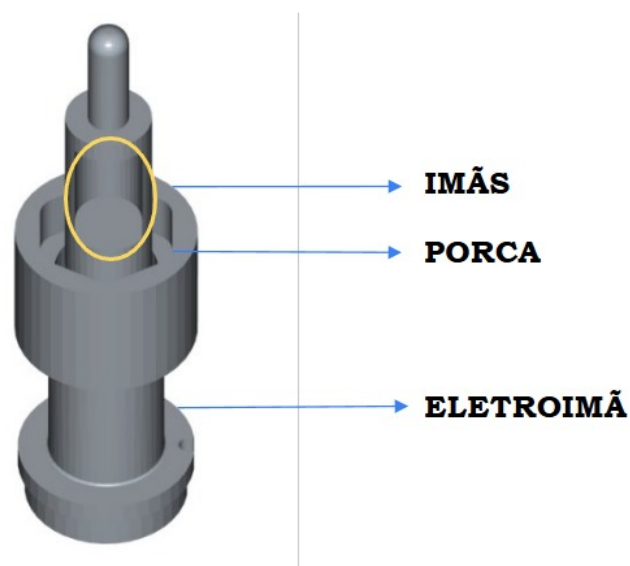


**Figura 12: Modelagem mecânica inicial.**

Após definir esse conceito, os componentes foram impressos em PLA. No entanto, durante os testes, percebeu-se que havia um alto nível de atrito na rotação do mecanismo, o que demandava um eletroímã mais potente. Para solucionar esse problema, foi reduzida a espessura do fio de cobre do eletroímã, permitindo o aumento do número de voltas ao redor de um prego e, conseqüentemente, ampliando o campo magnético. No entanto, essa alteração não trouxe

melhorias significativas para a rotação do pino, além de ser complicado o manuseio de um fio de cobre de espessura tão baixa (AWG 44).

Diante dessa limitação, o projeto foi remodelado. A versão final passou a utilizar um pino com ímãs inserido em um módulo contendo duas porcas embutidas – uma na parte superior e outra na parte inferior. O eletroímã passou a ser responsável por alternar a conexão do ímã do pino entre a porca inferior e a superior, mantendo-o entre duas posições estáveis.



**Figura 13: Modelagem mecânica final.**

Após os testes, verificou-se que esse sistema funcionava corretamente ao utilizar ímãs de neodímio de 4 mm x 4 mm, combinados com uma porca M5 na parte superior e uma porca M4 na parte inferior. No entanto, ao posicionar múltiplos pinos lado a lado, observou-se que a movimentação de um pino influenciava o comportamento dos adjacentes.

Para solucionar essa interferência, foram analisadas duas possíveis abordagens:

1. Inserir um material entre os eletroímãs para reduzir a interferência magnética.
2. Diminuir o tamanho dos ímãs, reduzindo sua força de atração.

Após diversos testes com ímãs de diferentes dimensões, concluiu-se que os ímãs de 4 mm x 2 mm eram os mais adequados. Embora diminuíssem ligeiramente a estabilidade do pino quando levantado, essa configuração minimizava a interferência entre os pinos adjacentes, tornando o sistema mais eficiente. Assim, essa foi a configuração final que funcionou no projeto.

## 4.2 ELETRÔNICA

Desta forma, por se tratar de um projeto que o tamanho era importante, isto é, deveria ser desenvolvido numa escala ideal para a utilização por deficientes visuais, foi decidido pelo desenvolvimento de uma PCB própria por meio do software Kicad, de modo que a mesma fosse capaz de atender o tamanho adequado. A PCB modelada pode ser melhor observada na seção 3.3.

Com relação à eletrônica, em primeiro momento, foi necessário encontrar uma forma de poder controlar todos os 36 eletroímãs com uma quantidade limitada de pinos da ESP-32 utilizada. Para isso, foram aplicadas duas estratégias:

1. Atualizar um caractere por vez, de forma incremental. Isso foi feito utilizando um circuito integrado decoder 74HC238, em que cada bit de saída identifica qual caractere está sendo atualizado. Para controlar as atualizações, as saídas do 74HC238 são conectadas às portas ENABLE das pontes H.
2. Controlar as duas entradas de cada ponte H com apenas 1 saída da ESP32. Isso foi feito utilizando o ci 74HC04, um circuito integrado de portas lógicas NOT. Uma vez que pontes H precisam que suas duas entradas tenham nível lógico oposto para permitir a passagem de corrente, automatizamos esse processo com o ci, uma vez que, quando não queremos passagem de corrente, apenas utilizamos o decoder para travar a ponte H pela porta ENABLE.

Com isso, precisamos de apenas 9 saídas digitais para controlar todo o sistema.

## 4.3 SOFTWARE

Partindo-se para o software, em primeiro momento foi feito o desenvolvimento de forma independente da api, interface e microprocessador. Desta forma, a API foi feita sem maiores problemas por meio do framework Nest.js e uma conexão com um banco de dados Postgres. Com relação a interface que usuário terá acesso, ela foi feita utilizando HTML, CSS e Javascript básicos.

Com relação a microprocessador, utilizamos C++ para gerenciar a consulta periódica da API, o mapeamento de palavras para braille e a manipulação dos pinos/eletroímãs.

Desta forma, após todas as partes do software desenvolvidas, foi criado um servidor por meio do serviço EC2 da AWS, esse que ficou responsável por hospedar a API e o site de

configuração de palavra, de forma que ela ficasse pública e pudesse ser acessada tanto pela interface do usuário quanto pelo microprocessador.

Vale ressaltar que antes da hospedagem em nuvem, foi feita a tentativa de uma hospedagem local, utilizando um domínio próprio nosso para disponibilizar as páginas e a API. No entanto, tivemos dificuldades com permissões de forwarding com nosso provedor de internet, que não disponibilizava uma maneira simples de abrir portas para comunicação TCP.

#### 4.4 INTEGRAÇÃO

Com relação ao hardware, inicialmente houve uma dificuldade na conexão do módulo de um caractere completo com a PCB, isto porque o módulo desintegrado funcionava perfeitamente, no entanto ao colocar na PCB com a ESP, apenas alguns pinos funcionavam da forma ideal.

Com isso, foram feitos diversos testes até perceber que a diferença de tensão que estava chegando nos eletroímãs não era a mesma que a projetada, fazendo com que muitos deles não gerassem um campo magnético inferior ao necessário para abaixar/levantar os imãs. Desta forma, foi aumentada a tensão até o ponto com que os pinos funcionassem perfeitamente.

O motivo para essa queda de tensão, muito provavelmente, foi que a corrente necessária era próxima de 60% da capacidade da fonte. Ao substituímos essa fonte por uma que suportasse mais corrente, a queda de tensão não apareceu mais.

Com relação a integração do software com a PCB, a partir do momento em que todas as configurações do software foram finalizadas, não houve maiores dificuldades.

Por fim, também foi desenvolvida uma case em impressão 3D para um melhor visual do projeto para a apresentação, a imagem do projeto final pode ser vista logo abaixo.



**Figura 14: Case projetada e impressa**

## 5 CRONOGRAMA E CUSTOS DO PROJETO

### 5.1 CRONOGRAMA

Com relação ao cronograma proposto para o desenvolvimento do projeto, o mesmo pode ser visualizado logo abaixo.

Tarefa	Descrição	Estimativa	Data	Status
<b>01 - PLANO DE PROJETO</b>				
Determinação do projeto	Pesquisar sobre ideias de projetos e escolher uma para realização.	6 horas	23/out	OK
Determinação dos requisitos	Determinar os requisitos, objetivos funcionais e não funcionais.	1 hora	23/out	OK
Criação do blog	Criar um blog que irá relatar todas as informações do projeto.	2 horas	23/out	OK
Determinação dos materiais	Buscar materiais do projeto.	2 horas	30/out	OK
Planejamento	Planilha dividindo o projeto em atividades e prazos.	2 horas	30/out	OK
Plano de projeto	Documento que apresentará o projeto e principais características.	3 horas	30/out	OK
Apresentação do plano	Selecionar slides para apresentação sobre o projeto.	1 hora	30/out	OK
<b>02 - BLOG DE ACOMPANHAMENTO</b>				
Apresentação	Criação de seção que irá fazer uma introdução ao projeto.	1 hora	08/nov	OK
Mecânica	Criação de seção que irá explicar sobre o design mecânico.	3 horas	04/dez	OK
Eletrônica	Desenvolvimento da seção sobre eletrônica.	3 horas	18/dez	OK



Software	Desenvolvimento da seção acerca do software.	5 horas	04/jan	OK
Resultados	Criação da seção sobre resultados obtidos.	5 horas	12/fev	OK
<b>03 - ESTRUTURA MECÂNICA</b>				
Construção dos eletroímãs	Compra dos materiais e construção dos eletroímãs.	13 horas	13/nov	OK
Modelagem da estrutura.	Modelagem 3D por meio do Fusion 360 da estrutura na qual o braille será apresentado.	3 horas	29/nov	OK
Impressão da estrutura	Configurações da impressora e ajustes para impressão 3D da estrutura modelada.	5 horas	03/dez	OK
Testes de escala	Verificar se a escala dos componentes impressos estão em conformidade.	5 horas	14/dez	OK
Testes de conectividade	Testar se a corrente influencia os eletroímãs.	3 horas	14/dez	OK
Testes de movimentação	Testar se o campo magnético tem força para movimentar os pinos.	3 horas	14/dez	OK
Testes de estabilidade	Testar se os pinos são capazes de manter suas posições estáveis.	3 horas	14/dez	OK
Escalabilidade	Construção de todos os displays e integração entre eles.	13 horas	16/dez	OK
<b>04 - ELETRÔNICA</b>				
Modelagem do circuito	Modelagem e planejamento do circuito eletrônico utilizado.	21 horas	11/dez	OK
Compra dos componentes	Estudo e compra dos componentes que serão utilizados.	2 horas	20/dez	OK
PCB	Modelagem da PCB no KICAD.	5 horas	20/dez	OK
Criação da PCB	Encontrar loja para impressão.	3 horas	20/dez	OK
Montagem da PCB	Soldagem dos componentes eletrônicos com a PCB.	5 horas	05/fev	OK
Integração	Integração da parte eletrônica com a parte mecânica.	3 horas	05/fev	OK

<b>05 - SOFTWARE</b>				
Conexão do microcontrolador	Codificação de entradas e saídas para conexão da ESP com PCB.	5 horas	05/fev	OK
Mapeamento caractere - pinos	Mapeamento do caractere com os pinos que serão alterados	13 horas	05/fev	OK
Desenvolvimento da API	Desenvolvimento do servidor para o qual serão feitas as requisições.	3 horas	12/fev	OK
Conexão da ESP com API	Conexão para buscar palavra.	5 horas	12/fev	OK
Integração	Integração do software com partes já desenvolvidas.	3 horas	12/fev	OK
Testes	Teste do sistema para apresentação.	5 horas	12/fev	OK

## 5.2 CUSTOS

A tabela a seguir apresenta os elementos utilizados para o projeto, assim como o custo de cada. Vale ressaltar que por ser necessária a remodelagem do projeto durante seu desenvolvimento, alguns custos adicionais ocorreram.

Item	Valor	Modelagem	Utilizado no projeto final
Fio AWG 44	R\$ 75,27	1	Não
Fio AWG 38	R\$ 65,57	1	Não
LM2596S Step-down	R\$ 47,29	1 e 2	Sim
Fonte 12V 2A + 1 L293E	R\$ 29,34	1 e 2	Não
Fonte universal 12V - 24V 5A	R\$ 73,90	1 e 2	Sim
PCB	R\$ 1.067,72	2	Sim
Imãs Neodímio (testes)	R\$ 73,16	2	Não
Imãs Neodímio	R\$ 30,00	2	Sim
Porcas	R\$ 12,00	2	Sim
Fios AWG 24 e AWG 26 (testes)	R\$ 4,60	1	Não
74HC04	R\$ 4,60	2	Sim
Impressão em resina	R\$ 273,1	2	Sim
L293E	R\$ 170,21	2	Sim
74HC238	R\$ 2,48	2	Sim
Terminal block	R\$ 1,94	2	Sim
Conectores	R\$ 11,38	2	Sim

**Tabela 2: Tabela com os custos do projeto**

Vale ressaltar que o valor dos componentes utilizados no projeto final, apesar de alto considerando que um dos objetivos era o baixo custo, se da principalmente no valor da PCB, sendo que dos 1.067,72 reais, 544,4 reais foram de impostos de importação, tendo em vista que as placas foram fabricadas na China.

Ademais, os componentes em resina foram feitos em dois pedidos diferentes, tendo em vista que inicialmente seriam feitos testes com as impressões, o que acabou por aumentar o valor final. Vale ressaltar a presença de uma ESP-32 que já existia no inventários dos participantes.

No total, foram gastos 1797,12 reais no projeto (1253,12 + 544 de importação), aproximadamente 359 reais por caractere.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do Display de Braille Portátil demonstrou a viabilidade da criação de um dispositivo acessível para pessoas com deficiência visual. Durante o projeto, desafios mecânicos, eletrônicos e de software foram superados para garantir um funcionamento estável e eficiente. A implementação de um sistema baseado em eletroímãs permitiu uma solução de baixo consumo energético, mantendo os pinos do display em posições estáveis sem a necessidade de alimentação contínua. Além disso, a integração entre hardware e software foi bem-sucedida, proporcionando uma interface intuitiva para o usuário.

Embora algumas limitações tenham sido identificadas, como os custos da fabricação da PCB e desafios na interferência magnética entre os pinos, o protótipo final atingiu os objetivos propostos. O projeto reforça a importância da acessibilidade tecnológica e destaca o potencial de futuras melhorias para tornar essa solução ainda mais acessível e funcional.

### 6.2 TRABALHOS FUTUROS

Para aprimorar o dispositivo e torná-lo mais viável comercialmente, algumas melhorias e estudos adicionais são sugeridos:

- Redução de custos: Exploração de alternativas para a fabricação da PCB e impressão 3D para minimizar os custos de produção.
- Miniaturização e otimização: Redesenho da estrutura para torná-la mais compacta e ergonômica para os usuários.
- Aprimoramento dos eletroímãs: Desenvolvimento de novos testes para reduzir a interferência magnética entre os pinos adjacentes.
- Expansão do sistema: Aumento do número de caracteres exibidos para permitir a leitura de frases completas.

- Testes com usuários finais: Realização de testes com deficientes visuais para avaliar a usabilidade e coletar feedback para futuras iterações.

Com essas melhorias, o Display de Braille Portátil poderá se tornar uma solução mais acessível e eficiente, promovendo maior inclusão digital e social para pessoas com deficiência visual.

## REFERÊNCIAS

AWS. **Sobre a AWS**. 2025. Acesso em: 17 fev. 2025. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is-aws/>>.

BRAILLE, L. **Procédé pour écrire les paroles, la musique et le plain-chant au moyen de points, à l'usage des aveugles et disposés pour eux**. Paris: Imprimerie de l'Institution Royale des Jeunes Aveugles, 1829.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 2015. Acesso em: 22 fev. 2025. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm)>.

DIAS, E. M.; VIEIRA, F. B. de A. O processo de aprendizagem de pessoas cegas: um novo olhar para as estratégias utilizadas na leitura e escrita. **Revista Educação Especial**, v. 30, n. 57, p. 175–188, 2024. Acesso em: 22/10/2024.

ESTABEL, L. B.; MORO, E. L. S.; SANTAROSA, L. M. C. A inclusão social e digital de pessoas com limitação visual e o uso das tecnologias de informação e de comunicação na produção de páginas para a internet. 2006.

HUMANWARE. **Brailliant BI 40X braille display**. 2025. Acesso em: 01 nov. 2024. Disponível em: <<https://store.humanware.com/usa/brailliant-bi-40x-braille-display.html>>.

LIMA, M. **Lei de Ampere**. 2012. Acesso em: 01 nov. 2024. Disponível em: <[https://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292\\_2012/Cap7.pdf](https://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292_2012/Cap7.pdf)>.

SYSTEMS, E. **Arduino ESP32**. 2025. Acesso em: 19 fev. 2025. Disponível em: <<https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/>>.