

DISPLAY DE BRAILLE PARA DEFICIENTES VISUAIS

BRAILLE DISPLAY FOR THE VISUALLY IMPAIRED

Juliana Brito Silva¹
Edilson Carlos Silva Lima²
Jonathan Araujo Queiroz³

RESUMO: A uma grande dificuldade de localizar aparelhos que sejam próprios para deficientes visuais, e quando o acha possui a limitação de custo, limitação técnica e falta de alternativas, por isso esse artigo buscou o desenvolvimento de um display de braille inovador, com o objetivo de facilitar o aprendizado e a leitura da linguagem braille. A pesquisa foi realizada com cinco pessoas de diferentes tipos de deficiências visuais, como cegueira total e baixa visão, com duração de um ano aplicando a metodologia qualitativa descritiva, estudo de caso e ágil Feature-Driven Development (FDD), a partir disso desenvolveu-se um aparelho leve e portátil baseado em Arduino, composta de uma célula funcional que reproduz caracteres em tempo real.

Palavras-chave: Arduino. Metodologia ágil FDD. Display e Braille.

ABSTRACT: Due to the great difficulty of locating devices that are suitable for the visually impaired, and when found, it has cost limitations, technical limitations and a lack of alternatives, which is why this article sought to develop an innovative Braille display, with the aim of facilitating learning and reading Braille language. The research was carried out with five people with different types of visual impairments, such as total blindness and low vision, lasting one year using descriptive qualitative methodology, case study and agile Feature-Driven Development (FDD), from which it was developed - is a lightweight and portable device based on Arduino, made up of a functional cell that reproduces characters in real time.

1520

Keywords: Arduino. Agile FDD methodology. Display and Braille.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), cerca de 18,6% da população brasileira possui algum tipo de deficiência visual, sendo que 6 milhões apresentam deficiência visual severa (3,2% da população) e 506 mil possuem perda total da visão (0,3% da população). Já em 2022, estima-se que 8% da população brasileira enfrenta essa condição, enquanto no estado do Maranhão o índice é ainda maior, chegando a 9%. Globalmente, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014), 285 milhões de

¹Graduação em engenharia de computação. Universidade CEUMA.

²Professor. Orientador. Mestre em engenharia informática, Universidade CEUMA.

³Professor. Dr., em engenharia elétrica e orientador. Universidade CEUMA.

peças vivem com alguma forma de deficiência visual, das quais 39 milhões são cegas e 246 milhões têm baixa visão.

A inclusão de pessoas com deficiência visual na educação ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no que se refere ao acesso a materiais de leitura e aprendizado. Apesar dos avanços em tecnologias assistivas, ainda há escassez de soluções práticas, acessíveis e eficientes que facilitem a alfabetização e o uso do sistema Braille. Reconhecido como um sistema essencial para a comunicação e independência de pessoas com deficiência visual, o Braille encontra obstáculos em seu aprendizado devido à limitada disponibilidade de materiais e dispositivos que traduzam textos escritos para o formato tátil.

Diversas iniciativas tecnológicas têm buscado promover a inclusão dessas pessoas, como audiodescrição e materiais táteis em ambientes educacionais e culturais. Contudo, essas abordagens apresentam limitações em relação à portabilidade, custo e capacidade de traduzir textos em tempo real para o Braille.

Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um hardware que converte textos escritos para Braille em tempo real. A solução consiste em um display Braille portátil, baseado no sistema Arduino, que visa oferecer uma alternativa acessível e de baixo custo para leitura e aprendizado do Braille. O dispositivo é projetado para atender às demandas de inclusão em ambientes educacionais e culturais, contribuindo para a democratização do acesso à tecnologia assistiva.

1521

A metodologia utilizada foi qualitativa descritiva, permitindo uma análise detalhada do impacto do dispositivo. O estudo foi realizado em uma instituição de ensino superior em São Luís do Maranhão, com a participação de 10 alunos com diferentes graus de deficiência visual, dos quais cinco foram entrevistados para avaliar a eficácia do hardware.

Esta introdução é seguida por uma análise de trabalhos relacionados, destacando as soluções existentes e as contribuições deste estudo (capítulo 2). O capítulo 3 detalha os métodos utilizados no desenvolvimento do projeto, enquanto o capítulo 4 apresenta o processo de construção do hardware e a aplicação da metodologia qualitativa descritiva. No capítulo 5, os resultados são analisados e discutidos. Finalmente, o capítulo 6 traz as considerações finais, evidenciando as contribuições do dispositivo e sugerindo possíveis melhorias para futuros trabalhos.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A inclusão de pessoas com deficiência visual em diferentes contextos, como educação, cultura e alfabetização, tem sido amplamente explorada em estudos recentes. Este capítulo apresenta três trabalhos que abordam soluções tecnológicas e adaptações pedagógicas voltadas para promover a acessibilidade de materiais educacionais e culturais para pessoas com deficiência visual. Embora cada abordagem tenha suas especificidades, todas destacam os desafios e avanços no campo da tecnologia assistiva.

2.1 Audiodescrição no auxílio do aprendizado

O estudo “Tecnologia Assistiva no Ensino de Física para Alunos com Deficiência Visual: Um Estudo de Caso Baseado na Audiodescrição” (Santos e Brandão, 2020) investigou como a audiodescrição, em conjunto com materiais táteis adaptados, pode auxiliar no aprendizado de Física para estudantes universitários com deficiência visual. A pesquisa utilizou a metodologia de estudo de caso de Robert K. Yin (YIN, 2001), caracterizada pela análise detalhada de um fenômeno em seu contexto real.

O foco do estudo foi adaptar materiais como tabelas, gráficos e equações, tradicionalmente inacessíveis por leitores de tela, para torná-los mais compreensíveis. A audiodescrição reduziu barreiras comunicacionais, promovendo maior autonomia e engajamento do estudante. No entanto, o aprendizado ainda dependia do suporte contínuo de professores e tutores para garantir a compreensão dos conceitos.

1522

2.2 Inclusão em museus

O artigo “Audiodescrição e Sistemas de Leitura Tátil: Uma Proposta de Inclusão em Museus” (Ribeiro e Trombetoni, 2023) examinou como deficientes visuais podem ser incluídos em visitas a museus por meio da audiodescrição e do Sistema Braille. A pesquisa utilizou o método qualitativo de pesquisa-ação e avaliou a experiência de sete estudantes com cegueira ou baixa visão em exposições do Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Feira de Santana (MZFS).

As intervenções incluíram gravações em áudio para descrever os objetos expostos e etiquetas em Braille para permitir o toque e a leitura tátil de informações básicas, como nomes populares e científicos. Apesar dos avanços na inclusão, a pesquisa apontou limitações, como a

necessidade de pessoas treinadas e dificuldades em representar detalhes visuais, como cores e profundidade.

2.3 Adaptação de materiais táteis

O artigo “Adaptações de Materiais Pedagógicos para Desenvolvimento Tátil e Apoio da Alfabetização Braille na Educação Infantil” (Freitas et al., 2024) descreveu uma experiência de adaptação de materiais escolares com diferentes texturas para incentivar a alfabetização de crianças com deficiência visual em uma escola municipal. O estudo incluiu a criação de livros em Braille e figuras em alto-relevo, permitindo ao aluno explorar os conteúdos de forma mais concreta e interativa.

Embora a abordagem tenha promovido o desenvolvimento individual do aluno, o trabalho enfrentou desafios relacionados à escassez de recursos adequados e à durabilidade limitada dos materiais artesanais.

2.4 Diferencial do Trabalho

Este artigo propõe uma solução inovadora: um display de Braille portátil que converte textos escritos (input) em caracteres táteis (output). Essa tecnologia busca resolver problemas como a dificuldade de acesso a livros e materiais adaptados para o ensino de Braille, proporcionando uma ferramenta prática e acessível para o aprendizado e a leitura.

1523

Comparado aos trabalhos revisados:

1. **Audiodescrição no Auxílio do Aprendizado:** O display de Braille vai além da audiodescrição, proporcionando ao usuário autonomia para aprender o sistema Braille, essencial para comunicação e escrita.

2. **Inclusão em Museus:** Enquanto as etiquetas em Braille e as gravações em áudio são úteis, o dispositivo proposto permite que o usuário leia informações de forma independente e no ritmo desejado, ampliando a acessibilidade em exposições.

3. **Adaptação de Materiais Táteis:** O uso do display elimina as limitações associadas à durabilidade de materiais artesanais e oferece uma solução tecnológica durável, interativa e com potencial para substituir ou complementar livros em Braille.

Essa inovação busca preencher lacunas observadas nas abordagens anteriores, oferecendo uma ferramenta versátil, de baixo custo e acessível, com potencial de impacto significativo na inclusão de pessoas com deficiência visual.

3 MÉTODOS

Neste projeto o nosso foco está em desenvolver um Display de Braille que irá ajudar pessoas com deficiência visual a aprenderem essa linguagem escrita e poderem ler em uma estrutura preparada, durante seu desenvolvimento e teste foi usado a metodologia científica qualitativa dedutiva e estudo de caso, juntamente com a metodologia ágil FDD, os participantes do teste são de uma turma de 10 alunos onde foram entrevistados 5 em uma instituição de ensino superior na cidade de São Luís do Maranhão com graus variados de deficiência visual.

O sistema Braille é uma ferramenta essencial de alfabetização para pessoas com deficiência visual, proporcionando-lhes a independência e o acesso à educação e cultura (American Foundation for the Blind, 2009). De acordo com A Grafia Braille para a Língua Portuguesa (Brasil, 2018), o sistema de escrita em relevo é constituído por 63 sinais formados a partir do conjunto matricial, este conjunto de seis pontos chama-se sinal fundamental, o espaço por ele ocupado, denomina-se célula braille e, quando vazio, é também considerado por alguns especialistas como um sinal, passando assim o sistema a ser composto por 64 sinais. Onde cada um dos caracteres da linguagem escrita é representado por uma ou mais células braille com diferentes combinações de matrizes e esse formato será replicado no Display, com o diferencial de ser traduzido para uma célula de cada vez.

3.1 Sistema Arduino

O projeto foi desenvolvido usando o sistema Arduino para a montagem do Display na sua parte de coleta, controle e transformação de dados, sua escolha se deu pela estrutura de fácil acesso e controle se comparado a outros componentes de Hardware.

Alguns outros componentes do que serão utilizados:

Arduino. Segundo o site Arduino (Arduino, 2022), Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que consiste em hardware e software projetados para facilitar o desenvolvimento de projetos interativos. É um componente de hardware formado por placas de circuito que podem ser programadas para uma variedade de tarefas, sua programação é realizada utilizando uma linguagem de programação baseada em C/C++, simplificada com bibliotecas e funções pré-definidas que facilitam o desenvolvimento de projetos para iniciantes e especialistas em eletrônica.

Segundo o autor Banzi (2023), o Arduino é amplamente utilizado em uma variedade de campos, incluindo robótica, arte interativa, automação residencial, educação em ciências da

computação, prototipagem rápida e uma série de outras áreas que exigem controle eletrônico. Sua facilidade de uso, flexibilidade e custo acessível tornaram o Arduino uma ferramenta popular para entusiastas, estudantes, artistas e profissionais de diversas áreas, que possuem várias versões como o Arduino mega e uno como mostra na figura 1. (Banzi,2014).

Figurar: Modelos de Arduino.



Fonte: Arduino, 2022.

Na Família Clássica, você encontrará placas como o Arduino UNO e outros clássicos, como o Leonardo e o Micro.

Servo Motor. Um servo motor é um dispositivo que converte um sinal de controle em movimento preciso, desempenhando um papel fundamental em diversas aplicações que demandam controle preciso de posição, velocidade e aceleração (Matos, 2012). Os servos motores são peças-chave em uma variedade de funcionalidades, como manufatura, automação industrial, robótica, modelagem de sistemas dinâmicos, automação residencial e comercial. Nesse Display, utilizaremos seis servo motor de 180° com a missão de subir e descer os pinos que formação os pontos da linguagem Braille.

Protoboard. Também conhecido como placa de ensaio, é um componente usado para construir circuitos eletrônicos temporários sem a necessidade de soldagem. Ele formado por uma placa plástica com furos e trilhas condutoras que permitem a conexão de componentes eletrônicos usando fios.

3.2 Metodologia Ágil Feature-Driven Development (FDD)

A Metodologia Ágil Feature-Driven Development (FDD) foi escolhido pelo seu foco em funcionalidades e estrutura de gerenciamento de projetos com prioridade em flexibilidade,

colaboração e entrega contínua, permite maior previsibilidade e acompanhamento detalhado do progresso em projetos complexos. Ele é formado por cinco processos principais:

1. Desenvolvimento do Modelo Geral

O projeto começou a idealização de um modelo de funcionalidades se baseando em displays já existentes como o Bloco de Notas Braille Sense 6, considerando todas as limitações dos deficientes visuais e do Sistema Arduino, juntamente com as regras da Linguagem Braille possibilitando uma melhor visão do projeto.

2. Construção da Lista de Funcionalidades

A partir do modelo geral foi feita a lista de funcionalidades abaixo:

Funcionalidade 1: Tradução da Linguagem Escrita para Linguagem Braille

Funcionalidade 2: Gerar os Input e output

Funcionalidade 3: controlar o servo motor para subir os pinos

Funcionalidade 4: estrutura de suporte para os pinos dentro da célula Braille e servo motores

Funcionalidade 5: Disposição dos circuitos na estrutura do Display

Funcionalidade 6: Aplicar a biblioteca Braille

3. Planejamento por Funcionalidades

Nesse estágio se organiza e prioriza as funcionalidades em cronogramas de desenvolvimento como mostrando na tabela 1

Tabela 1: Cronograma

Cronograma												
semanas	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Estágio	Simulador						Circuito Real					
Funcionalidades	3	6	1	2	4	5	3	6	1	2	4	5

Fonte: Autoral, 2025.

E logo após isso organizamos para cada funcionalidade os recursos necessários para sua implementação, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Recursos por Funcionalidade

Recursos por Funcionalidades		
Funcionalidades	Estágio	Recursos
1	Simulação	Linguagem C++
	Circuito Real	Arduino
2	Simulação	Linguagem C++
	Circuito Real	1 Arduino, 1 servo motor e 1 Protoboard
3	Simulação	Linguagem C++ e Servo motor
	Circuito Real	1 Arduino, 6 servos motor, 1 Protoboard, Impressora 3D e Pinos Impressos
4	Simulação	Servo motor, Régua e Medidas
	Circuito Real	6 servos motor, Pinos Impressos, Impressora 3D e Medidas
5	Simulação	Linguagem C++, Servo motor
	Circuito Real	1 Arduino, 6 servos motor, 1 Protoboard, Pinos Impressos e Estrutura Impressa
6	Simulação	Linguagem C++
	Circuito Real	1 Arduino

Fonte: Autoral, 2025

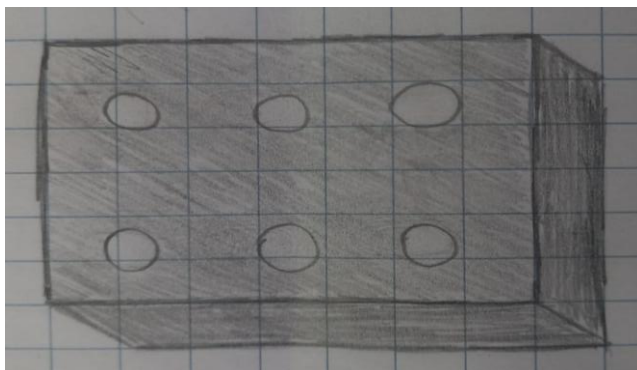
As Funcionalidades estão separadas em duas partes de desenvolvimento a primeira sendo no Simulador “Tinkercad” e depois passando para a física que teve a criação da estrutura impresso em uma Impressora 3D.

1527

4. Design por Funcionalidade

Foi projeto para cada funcionalidade um design, onde na figura 2 temos o modelo da estrutura do display.

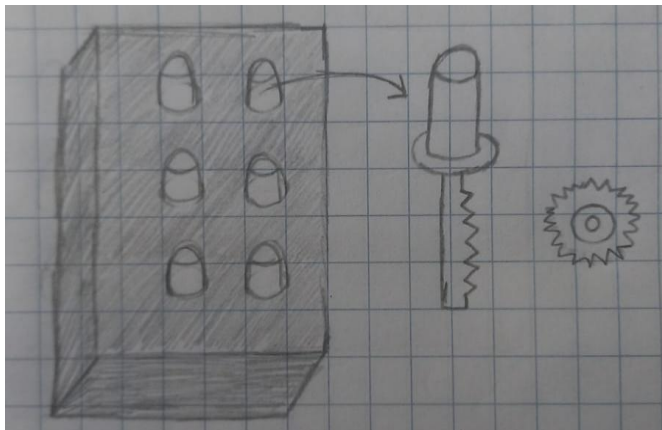
Figura 2: Design da Estrutura Display



Fonte: Autoral, 2025.

Em seguida foi projetado os pinos que serão levantados pelo servo, mostrando como eles serão dentro e fora do aparelho, como mostrado pela figura 3.

Figura 3: Design Pinos Simulação



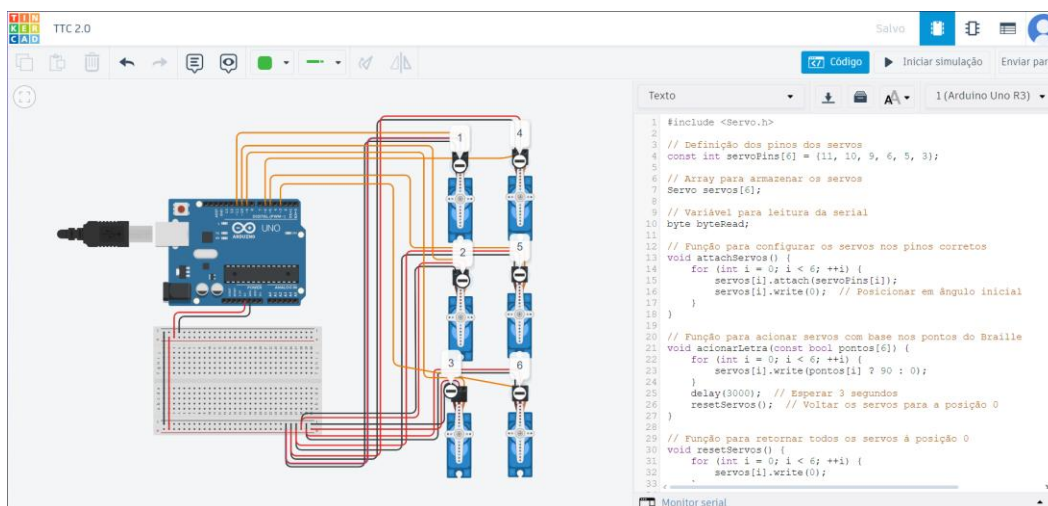
Fonte: Autoral, 2025.

Foram planejados para ser criados na plataforma “Tinkercad” na parte de criação de arquivos 3D e posteriormente impresso na impressora 3D.

5. Construção por Funcionalidade

A construção do display se desenvolveu de acordo com o cronograma estabelecido, sendo a primeira parte a simulação no Tinkercad como mostrado na figura 4. 1528

Figura 4: Desenvolvimento do circuito e sua programação



Fonte: Autoral, 2025.

A utilização da metodologia ágil Feature-Driven Development (FDD) mostrou-se essencial para o desenvolvimento do hardware de conversão de texto para Braille, garantindo um processo estruturado e eficiente. A abordagem, que prioriza a entrega incremental de funcionalidades, permitiu que o projeto fosse conduzido de maneira organizada, desde a criação do modelo geral até a construção e implementação das funcionalidades específicas. A construção da lista de funcionalidades possibilitou uma visão clara dos requisitos, enquanto o planejamento detalhado e o design por funcionalidade asseguraram um desenvolvimento orientado às necessidades dos usuários. Por fim, a construção iterativa por funcionalidade viabilizou a integração progressiva dos componentes, permitindo ajustes rápidos e maior confiabilidade no produto final, atendendo de forma eficaz às demandas de acessibilidade dos deficientes visuais.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante o desenvolvimento e avaliação do hardware para conversão de texto para Braille, divididos em duas seções principais. Na seção 4.1, detalha-se o processo de construção do hardware como um estudo de caso, abordando as etapas de desenvolvimento técnico e os desafios superados para criar uma solução funcional e acessível. Já a seção 4.2 apresenta os resultados da aplicação da metodologia qualitativa descritiva, na qual participantes com deficiência visual testaram o dispositivo e responderam a um questionário composto por três perguntas, fornecendo *insights* sobre a usabilidade, acessibilidade e eficiência do aparelho. Esses resultados oferecem uma visão abrangente da viabilidade do hardware e de sua aceitação pelos usuários finais, contribuindo para futuras melhorias e aplicações do dispositivo.

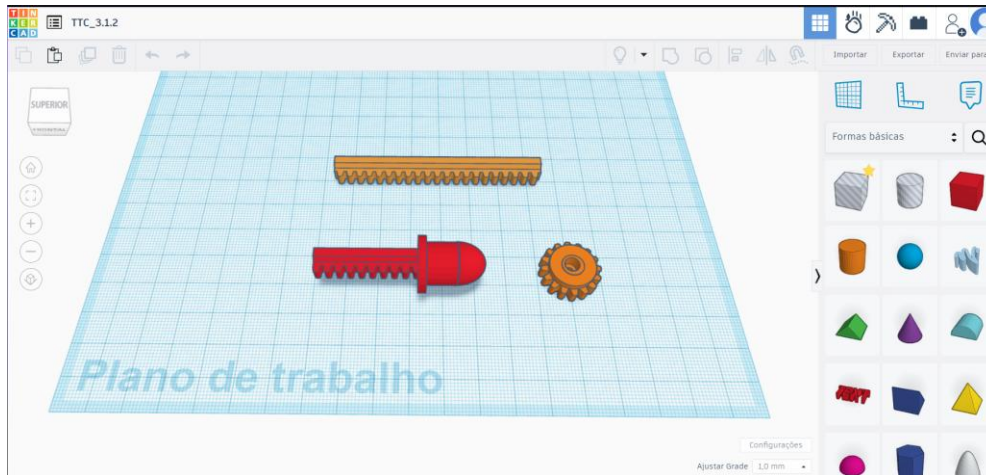
1529

4.1 O Processo de Construção do Hardware

Nesta seção, apresenta-se o desenvolvimento técnico do hardware, destacando as etapas fundamentais que resultaram na criação de um dispositivo funcional. O processo incluiu a concepção do design, a modelagem de componentes, a montagem física do dispositivo e a validação funcional.

O design dos pinos foi inicialmente realizado no software **Tinkercad**, utilizando arquivos 3D para modelagem, que incluíram a estrutura de movimentação dos pinos, como mostrado na Figura 5.

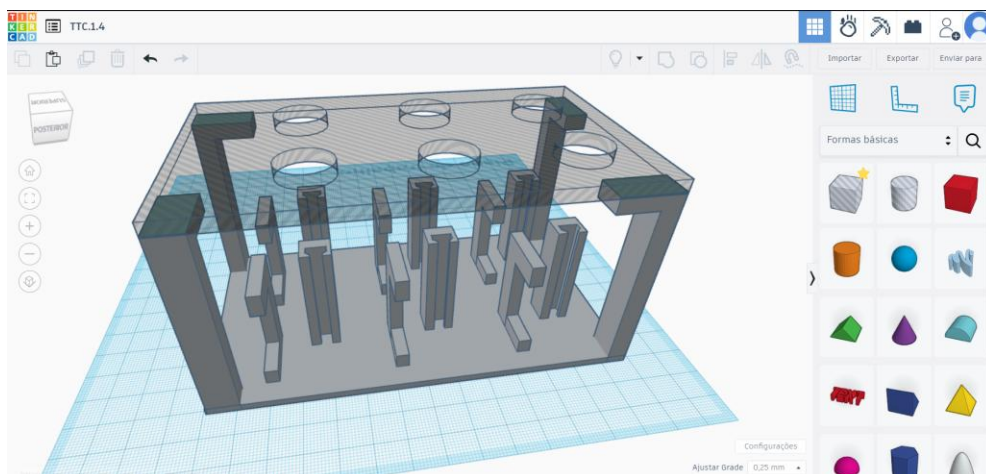
Figura 5: Desenvolvimento do Pino com sua estrutura



Fonte: Autoral, 2025.

Em paralelo, desenvolveu-se a estrutura completa do display, detalhada na Figura 6.

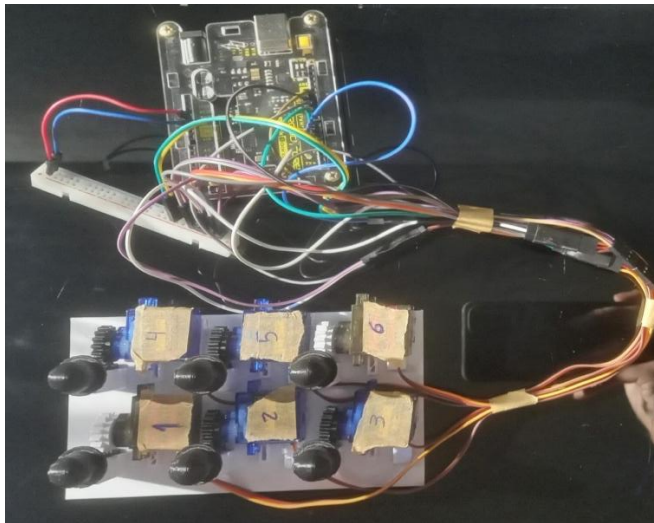
Figura 6: Desenvolvimento da estrutura do Display



Fonte: Autoral, 2025.

Em seguida, procedeu-se à construção do circuito real, integrando-o ao display. O código foi programado utilizando a IDE do Arduino, garantindo que o circuito estivesse totalmente acoplado e funcional, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Desenvolvimento do Circuito Real

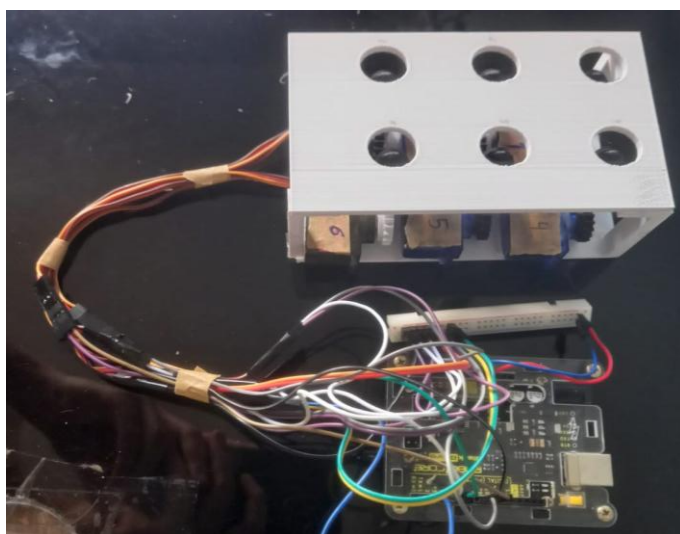


Fonte: Autoral, 2025.

Durante o desenvolvimento, as funcionalidades do hardware foram programadas e testadas individualmente, assegurando que todas as operações fossem corretamente estruturadas. Pequenos ajustes e correções foram realizados sempre que necessário para aprimorar a funcionalidade. O resultado final, demonstrado na Figura 8, é um display composto por uma célula Braille que traduz caracteres de texto para Braille individualmente. Antes da etapa de teste, os participantes foram informados que o dispositivo traduziria apenas um caractere por vez.

1531

Figura 8: Display



Fonte: Autoral, 2025.

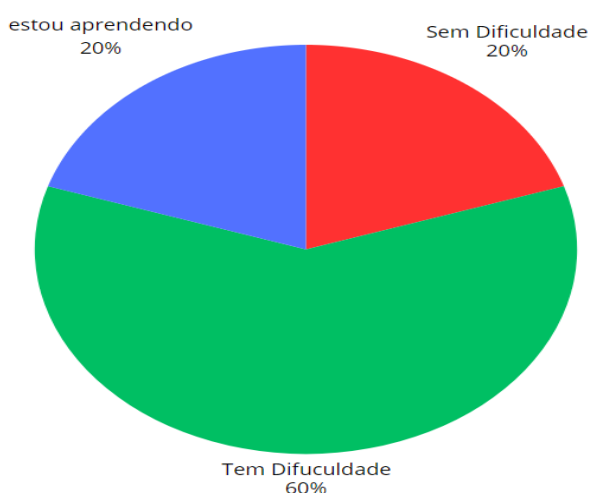
A construção do hardware seguiu os princípios da Metodologia FDD, que estruturou o desenvolvimento em etapas claras e iterativas. Inicialmente, foi criado um modelo geral do dispositivo, definindo sua arquitetura e funcionalidades principais. Em seguida, elaborou-se uma lista detalhada de funcionalidades que guiaram as etapas subsequentes. Cada funcionalidade foi projetada e implementada individualmente, permitindo ajustes rápidos e validações contínuas durante o processo. O resultado foi um display funcional, formado por uma célula Braille capaz de traduzir caracteres de texto para Braille de forma precisa e eficiente. Esse método iterativo e centrado na funcionalidade permitiu que o hardware fosse desenvolvido com foco na usabilidade, garantindo que cada componente cumprisse seu papel no sistema global antes de avançar para a integração final. O uso da FDD assegurou que as funcionalidades fossem bem testadas e ajustadas, resultando em um dispositivo prático e adequado para os testes com os participantes.

4.2 Os resultados da aplicação da metodologia qualitativa descritiva

Nesta seção, os dados coletados durante a avaliação do hardware são apresentados, com base nas respostas de participantes que testaram o dispositivo e responderam a um questionário com três perguntas. Foram entrevistados cinco de dez alunos de uma instituição de ensino superior na cidade de São Luís do Maranhão com variados graus de deficiência visual.

Na primeira pergunta, "Quais são as dificuldades que possui na linguagem Braille? Você sabe Braille?", a maioria dos participantes relatou saber ler Braille, embora ainda enfrente dificuldades para compreendê-lo plenamente. Esses resultados estão detalhados no Gráfico 1.

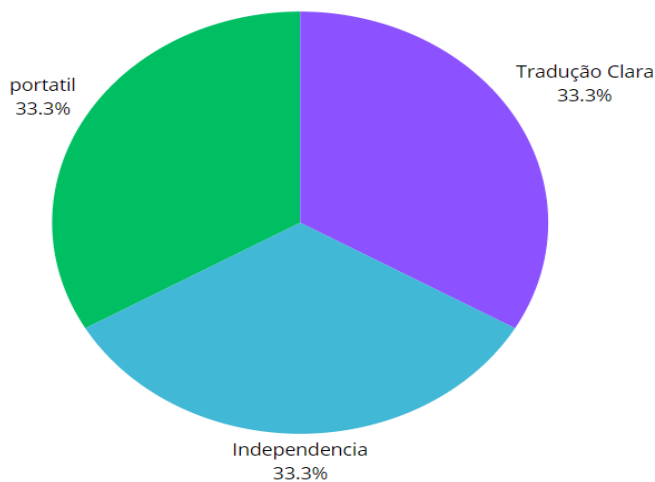
Gráfico 1: Dificuldade em Braille



Fonte: Autoral, 2025.

Na segunda pergunta, "O que você acha do dispositivo?", os dados mostraram uma avaliação uniforme dos participantes, que consideraram a tradução do texto clara, o dispositivo portátil e útil para aumentar a independência, como mostrado no Gráfico 2.

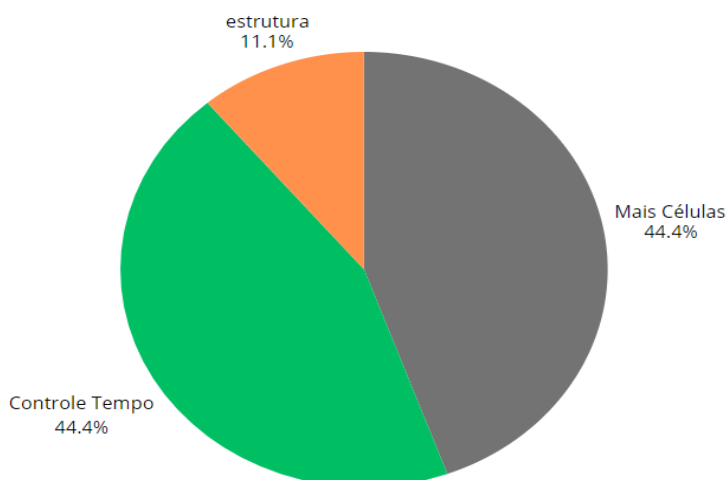
Gráfico 2: Características citadas



Fonte: Autoral, 2025.

Na terceira pergunta, "Existe alguma funcionalidade que poderia ser adicionada?", as sugestões mais frequentes foram incluir um controle para ajustar a velocidade dos pinos, adicionar mais células Braille e aprimorar a estrutura física do dispositivo, conforme evidenciado no Gráfico 3.

Gráfico 3: Funcionalidades a acrescentar



Fonte: Autoral, 2025.

Os resultados deste capítulo demonstram que o processo de construção do hardware foi concluído com sucesso, proporcionando um dispositivo funcional para tradução de texto para Braille. As entrevistas realizadas confirmaram que o dispositivo atende às necessidades dos usuários, promovendo acessibilidade e autonomia, embora tenham sido sugeridas melhorias, como a inclusão de novas funcionalidades e aprimoramentos estruturais. Esses achados validam parcialmente a hipótese do estudo, indicando que o dispositivo pode ser uma ferramenta viável e promissora para a inclusão de pessoas com deficiência visual no acesso à leitura em Braille.

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que o hardware desenvolvido é funcional para a tradução de texto para Braille e tem o potencial de atender às necessidades de acessibilidade e autonomia de pessoas com deficiência visual. Durante as entrevistas, foi observado que tanto os participantes com conhecimento prévio em Braille quanto aqueles com dificuldades na leitura reconheceram que o dispositivo realiza uma tradução clara, contribuindo significativamente para sua independência e aprendizado. No entanto, houve um consenso quanto à necessidade de melhorias, como a inclusão de um controle para ajuste da velocidade dos pinos, a ampliação do número de células Braille e aprimoramentos estruturais no design do dispositivo.

1534

Ao comparar os achados deste estudo com a literatura existente, verifica-se que o display vai além de ferramentas convencionais de acessibilidade, como a audiodescrição. Por exemplo, em trabalhos voltados ao auxílio no aprendizado com audiodescrição, os alunos tinham acesso limitado ao conteúdo textual, dependendo exclusivamente da narração. O hardware proposto, por outro lado, possibilita que esses estudantes aprendam Braille, promovendo maior independência e engajamento ativo no processo de alfabetização. Em contextos como a inclusão em museus, o dispositivo pode servir não apenas para traduzir nomes científicos e populares das exposições, mas também para proporcionar acesso direto aos textos e descrições que anteriormente eram inacessíveis, ampliando a experiência cultural para pessoas com deficiência visual.

Adicionalmente, em iniciativas de adaptação de materiais táteis para o ensino de deficientes visuais, o display surge como uma solução tecnológica mais eficiente do que os métodos artesanais. Ele permite que professores foquem na alfabetização dos alunos, deixando

de lado o trabalho manual de criação de ferramentas auxiliares. Isso potencializa o impacto educacional e economiza tempo e recursos.

Este estudo, entretanto, apresenta algumas limitações. Primeiramente, o dispositivo testado possui apenas uma célula Braille, o que limita sua aplicação a cenários que demandem maior fluidez de leitura. Além disso, a amostra utilizada nas entrevistas foi reduzida, restringindo a generalização dos resultados. Novas funcionalidades e melhorias estruturais sugeridas pelos participantes ainda precisam ser implementadas e testadas em futuras versões do dispositivo.

Os achados deste trabalho indicam um caminho promissor para o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas voltadas à inclusão de pessoas com deficiência visual. Pesquisas futuras podem explorar o uso do dispositivo em contextos mais amplos, como escolas inclusivas, ambientes culturais e profissionais, além de avaliar a viabilidade da produção em escala. Adicionalmente, a integração de funcionalidades, como a leitura de múltiplas células simultaneamente e conectividade com dispositivos móveis, pode expandir ainda mais sua utilidade e impacto.

6 CONCLUSÃO

1535

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo portátil e acessível que facilitasse o aprendizado e a leitura do Braille, enfrentando desafios como a dificuldade de acesso a livros e a escassez de materiais pedagógicos para deficientes visuais. Os resultados alcançados indicaram que o objetivo foi atingido, com os participantes dos testes confirmando que o display desenvolvido realiza uma tradução clara e eficaz para o Braille, além de promover maior independência no aprendizado, como evidenciado pelos dados do gráfico 2. Ademais, não houve sugestões para melhorias na clareza da tradução, destacando a funcionalidade básica do dispositivo.

A metodologia qualitativa descritiva empregada possibilitou uma análise direta da experiência dos usuários, enquanto o uso da metodologia ágil FDD e do estudo de caso foi essencial para estruturar e concluir com sucesso o processo de desenvolvimento do display. Apesar disso, os participantes sugeriram aprimoramentos no dispositivo, como a inclusão de mais células Braille, controle de velocidade dos pinos, além de melhorias estruturais e na fiação, conforme apontado no gráfico 3. Esses *feedbacks* reforçam a viabilidade do dispositivo e abrem oportunidades para seu aprimoramento em trabalhos futuros.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a implementação das melhorias propostas pelos usuários e a ampliação das funcionalidades, como integração com dispositivos móveis, leitura de múltiplos caracteres simultaneamente e conectividade em tempo real para traduções dinâmicas. Também seria valioso realizar testes com uma amostra maior e em contextos diversificados, como escolas, bibliotecas e ambientes culturais, para validar e expandir o impacto do dispositivo. Assim, o display de Braille pode se tornar uma ferramenta ainda mais inclusiva e robusta, contribuindo significativamente para a acessibilidade e a autonomia de pessoas com deficiência visual.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN FOUNDATION FOR THE BLIND. Braille - An Overview. 2009. Disponível em: <https://www.afb.org>. Acesso em: 11 set. 2024.
2. ARDUINO. Arduino Hardware. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/hardware> . Acesso em: 11 set. 2024.
3. BANZI, Massimo. Arduino Hardware. 2023. Disponível em: <http://www.arduino.cc/en/hardware>. Acesso em: 11 set. 2024.
4. BANZI, Massimo; SHILOH, Michael; ARDUINO TEAM. Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. 3rd ed. Maker Media, Inc., 2014.
5. BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Grafia Braille para a Língua Portuguesa. 3ª ed. Brasília-DF: Ministério da Educação, 2018; 95 p
6. FREITAS IASP, FREITAS TA, ALMEIDA RMBS, PORTUGAL VMSS, et al. Audiodescrição e sistema de leitura tátil: uma proposta de inclusão em museus. Disponível em: <https://revista.lapprudes.net/index.php/CM/article/view/1043> . Acesso em: 11 set. 2024.
7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), O ESTADO, 2022. Disponível em: <https://imirante.com/oestadoma/noticias/2021/08/27/maranhao-tem-9-de-pessoas-com-deficiencia-aponta-estudo-do-ibge>. Acesso em: 11 set. 2024.
8. MATOS, Nuno Miguel Rodrigues de. Análise do Funcionamento de um Servomotor de Corrente Alternada com Ímãs Permanentes. Blumenau: FEUP, 2012.
9. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Visual impairment and blindness. World Health Organization, 2014. Disponível em: <https://www.who.int>. Acesso em: 11 set. 2024.
10. RIBEIRO MF, TROMBETONI HH. Adaptações de materiais pedagógicos para desenvolvimento tátil e apoio da alfabetização Braille na educação infantil. Disponível em:

<https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/1378> . Acesso em: 11 set. 2024.

11. SANTOS, Priscila Valdênia dos; BRANDÃO, Gisllayne Cristina de Araújo. Tecnologias assistivas no ensino de física para alunos com deficiência visual: um estudo de caso baseado na audiodescrição. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/SV5RWTYNqG3C9dZP74dXjWj/#>. Acesso em: 11 set. 2024.
12. YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2 ed. São Paulo: Bookman, 2001.