

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

IVAN COSTA MESQUITA

**SENA: FERRAMENTA DE AUXÍLIO PEDAGÓGICO PARA APRENDIZAGEM DO
SISTEMA BRAILLE**

BELÉM

2021

IVAN COSTA MESQUITA

**SENA: FERRAMENTA DE AUXÍLIO PEDAGÓGICO PARA APRENDIZAGEM DO
SISTEMA BRAILLE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação na modalidade PRODUTO.

Orientadora: Prof.^a Msc. Alessandra
Natasha Alcântara Barreiros

BELÉM

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do CESUPA, Belém – PA

Mesquita, Ivan Costa

Sena: ferramenta de auxílio pedagógico para aprendizagem do sistema Braille / Ivan Costa Mesquita; orientadora Alessandra Natasha Alcântara Barreiros. – 2021.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário do Estado do Pará, Curso de Engenharia da Computação, Belém, 2021.

1. Software-Desenvolvimento. 2.Braille (Sistema de escrita). I. Barreiros, Alessandra Natasha Alcântara, orientadora. II. Título.

CDD. 23 ° ed. 005.1

IVAN COSTA MESQUITA

**SENA: FERRAMENTA DE AUXÍLIO PEDAGÓGICO PARA APRENDIZAGEM DO
SISTEMA BRAILLE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação na modalidade PRODUTO.

Data da aprovação: / /

Nota final aluno: _____

Banca examinadora



Prof.^a MSc. Alessandra Natasha Alcântara Barreiros

Orientador e Presidente da banca



Prof. MSc Pedro Henrique Sales Giroto

Examinador interno

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer as pessoas mais importantes na minha vida, meus pais, Lindalva Silva Costa e Edalecio Rodrigues Mesquita, que não tiveram chances de terminar os estudos, mas lutaram todos os dias ao meu lado para que essa oportunidade existisse.

Agradeço a minha Orientadora, Prof.^a Alessandra Natasha Alcântara Barreiros pela compreensão e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do Instituto José Alvares de Azevedo, professor Jarbas Marcelino Costa da Silva, professora Márcia Dolores Almeida da Silva e professora Telma Lúcia Lobato pela colaboração no processo de obtenção de dados.

Agradeço a minha namorada Alessandra Sousa, que mesmo distante me deu incentivos durante toda produção deste trabalho.

Agradeço ao meu amigo Raknenn pela compreensão de minha ausência nesses últimos anos.

Agradeço aos meus amigos Vitor Sabino, Vitor Lopes, Jun Nagai e Rodrigo Reis que me acompanharam em toda essa jornada no curso

RESUMO

Este trabalho apresenta um dispositivo intitulado Sena, como ferramenta para ensino do sistema braille. O objetivo é auxiliar no processo de alfabetização de crianças com deficiência visual. Para tanto foi realizada uma pesquisa exploratória sobre alfabetização usando sistema braille, descrição do processo de construção do produto e entrevista com professores de braille. O dispositivo é constituído por sensores de obstáculo, a placa Arduino Mega 2560, o módulo DF Player Mini, Leitor RFID RC 522, etiquetas RFID e uma guia linear. O dispositivo Sena é dividido em dois módulos, o módulo Cella Braille Eletrônica e módulo Scanner Braille, proporcionando 8 funções para desenvolvimento de noções e capacidades necessárias para alfabetização em braille.

Palavras-chave: Tecnologia. Sistema Braille. Dispositivo. Deficiência Visual. Alfabetização.

ABSTRACT

This paper presents a device entitled sena, as a tool for teaching the Braille system. The objective is to help in the literacy process of children with visual impairment. For such, an exploratory research on literacy using the braille system was carried out, as well as a description of the product construction process and an interview with braille teachers. The device consists of obstacle sensors, the Arduino Mega 2560 board, the DF Player Mini module, RFID Reader RC522, RFID Tags, and a linear guide. The sena device is divided into two modules, the Electronic Braille Cell module and braille scanner module, providing 8 functions for developing necessary notions and skills for braille literacy.

Keywords: Technology. Braille system. Device. Visual impairment. Literacy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dispositivo Tátilo	20
Figura 2 - Aplicativo Tátilo	21
Figura 3 - Dispositivo The Read Read	21
Figura 4 - Evolução das matrículas no AEE entre os anos de 2009 e 2016	24
Figura 5 - Arduino Mega 2560	25
Figura 6 - DFPlayer Mini	26
Figura 7 - Pastas do cartão de memória	26
Figura 8 - Arquivos da pasta 1	27
Figura 9 - Leitor RC522	27
Figura 10 - NFC NTAG213	28
Figura 11 - The NFC Antenna	28
Figura 12 - Sensor de obstáculo	29
Figura 13 - Encoder rotativo KY-040	29
Figura 14 - Motor de passo 17HS4401	30
Figura 15 - Cella braille	33
Figura 16 - Ordem braille	33
Figura 17 - Alfabeto completo em braille	34
Figura 18 - Sistema decimal em braille	34
Figura 19 - Imagem produto Sena	37
Figura 20 - Destacando módulos	38
Figura 21 - Posição do produto	38
Figura 22 - Visão geral interna	39
Figura 23 - Visão lateral	39
Figura 24 - Medidas da cela braille NBR 9050	40
Figura 25 - Cella braille na caixa de ovo	41
Figura 26 - Cella braille com tampinhas de garrafa	41
Figura 27 - Ilustração com destaque a Cella Eletrônica Braille	42
Figura 28 - Ilustração posicionando bolas	42
Figura 29 - Ilustração sensores de obstáculos acionados	43
Figura 30 - Fixação dos sensores de obstáculo	43
Figura 31 - Visão superior sensores	43
Figura 32 - Ilustração Scanner Braille	44
Figura 33 - Modelo de ficha	45
Figura 34 - Tag no interior da ficha	45
Figura 35 - Medidas da ficha	45
Figura 36 - Conjunto de fichas	46
Figura 37 - Leitor RFID RC522	46
Figura 38 - Leitor na guia linear	47
Figura 39 - Peça de madeira sobre Pillow Block	47
Figura 40 - Área de atuação do leitor	48
Figura 41 - Tabela de modos de passo	48

Figura 42 - Driver A4988.....	49
Figura 43 - Especificações elétricas.....	49
Figura 44 - Deslocamento	50
Figura 45 - Fluxograma do processo de leitura	51
Figura 46 - Leitura serial potenciômetro.....	52
Figura 47 - Programação potenciômetro.....	52
Figura 48 - Chave R16-503B	53
Figura 49 - Word online.....	53
Figura 50 - Gravador de Voz.....	54
Figura 51 - Configuração leitor	54
Figura 52 - Aplicativo Audio Cutter.....	55
Figura 53 - Pallet de madeira.....	55
Figura 54 - Medidas da lateral e parte superior	56
Figura 55 - Desenho esquemático do circuito	56
Figura 56 - Cores dos fios	59
Figura 57 - Módulos na placa de fenolite.....	59
Figura 58 - Placa para conexão dos sensores	60
Figura 59 - Variável newPos	60
Figura 60 - Estrutura While.....	61
Figura 61 - Função Som.....	61
Figura 62 - Concatenação.....	61
Figura 63 - Comparando Strings.....	61
Figura 64 - Visão superior dispositivo Sena.....	63
Figura 65 - Girar encoder	63
Figura 66 - Posições do dispositivo Sena.....	64
Figura 67 - Posicionando as bolas sinos.....	65
Figura 68 - Comunicação via alto falante	65
Figura 69 - Fluxo do jogo.....	66
Figura 70 - Leitura de fichas	67
Figura 71 - Acionando leitura.....	68
Figura 72 - Operação matemática.....	68
Figura 73 - Professor Jarbas com dispositivo Sena.....	69
Figura 74 - Canvas do produto	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações motor 17HS4401.....	30
Tabela 2 - Componentes do circuito	57
Tabela 3 - Interligação das portas	58
Tabela 4 - Orçamento.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pinos Driver A4988.....	31
------------------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEE - Atendimento Educacional Especializado

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EVA - Ethylene Vinyl Acetate

AVA – Atividades de Vida Autônoma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 METODOLOGIA DA PESQUISA	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 PRODUTOS CORRELATOS	20
2.1 TAPTILO.....	20
2.2 THE READ READ	21
3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	23
3.1 MERCADO E PÚBLICO-ALVO.....	23
3.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS	25
3.2.1 Arduino Mega 2560	25
3.2.2 DF Player Mini	25
3.2.3 Leitor RFID RC522	27
3.2.4 Etiquetas NFC NTAG213.....	28
3.2.5 Sensor de Obstáculo.....	29
3.2.6 Encoder Rotativo KY-040	29
3.2.7 Motor de Passo Nema 17	30
3.2.8 Driver A4988.....	31
3.2.9 KiCad	31
3.3. MÉTODO DE ALFABETIZAÇÃO	32
3.4 O SISTEMA BRAILLE	33
3.5 ENTREVISTAS.....	35
3.5.1 Entrevista com Jarbas Marcelino	35
3.5.2 Entrevista com Márcia e Telma	36
3.6 CONSTRUÇÃO DO PRODUTO.....	37
3.6.1 Dispositivo	37
3.6.2 Cella Eletrônica Braille.....	40
3.6.3 Scanner Braille.....	44
3.6.4 Controle.....	51
3.6.5 Arquivos de Áudio	53

3.6.6 Estrutura	55
3.6.7 Circuito	56
3.6.8 Programação	60
3.6.9 Orçamento	62
3.7 FUNCIONALIDADES DO PRODUTO	63
3.7.1 Cella Braille Eletrônica	64
3.7.2 Scanner Braille	67
3.8 HOMOLOGAÇÃO DO MVP	68
3.8.1 Teste	69
3.9 COMERCIALIZAÇÃO DO PRODUTO	70
3.9.1 Canvas	70
4 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A inclusão escolar obteve avanços importantes ao longo da história, através de políticas públicas que garantiram o acesso dos deficientes ao ambiente educativo (DEIMLING; MOSCARDINI, 2017). Entretanto, garantir o acesso não é sinônimo de inclusão (CAMPOS, 2003), é preciso oferecer um ensino de qualidade, o que exige fundamentalmente, entre outros fatores, o uso recursos didático-pedagógicos, que segundo Castoldi e Polinarski (2009) são cruciais para o desenvolvimento cognitivo da criança.

Quando se discute a inclusão escolar na perspectiva da educação especial, estes recursos passam a ser imprescindíveis para escolarização de crianças deficientes visuais (CERQUEIRA; FERREIRA, 2000). Na visão de Oliveira e Silva (2019), o processo de alfabetização é um componente essencial nessa escolarização, entretanto (SILVA; SILVA; OLIVEIRA, 2015, p. 14) os estudantes portadores de deficiência visual, ao adentrar na escola, dependem de educadores especializados para que desenvolvam suas habilidades de leitura e escrita.

[...] a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes” (VYGOTSKY, 1984:97).

Conforme Vygotsky (1984:97) em seu conceito de zona de desenvolvimento proximal, a criança, durante o processo de aprendizagem, atinge um bom desempenho na resolução de tarefas quando está sob orientação de um adulto ou em colaboração com colegas mais avançados (desenvolvimento potencial), este acompanhamento é necessário até que o indivíduo seja capaz de realizar determinada tarefa sozinho (desenvolvimento real).

Os deficientes visuais, diferente dos videntes que fazem uso da visão, utilizam um código universal de leitura e escrita, chamado Braille, que foi inventado pelo francês Louis Braille em 1825 (MEC, 2006). Conforme Rocha (1992) Louis Braille se inspirou no sistema de sinais em relevo desenvolvido por Charles Barbier de La Serre, oficial do Exército francês, que consistia em uma combinação de 12 pontos, com objetivo de transmitir ordens militares que pudessem ser decifradas pelos soldados sentinelas em um ambiente escuro, utilizando o tato, assim este invento foi denominado como “escrita noturna”. De acordo com Dias e Vieira (2017, p 178) o sistema de escrita noturna não obteve êxito no exército, entretanto (VENTURINE; ROSSI, 1978) Charles Barbier considerou a possibilidade de uso na comunicação entre

deficientes visuais, dessa forma (CERQUEIRA, 2009) apresentou seu invento em 1821, no Instituto de Paris, que foi experimentado por estudantes cegos, entre eles, Louis Braille com 12 anos de idade.

Segundo Rocha (1992), Louis Braille observou que os 12 pontos utilizados no método de Barbier, eram excessivos, dificultando a identificação tátil dos códigos, além de gerar 4.096 combinações, quando de fato, eram necessárias menos de 70 para representar todos os símbolos. Dessa forma, Braille reduziu a composição de pontos em relevo da cela de Barbier de 12 pontos para 6, gerando 63 símbolos que geram combinações suficientes para representar o alfabeto, os números e outros símbolos. Desse modo, Louis Braille, aos 15 anos de idade, inventou o método braille em 1824, porém apenas em 1829 foi divulgado e difundido oficialmente, através do Instituto Real de Jovens Cegos (Rocha, 1992, p. 5). Segundo Belarmino (2007) este feito possibilitou que, por meio do tato, a comunidade de cegos “enxergassem o mundo”, ou seja, ter acesso aos conhecimentos científicos, literários e artísticos. Conforme Cerqueira et al. (2006, p. 96) o braille se expandiu pelo mundo e, até hoje, é adotado como método de leitura e escrita para os deficientes visuais.

Para ensinar a leitura e escrita do Braille, os professores da educação especial fazem uso de outros recursos, assim Sá, Campos, Oliveira (2007, p. 28) sugere alguns recursos como a Celinha Braille, Cela braille vazada, Caixa de vocabulário, Gaveteiro alfabético, Pesca palavras, Roleta das letras entre outros. Identificou-se que alguns destes recursos, são confeccionados pelos próprios educadores, utilizando materiais simples como caixas de chicletes, botões, papelão, tampas de garrafas, etc. Demonstrando a escassez de recursos, principalmente tecnológicos, dirigidos ao processo de alfabetização.

Dentro deste cenário de carência de recursos didáticos especiais, direcionados ao processo de alfabetização e da importância do sistema Braille para inclusão dos deficientes visuais na sociedade, este trabalho propõe o produto educativo “Sena”, um dispositivo para auxiliar o aprendizado do sistema braille, disponibilizando recursos táteis e sonoros, incorporados ao método sintético de alfabetização.

O nome “Sena”, tem origem no latim *sena*, sendo sinônimo de seis, neste caso uma alusão ao conjunto de seis pontos utilizados na Cela ou Célula Braille, onde a combinação desses pontos dá origem a todos os símbolos do sistema Braille. O produto é composto por uma Cela Eletrônica Braille e um Scanner Braille. A Cela Eletrônica Braille tem como objetivo substituir a “Cela jumbo braille” um recurso que é comumente confeccionado pelos educadores

utilizando materiais simples, empregado nas etapas iniciais da alfabetização, para desenvolver a coordenação motora, ensinar o funcionamento da cela braille e, principalmente, assimilar a grafia das letras. Enquanto o Scanner Braille reproduz o som das letras, palavras, números e realiza operações matemáticas básicas entre os números de 1 a 9. A identificação é realizada por radiofrequência que detecta as tags RFID que estão no interior de fichas de madeira, que possuem as representações dos símbolos braille em alto relevo.

Dessa forma, o objetivo geral desse produto é auxiliar os profissionais da educação especial e os pais de crianças com deficiência visual, oferecendo uma gama de recursos que podem ser adaptadas com outras atividades para contribuir no processo de alfabetização de crianças com deficiência visual. Entre os objetivos específicos: compreender a importância do sistema braille, o processo de alfabetização através do braille, realizar entrevista com professores de braille, desenvolver uma versão eletrônica da cela jumbo, desenvolver um hardware capaz de interpretar blocos e combinação de blocos com símbolos em braille, desenvolver uma ferramenta de auxílio pedagógico para professores de braille, e propor modelo de negócios.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com os dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo demográfico de 2010, mostrou que 3,5% da população brasileira se declararam permanentemente incapaz ou ter grande dificuldade de enxergar, correspondendo, respectivamente, a 528.624 pessoas cegas e 6.056.654 pessoas com baixa visão ou visão subnormal. Um dado preocupante é a taxa de alfabetização, que indica o percentual de pessoas com capacidade de ler e escrever pelo menos um bilhete em língua portuguesa, onde foram analisadas pessoas com 15 anos ou mais de idade. Segundo Oliveira (2012, p.16) todas as regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro Oeste) apresentaram taxas de alfabetização menores, de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, em comparação as taxas de pessoas sem deficiência, logo um dos elementos base dos direitos humanos não é atingido, a igualdade de oportunidades.

Segundo Gonçalves, Meletti, Santos (2015, p. 31) analisando dados do censo demográfico 2010, chegaram à conclusão que “Ao analisar toda a população com deficiência visual acima dos 10 anos de idade verifica-se que, em média, 13% desta população não foi

alfabetizada”. Esse dado demonstra a importância de se investir no processo de alfabetização, pois aquisição da leitura e escrita, por meio do sistema braille, são fundamentais no processo de escolarização e favorecem a plena inserção na sociedade. A carência de recursos tecnológicos durante o processo de alfabetização do deficiente visual, submete os profissionais da educação especial a confeccionar seus próprios recursos didático-pedagógicos.

Por meio de buscas na internet, foi constatado a existência de poucos produtos eletrônicos com foco na alfabetização de pessoas com deficiência visual. A maioria destes dispositivos se encontram em vários idiomas, exceto na língua portuguesa. Um desses produtos é o dispositivo Taptilo, que possui o modo de autoaprendizagem e um modo ensino, sendo indicado para crianças na fase pré-escolar (STARTUP RADAR, 2018), entretanto (TAPTILO, 2020) custa, aproximadamente, 1.400 dólares e possui os idiomas inglês, coreano e árabe. Enquanto o dispositivo The Read Read custa metade do produto anterior, sua principal característica é sua autonomia de uso por parte do deficiente visual, contudo suas funções se resumem ao usuário ouvir a pronúncia das letras e palavras.

O produto Sena apresenta uma série de recursos táteis e sonoros, para auxiliar o professor alfabetizador ou os pais da criança, na construção dos conhecimentos sobre o sistema braille. Sena é dividido em dois módulos, no primeiro módulo, temos a Cella eletrônica braille em que o aluno aprende os pontos da cela, orientação espacial e letras, no segundo, o módulo Scanner braille, que permite o aluno ler símbolos individualmente, formar palavras e expressões matemáticas utilizando fichas em forma de cartão, que contém os símbolos em braille. Dessa forma, o aluno tem liberdade para repetir os processos quantas vezes forem necessárias para fixação do conhecimento, enquanto o professor pode combinar diversas atividades com uso dessa ferramenta.

1.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia envolveu uma pesquisa descritiva para compreender o processo inclusão escolar de pessoas com deficiência visual no Brasil. Foi realizada uma pesquisa exploratória através artigos, teses, monografias, livros, revistas e publicações da imprensa para explorar temas como a deficiência visual, o sistema braille, métodos de alfabetização e recursos didático-pedagógicos, além de buscar por produtos semelhantes no mercado. Ademais, foram realizadas entrevistas não padronizadas com 3 professores que fazem atendimento especializado na

Unidade Educacional Especializada José Alvares de Azevedo situada na Rua. Presidente Pernambuco, 497-Batista Campos, Belém-PA, com objetivo de conhecer as estratégias e recursos utilizados na prática por profissionais que vivenciam o problema. Este trabalho utilizou dados de procedência secundária no âmbito do levantamento bibliográfico, assim como dados primários coletados pelas entrevistas, que não serão traduzidos em números, tratando-se de uma pesquisa qualitativa. A finalidade da pesquisa é classificada com aplicada, propondo um recurso tecnológico para amenizar as dificuldades durante o processo educacional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho consiste em um primeiro capítulo contendo a introdução, onde são relacionadas questões como inclusão escolar, recursos didático-pedagógicos e alfabetização de crianças com deficiência visual. No segundo capítulo, apresenta os produtos correlatos, bem como seu funcionamento e características. Enquanto no terceiro capítulo, apresenta-se o desenvolvimento detalhado do produto, através de subtópicos como: Mercado, público-alvo, tecnologias utilizadas, métodos de alfabetização, sistema braille, entrevistas, construção do produto, funcionalidades, homologação do produto viável (MVP) e comercialização. O quarto capítulo compreende a conclusão do trabalho ressaltando os resultados e dificuldades.

2 PRODUTOS CORRELATOS

2.1 TAPTILO

A Startup coreana OHFA Texh é a desenvolvedora do Taptilo (STARTUP RADAR, 2018), um dispositivo inteligente de educação em braille (figura 1) que custa aproximadamente 1.400 dólares. Este produto apresenta diversos recursos tanto para quem deseja usar como ferramenta de ensino ou para os deficientes visuais que desejam o autoaprendizado. O usuário ler ao tatear os pontos formados em alto relevo (células de leitura) na parte inferior ou pode escrever utilizando os 9 blocos de escritas que são facilmente modificados através de seus pinos.

Figura 1 - Dispositivo Taptilo



Fonte: Taptilo (online)

O usuário modifica o bloco de escrita ao puxar ou empurrar os pinos de acordo com código braille, em seguida, basta aproximar ao compartimento desejado, na parte superior, que de forma magnética fixará o mesmo. A expressão formada pelos blocos pode ser reproduzida em áudio, pressionando o botão de formato circular. O áudio interativo e de orientação tátil tem disponibilidade nos idiomas inglês, coreano, árabe, espanhol, alemão e português.

O aprendizado envolve o alfabeto, números e palavras de nível 1, 2 e 3. Na parte inferior do dispositivo forma-se palavra, número ou letra que são usadas na função Ler e Escrever. Na função ditado o aparelho reproduz o som de uma palavra e o usuário tenta escrever usando os blocos, semelhante ao modo jogo.

As especificações variam de acordo com o modelo. No caso do modelo padrão, possui 51 centímetros de comprimento, 22 centímetros de largura e 13 centímetros de altura. O aparelho pesa 1 quilo e a vida da bateria é de até 15 horas durante o modo de estudo.

Figura 2 - Aplicativo Taptilo



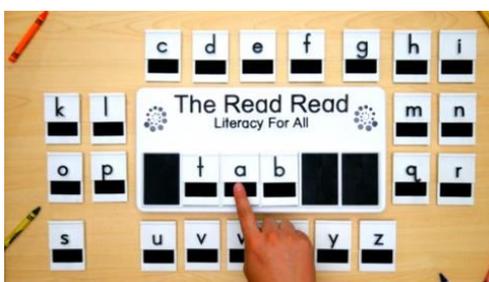
Fonte: Taptilo (online)

A empresa também desenvolveu um aplicativo (figura 2), que pode ser emparelhado via Bluetooth 4.2 ou Wi-Fi 2.4 GHz disponibilizando mais de 17 jogos, atividades, o alfabeto, números e mais de 800 palavras de alfabetização essenciais divididas em categorias com base no nível de leitura que são fundamentais para o autoaprendizado.

2.2 THE READ READ

The Read Read é uma ferramenta que permite os deficientes visuais aprenderem braille e praticarem as habilidades básicas de leitura, em *inglês*, de forma independente. Este produto foi projetado e construído por Alex Tavares, aluno de mestrado da Harvard Graduate School of Education.

Figura 3 - Dispositivo The Read Read



Fonte: The Read Read (online)

Tavares trabalhou por mais de 15 anos como instrutor de alfabetização para crianças e adultos com diversos tipos de deficiência e percebeu que não existia uma ferramenta adequada para que seus alunos pudessem praticar a fonética do alfabeto de forma independente.

O dispositivo é composto por um hardware que dispõe de 6 compartimentos, cada um para comportar uma letra (figura 3). Cada letra do alfabeto está escrita em braille nos blocos retangulares em forma de cartão de crédito. Quando o bloco está encaixado no dispositivo, é possível reproduzir o som da letra, enquanto o usuário tocar no bloco correspondente. O áudio é considerado de alta qualidade, gravado por uma dubladora profissional, em vez de voz sintetizada por computador, característica que foi elogiada pelos usuários durante e depois dos testes.

Segundo o criador, a conexão entre o áudio e os blocos com as letras, imita a interação de um especialista em alfabetização praticando individualmente com um aluno, eliminando assim a necessidade da presença constante do instrutor. O dispositivo foi testado durante 12 meses na mais antiga escola para cegos dos Estados Unidos, a Perkins School, com alunos cegos, alunos com deficiência visual, alunos com espectro autista e alunos com função motora diminuída.

No site da empresa, este produto está sendo vendido por 645 dólares. Tavares também possui um projeto de doação destes dispositivos nos Estados Unidos, através de doações em dinheiro que podem ser feitas pelo mesmo site ou pelo Kickstarter, um site de financiamento coletivo.

3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

3.1 MERCADO E PÚBLICO-ALVO

A inclusão escolar de pessoas com deficiência na rede regular de ensino é garantida por lei, conforme a constituição federal de 1988, estabelece no art. 208º, inciso III: “atendimento educacional especializado aos portadores de deficiência, preferencialmente na rede regular de ensino”, ou seja, escolas públicas e privadas devem fornecer atendimento educacional especializado (AEE).

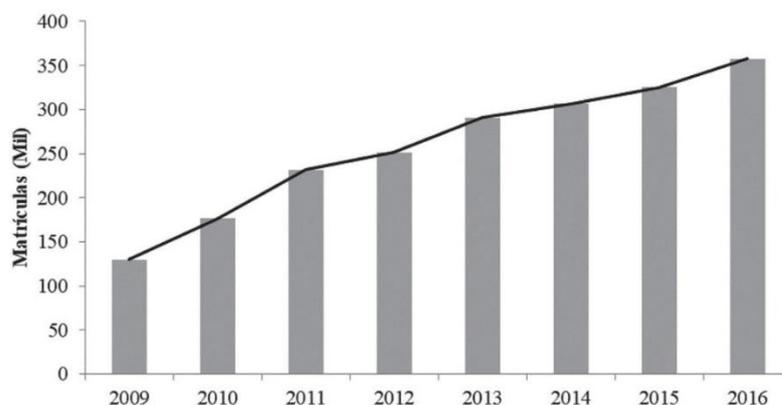
O Ministério da Educação, por intermédio da Secretaria de Educação Especial, considerando a Constituição Federal de 1988, que estabelece o direito de todos a educação; a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva, de janeiro de 2008; e o Decreto Legislativo nº 186, de julho de 2008, que ratifica a Convenção Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (ONU, 2006), institui as Diretrizes Operacionais da Educação Especial para o Atendimento Educacional Especializado – AEE na educação básica, regulamentado pelo do Decreto nº 6.571, de 18 de setembro de 2008. (MEC, 2008).

De acordo com Resolução nº 4/2009 do Conselho Nacional de Educação institui as diretrizes operacionais para o AEE na Educação Básica, estabelece “Art. 2º O AEE tem como função complementar ou suplementar a formação do aluno por meio da disponibilização de serviços, recursos de acessibilidade e estratégias que eliminem as barreiras para sua plena participação na sociedade e desenvolvimento de sua aprendizagem”. O Atendimento Educacional Especializado é realizado, prioritariamente, na sala de recursos multifuncionais que consiste em um espaço físico com equipamentos específicos, recursos didáticos, recursos pedagógicos e de acessibilidade que devem constar no projeto pedagógico da escola.

Analisando micro dados do Censo Escolar da Educação Básica - 2016, Salvini et al (2019) conclui que o AEE, pode operar como uma ferramenta de suporte que eleva o aprendizado dos alunos com deficiência.

Para Salvini et al (2019) houve um avanço considerável no número de matrículas dos alunos da educação especial no AEE, entre os anos de 2009 e 2016, correspondendo a 176% (figura 4).

Figura 4 - Evolução das matrículas no AEE entre os anos de 2009 e 2016



Fonte: Salvini et al (2019)

Segundo a Resolução nº 4/2009 do Conselho Nacional de Educação, dentre as atribuições do professor com formação específica em educação especial, estão “identificar, elaborar, produzir e organizar serviços, recursos pedagógicos, de acessibilidade e estratégias considerando as necessidades específicas dos alunos público-alvo da educação especial” ou seja, aquisição de recursos é realizada pelo professor, conforme necessidades identificadas nos alunos que fazem parte da sala de recursos multifuncionais.

Além das escolas oferecerem o ensino, é de fundamental que estes alunos tenham contato com o sistema braille desde cedo.

O aluno só poderá chegar a esse nível de abstração se estiver exposto e tiver acesso ao sistema braille desde cedo. O aluno vidente está desde bebê exposto à simbologia gráfica: ao desenho, às letras, aos rótulos, livros de história, cartazes, etc. A criança cega, geralmente, terá acesso à simbologia gráfica em relevo só quando estiver na fase de alfabetização (MEC, 2001).

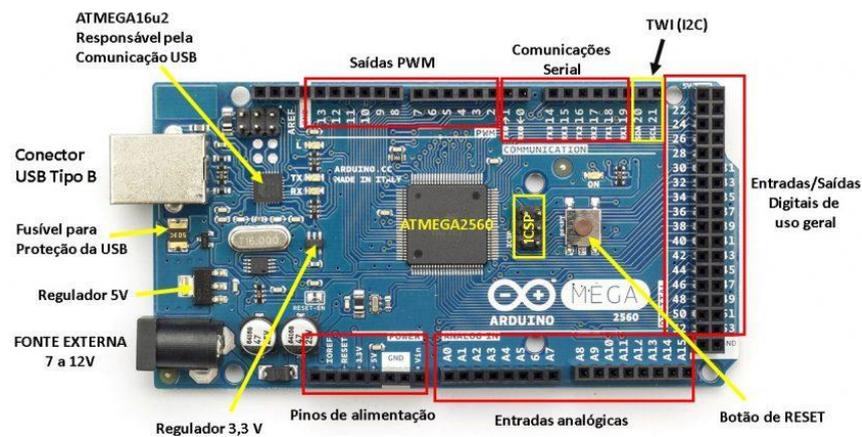
Por isso a importância de a família aprender o sistema braille também, para que possa acompanhar, motivar e orientar a criança no processo de aquisição da escrita e leitura. Portanto, o público-alvo deste produto são escolas públicas e privadas que ofertam Atendimento Educacional Especializado e pais ou responsáveis por crianças com deficiência visual.

3.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

3.2.1 Arduino Mega 2560

Para controlar todos os componentes eletrônicos do projeto usamos a plataforma de prototipagem Arduino Mega 2560, pois em comparação com outras placas da plataforma Arduino, é a que disponibiliza maior quantidade de pinos de entradas e saídas (figura 5).

Figura 5 - Arduino Mega 2560



Fonte: Embarcados (online)

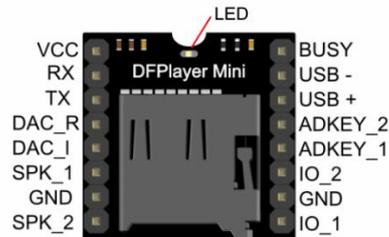
Baseado no microcontrolador ATmega2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais, além de 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação serial (SOUZA, 2017).

3.2.2 DF Player Mini

As músicas, pronúncias e comandos do dispositivo Sena são realizados pelo módulo MP3 DF Player Mini, que possui grande capacidade de armazenamento e reprodução de arquivos de áudio, podendo ser controlado usando a placa Arduino Mega 2560 via interface serial.

Os arquivos de áudio são armazenados em um cartão Micro SD de até 32GB e encaixado na parte superior (figura 6).

Figura 6 - DFPlayer Mini



Fonte: Arduino e Cia (online)

São aceitos arquivos nos formatos MP3, WAV, WMA, nesse sentido nossa aplicação escolheu o formato MP3. Soldamos resistores de $1k\Omega$ nos pinos RX e TX afim de reduzir os ruídos na comunicação serial.

Podemos escolher duas formas de organizar os arquivos de áudio no cartão micro SD, tal escolha reflete nas quantidades de arquivos que podem ser armazenados e sua forma de chamar via programação.

Figura 7 - Pastas do cartão de memória

Nome	Data	Tipo
01	24/05/2021 08:44	Pasta de
02	24/05/2021 08:44	Pasta de
03	24/05/2021 08:44	Pasta de
04	24/05/2021 08:44	Pasta de
05	24/05/2021 08:44	Pasta de
06	24/05/2021 08:44	Pasta de
07	24/05/2021 08:44	Pasta de
08	24/05/2021 08:44	Pasta de
09	24/05/2021 08:44	Pasta de
10	24/05/2021 08:44	Pasta de

Fonte: Autor

Optamos pela configuração com maior capacidade (figura 7), em dados de áudio classificados por pasta, em que suporta até 100 pastas, cada pasta pode conter até 255 músicas.

. Além disso, segundo orientação do *datasheet*, a nomeação dos arquivos preciso seguir o padrão de 3 dígitos como mostra a figura 8.

Figura 8 - Arquivos da pasta 1

Nome	Tamanho	Comprime
001	24 KB	00:00:00
002	24 KB	00:00:00
003	28 KB	00:00:01
004	24 KB	00:00:00
005	18 KB	00:00:00
006	25 KB	00:00:01
007	28 KB	00:00:01
008	26 KB	00:00:01
009	23 KB	00:00:00
010	32 KB	00:00:01
011	28 KB	00:00:01

Fonte: Autor

O cartão de memória micro SD usando neste projeto tem capacidade de 16GB, considerando que maioria dos arquivos de áudio do dispositivo não ultrapassa os 5 segundos, então temos espaço em memória suficiente para o projeto.

3.2.3 Leitor RFID RC522

O leitor RFID RC522 implementado neste projeto devido seu baixo custo, frequência de operação e fácil programação (figura 9). O leitor é altamente utilizado em comunicação sem contato a uma frequência de 13,56MHz.

Figura 9 - Leitor RC522



Fonte: Mundoprojetado (online)

Este chip da empresa NXP, de baixo consumo e pequeno tamanho, permite sem contato ler e escrever em cartões que seguem o padrão ISO/IEC 14443A. O padrão de leitura foi crucial para diminuir os custos do projeto ao investir em etiquetas do tipo NFC NTAG213.

3.2.4 Etiquetas NFC NTAG213

As etiquetas inteligentes possuem tecnologia NFC, uma versão mais recente e aprimorada da mesma tecnologia RFID. A etiqueta escolhida é a NTAG213 (figura 10), da mesma empresa do leitor RC522, com mesmo protocolo ISO 14443A e frequência de operação de 13,56 MHz, o que permite a comunicação entre ambos. Funciona a distância de 3 cm e possui 23 mm de diâmetro, características ideais para construção das fichas de madeira. Cada tag possui um identificador único, como por exemplo a sequência “04 AC 41 32 8B 5D 80”, assim podemos manipular e relacionar esta informação usando programação. Nesse projeto, as etiquetas foram relacionadas aos símbolos do sistema braille.

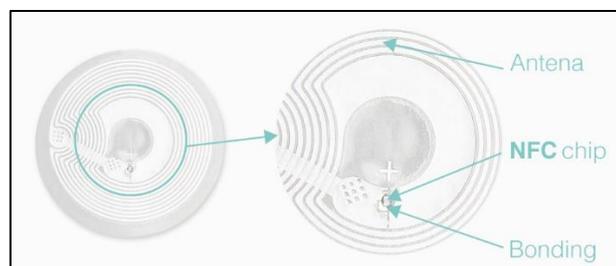
Figura 10 - NFC NTAG213



Fonte: Eletrogate

As tags RFID possuem uma antena e um circuito integrado em seu interior, para fazer a comunicação com o dispositivo leitor figura 11.

Figura 11 - The NFC Antenna



Fonte: NFC-inovation (online)

A antena é basicamente um enrolado de fios (bobina) e ela normalmente ocupa boa parte do espaço interno da tag (GUIMARÃES, 2021).

3.2.5 Sensor de Obstáculo

Os sensores de obstáculos funcionam através de reflexão de infravermelho, no qual um LED emissor IR e um LED fototransistor IR instalados lado a lado podem detectar objetos que cruzem o raio de ação. A tensão de alimentação varia entre 3,3V e 5V, com um pino OUT que fica em nível baixo caso sensor detecte algo.

Figura 12 - Sensor de obstáculo



Fonte: blog masterwalkershop (online)

Na figura 12 podemos ver um cubo azul no meio do sensor, trata-se do potenciômetro para controle da sensibilidade que varia entre 2 cm e 30 cm. Por meio de 6 sensores como esse, foi possível detectar as bolas no módulo Cella Eletrônica Braille, ajustando o nível de sensibilidade para 2 cm.

3.2.6 Encoder Rotativo KY-040

O módulo encoder rotativo KY-040 foi a melhor solução encontrada para selecionar as funções do dispositivo Sena, promovendo usabilidade ao projeto ao reduzir o número de chaves push button.

Figura 13 - Encoder rotativo KY-040



Fonte: Arduino e Cia (online)

Além de possuir um botão no eixo que atribuímos a função de reproduzir áudios explicam a função de cada modo selecionado (figura 13). A precisão do encoder rotativo surge

da conversão de movimentos rotativos em impulsos elétricos de onda quadrada, 20 pulsos a cada volta.

3.2.7 Motor de Passo Nema 17

O custo do projeto foi alavancado pelo motor de passo Nema, pois o motor de passo modelo 28BYJ-48 indicado para Arduino, apesar de baixo custo, não cumpriu os requisitos de velocidade, precisão e torque. Por outro lado, o motor de passo Nema 17 (figura 14), modelo 17HS4401 utilizado neste projeto cumpri os requisitos para além do necessário como, por exemplo, o torque de 4kg. Outro fator importante para sua escolha é a quantidade de material disponível na internet sobre procedimentos de configuração com a plataforma Arduino através do Driver A4889.

Figura 14 - Motor de passo 17HS4401



Fonte: Casa da Robótica (online)

Algumas características do motor 17HS4401 na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Especificações motor 17HS4401

Especificações	
Modelo	17HS4401
Ângulo do Passo (°)	1,8
Largura do Motor L (mm)	40,4
Corrente (A)	1,7A
Resistência da Fase: (ohm)	1,5
Holding Torque (Kg.cm)	4
Número de fios (NO.)	4
Torque (g.cm)	200
Peso do Motor	298g
Aumento da Temperatura	80deg Max
Temperatura Ambiente	entre 20°C e 50°C
Tamanho do cabo	37,37cm

Fonte: Casada robótica (Online)

3.2.8 Driver A4988

Para controlar o motor de passos por meio do Arduino usamos o módulo Driver A4988, baseado no chip A4988 que possui duas pontes H com transistores FET DMOS (controle de motores bipolares), proteção contra curtos-circuitos nas saídas e pouca dissipação de calor.

Permite 5 modos de controle de passo, estes descritos como completo (full step), $\frac{1}{2}$ passo, $\frac{1}{4}$ de passo, $\frac{1}{8}$ de passo e $\frac{1}{16}$ de passo. O chip energizado com 3.3V a 5V e tem capacidade de controle para saídas de até 35V a 2A para os motores.

Quadro 1 - Pinos Driver A4988

Pinos	Descrição
STEP (passo)	Um sinal com transição de baixo para alto avança um passo
DIR	Permite a alteração no sentido da rotação do motor
ENABLE	Um sinal baixo ativa os drivers do motor
RESET	Um sinal baixo dá um reset no chip, desativando todos os drivers de saída
SLEEP (dormir)	Esse pino quando negativo, desabilita alguns circuitos internos para economizar energia
MS1, MS2 e MS3	São entradas para selecionar o modo da sequência dos passos (micro stepping)

Fonte: Blog Eletrogate (Online)

No quadro 1 temos a descrição de alguns pinos do driver A4988, exceto os de alimentação.

3.2.9 KiCad

O desenvolvimento do desenho esquemático do circuito utilizou o software de código aberto KiCad, mais especificamente a ferramenta Eeschema. A maioria dos componentes foram desenhados, exceto os que já fazem parte da biblioteca como o Arduino Mega 2560, buzzer, swith, encoder rotativo, resistores e conectores P4.

A escolha do programa considerou trabalhos futuros usando o mesmo desenho esquemático, considerando que a ferramenta Pcbnew, presente no KiCad, utiliza o esquema para formular o layout da placa de circuito impresso.

3.3. MÉTODO DE ALFABETIZAÇÃO

Na pedagogia existem diversas discussões sobre qual o melhor método de alfabetização (para crianças videntes) e, de acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, existem poucos debates no contexto do aluno cego, dessa forma este trabalho não tem como objetivo determinar qual método deve ser seguido pelo profissional ao utilizar este produto, tendo em consideração que dependendo do grau de limitação do aluno, abordagens diferentes são necessárias. Entretanto, conforme Martins e Spechela (2012, p. 6) no processo de alfabetização, o método pode ser visto como um guia, dotado de objetivos para facilitar aquisição das habilidades de leitura e escrita de acordo com as necessidades dos alunos. Nesse sentido, a escolha do método de alfabetização, incorporado na construção desse produto, teve como referência um documento do Ministério da Educação publicado em 2001, entre outros trabalhos acadêmicos.

Como descrito por Frade (2005), podemos dividir os tradicionais métodos de alfabetização em métodos sintéticos e métodos analíticos. Os métodos sintéticos seguem das partes para o todo, ou seja, primeiro as letras, sílabas e depois as palavras. Enquanto os métodos analíticos partem do todo para as partes, assim são analisadas as palavras, frases e texto. Dessa forma, entre esses dois grupos de métodos, os sintéticos são os mais recomendados aos deficientes visuais, uma vez que estes métodos trabalham em grau superior, o sentido da audição para relacionar com os sinais.

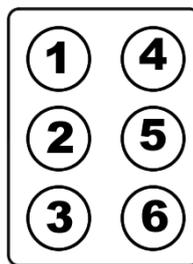
Os métodos sintéticos, em geral, parecem privilegiar o sentido do ouvido na relação com os sinais gráficos e neles eram comuns os exercícios de leitura em voz alta e o ditado: todas estas atividades guardam coerência com um tipo de pressuposto: o da transformação da fala em sinais gráficos (FRADE, 2007, p. 25).

Os métodos de aprendizado sintéticos estão incorporados neste produto, na medida em que o aluno avança de conceitos simples como a letra e números, para conhecimentos complexos como as palavras e operações matemáticas. Conforme afirma Gonçalves (2016, p. 3) sobre os métodos sintéticos “Nele, o ensino parte de unidades menores às unidades maiores, compreendendo a aprendizagem da escrita como um processo cumulativo em que, sequencialmente, as crianças aprendem as letras, as sílabas, e assim, em direção ao domínio do texto [...]”.

3.4 O SISTEMA BRAILLE

O sistema braile é composto por 63 sinais que são formados através da combinação de seis pontos. Como mostra a imagem, os 6 pontos enumerados 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são dispostos em um espaço denominado *cela braile* ou *célula braile* como mostra a figura 15. Uma cela vazia também é considerada um sinal do sistema braile por alguns especialistas, sendo assim, o sistema possui um total de 64 sinais.

Figura 15 - Cela braille



Fonte: Profcardy (online)

A numeração dos pontos segue orientação de cima para baixo e da esquerda para direita. Na coluna da esquerda temos os pontos 1, 2 e 3; na coluna da direita temos os pontos 4, 5 e 6.

Figura 16 - Ordem braille

1ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

2ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

3ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

4ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

5ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

6ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

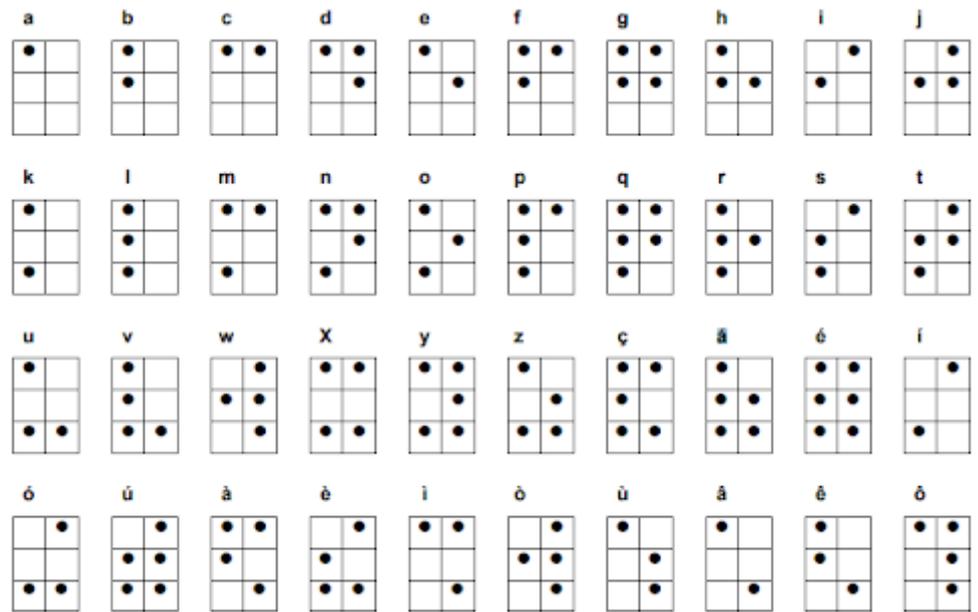
7ª série:
 ⠠ ⠡ ⠢ ⠣ ⠤ ⠥ ⠦ ⠧ ⠨ ⠩

Fonte: Grafia braille pala língua portuguesa (MEC)

Na figura 16 temos a representação dos 63 sinais simples do Sistema Braille em uma sequência chamada *ordem braille*, na qual é dividida em sete séries.

Com esses 63 símbolos é possível representar o alfabeto, números, pontuação, sinais acessórios, sinais usados com números etc. Entretanto, este projeto se restringe ao processo de alfabetização, sendo assim serão usados apenas os sinais relacionados as letras (figura 17), números e operações matemáticas (figura 18).

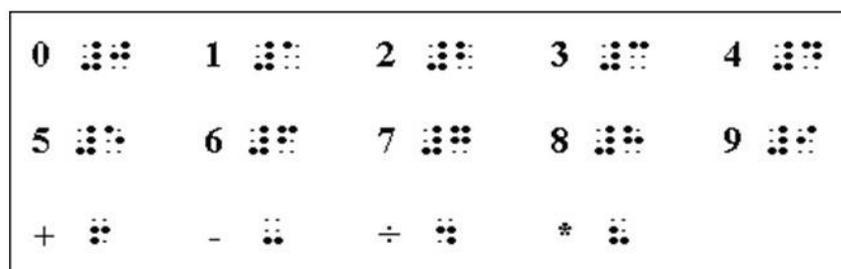
Figura 17 - Alfabeto completo em braille



Fonte: Fisicaembraille (UFPR)

Observe que os números (figura 18) são formados usando os símbolos da letra “a” até a letra “j” antecidos por um símbolo em comum, este chama-se símbolo de número.

Figura 18 - Sistema decimal em braille



Fonte: Matemática e a deficiência visual (FAFIUV)

3.5 ENTREVISTAS

Para este trabalho foram realizadas entrevistas não padronizadas com três profissionais que trabalham na alfabetização de crianças e adultos com deficiência visual na UEE José Álvares de Azevedo. A entrevista com professor Jarbas Marcelino Costa da Silva foi realizada no dia 17 de junho de 2021 às 14h10min em Belém, teve duração de 1h10min. As entrevistas com as professoras Márcia Dolores Almeida da Silva e Telma Lúcia Lobato ocorreram juntas, via videoconferência também no dia 17 de junho de 2021 às 14h20min, com duração de 14min.

3.5.1 Entrevista com Jarbas Marcelino

O professor cego, Jarbas Marcelino Costa da Silva, possui graduação em Letras pela Universidade Federal do Pará (1993), Especialização em Educação e Problemas Regionais, pelo Centro de Educação da Universidade Federal do Pará (2001), Pós-graduação em Leitura e Produção de Textos pela PUC Minas, Pós-graduação em Educação Profissional e Tecnológica pelo IFMS entre outras formações. É professor de braille há cerca de 16 anos, atualmente professor de informática e alfabetização no Instituto José Álvares de Azevedo.

Jarbas explicou que o braille é um método tátil, então crianças e adultos precisam passar por um processo de estimulação sensorial e, tratando-se de crianças, essa estimulação é mais intensificada. Essa estimulação ocorre de várias formas, desde uso de bolinhas de papel de papel à materiais de diversas texturas. Objetivo é que a criança consiga diferenciar a disposição dos pontos em uma cela impressa. Segundo Jarbas, as habilidades de noção espaço entre pontos e os sentidos de direção (cima, baixo, direita e esquerda), são necessários para introdução das letras para as crianças.

Sobre o método mais adequado, explica que o cego se alfabetiza pelo método analítico, mas existem diversos métodos e a escolha depende do educador. Perguntado sobre recursos didáticos-pedagógicos, relatou que cerca de 60% dos recursos presentes no instituto são confeccionados pelos professores com materiais simples ou reciclados. Afirma que são poucos recursos que envolvam aspecto tecnológico, apenas computadores e alguns brinquedos que emitem, por exemplo, som ao apertar.

3.5.2 Entrevista com Márcia e Telma

As mesmas perguntas foram feitas as duas professoras e respondidas de forma intercalada. Márcia Dolores Almeida da Silva, 43 anos de idade, trabalha como professora de braille há 8 anos, enquanto a pedagoga Telma Lúcia Lobato é licenciada em Educação Especial, trabalha há 7 nesta área, mas tem outras experiências fora da SEDUC com educação especial.

Perguntadas sobre quais habilidade uma criança deve possuir para ser considerada alfabetizada, Márcia explica que a criança alfabetizada deve dominar o mecanismo de leitura e escrita, compreender vários contextos linguísticos e conseguir expressar seu pensamento através do ato de escrever e ler, ou seja, liberar a criatividade e a imaginação através da linguagem oral e escrita. Ressalta que o fato da criança aprender os pontos do alfabeto em braille não a caracteriza como alfabetizada, pois alfabetizar vai muito além disso. Telma se propôs a complementar a resposta da Márcia, dizendo que, anteriormente, passava-se a ideia de que alfabetizar com braille era só ensinar os pontos. Dessa forma, elas (professoras) estão tentando mudar modo de alfabetizar e letrar, porque o aluno precisa saber ler, escrever e interferir na realidade em que vive.

Sobre recursos usados, Márcia explica que o fato de trabalharem muito com crianças, usam muito o lúdico, por meio de jogos adaptados em braille, jogos de percepção tátil entre outro, pois precisam estimular muito o tátil desses alunos e outras percepções como um todo, para que a criança consiga explorar o mundo ao redor em que ele vive. Telma conta que o processo é longo, começando pela estimulação tátil, que todo processo vivenciado pelas crianças videntes (enxergam) como, por exemplo, cortar, recortar, amassar e pintar são também exercidos com alunos cegos, justamente, para eles desenvolverem também as habilidades motoras, a partir disso eles podem entrar em recursos específicos do braille como a reglete, a punção e a máquina braille. Professora Telma também esclarece que todos os recursos precisam ser adaptados para o aluno ter acesso, porém não são tão diferentes do ensino regular das crianças videntes. A professora Márcia complementou que essas primeiras etapas relatadas pela Telma fazem parte do chamado Pré-Braille, onde são ensinados conceitos básicos antes do braille propriamente dito. Nessa etapa o aluno executa processos como, por exemplo, abrir, fechar, tampar e destapar são conceitos simples e necessários.

As professoras relatam trabalhar bastante com celas braille adaptadas, como a cuba de ovo por ser um material sem custos e reciclável. Márcia exemplifica outros materiais como

botões, miçangas, isopor, caixas de leite e outros. Perguntado qual porcentagem dos materiais usados são confeccionados pelos professores, Telma e Márcia estimam que são 70%, pois além disso são usados apenas a reglete (mais acessível aos alunos em termos de custo) e a máquina braille que a maioria dos alunos não tem condições de comprar. Telma acrescentou que existe dificuldade em achar recursos para comprar.

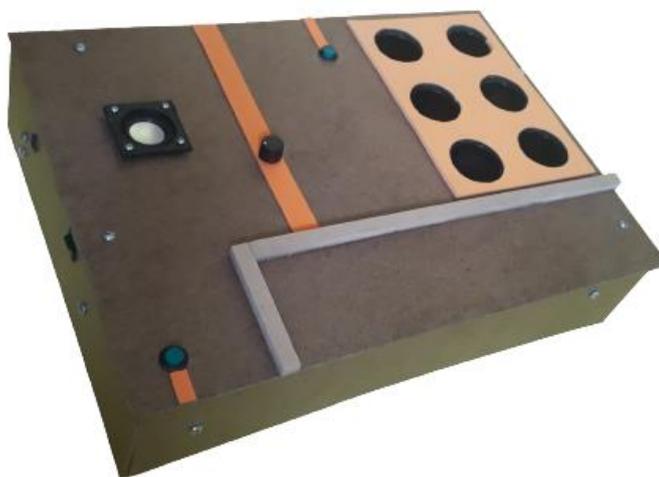
Segundo as educadoras, instituto trabalha com setores, assim o aluno percorre estes setores como Alfa-braille, Psicomotricidade, Sociopedagógico, Brinquedoteca, Pré-Bengala, Informática e AVA (Atividades de Vida Autônoma). Os setores responsáveis pela preparação do aluno, já inicializam os primeiros contatos com o braille, pois algumas crianças chegam no primeiro ano do ensino fundamental sem nunca ter contato com o sistema. Dessa forma, o aluno inserido na escola com o mínimo de trabalho motor, já é de grande ajuda para seu desenvolvimento.

3.6 CONSTRUÇÃO DO PRODUTO

3.6.1 Dispositivo

Sena tem como objetivo construir conhecimentos, então é dividido em dois módulos que possuem objetivos diferentes, mas que se complementam seguindo o método sintético (figura 19).

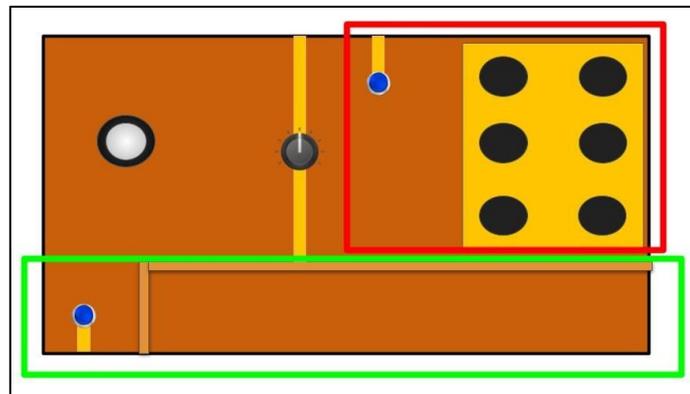
Figura 19 - Imagem produto Sena



Fonte: Autor.

No primeiro módulo temos a chamada Cella Eletrônica Braille, onde a criança compreende a leitura dos pontos da cela, aprende a grafia braille do alfabeto e exercita de vários modos, enquanto no segundo módulo, faz uso do Scanner Braille para formar palavras, números e realizar operações matemáticas. Os módulos estão localizados na periferia do produto essa configuração espacial tem como objetivo reduzir a área ocupada pelo equipamento e oferecer melhor ergonomia. Demarcado em vermelho a região do módulo Cella Eletrônica Braille, na cor verde a região do módulo Scanner Braille (figura 20). Uma lista informando quais as letras, palavras, números e expressões matemáticas podem ser reproduzidas acompanham este produto para orientar professores e pais.

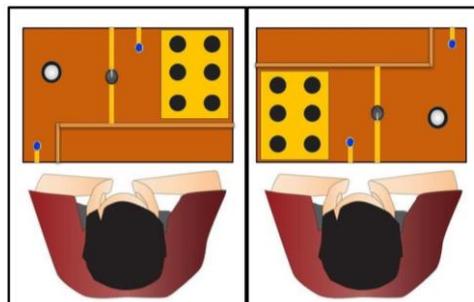
Figura 20 - Destacando módulos



Fonte: Autor

A posição do produto frente ao usuário depende do módulo em uso como apresentado na figura 21, na primeira imagem a esquerda a posição do módulo Scanner Braille e na imagem da direita a posição do módulo Cella Braille Eletrônica.

Figura 21 - Posição do produto



Fonte: Autor

Os botões na parte de cima do dispositivo podem ser identificados pelo deficiente visual através do tato, seguindo o relevo das tiras de cartolina de etileno acetato de vinila (EVA), para que assim, o usuário com visão prejudicada possa operar com autonomia. O EVA de maior espessura foi aplicado para delimitar a área da Cela.

Na imagem 22, temos o dispositivo aberto para facilitar a compressão da disposição geral dos componentes no seu interior, devido as próximas imagens retratarem apenas partes específicas.

Figura 22 - Visão geral interna



Fonte: Autor

A figura 23 mostra a lateral do dispositivo com entrada de alimentação 12V pelo conector Jack P4 fêmea, ao lado a chave gangorra para acionamento.

Figura 23 - Visão lateral

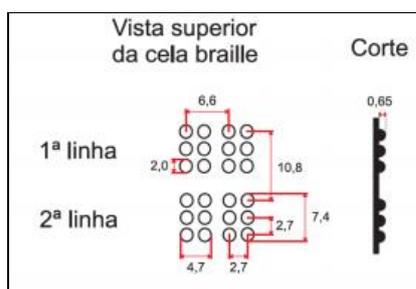


Fonte: Autor

3.6.2 Cella Eletrônica Braille

As medidas da cela braille padrão em textos impressos, de acordo com a Norma Brasileira – ABNT NBR 9050, compreende a forma de um retângulo com 4,7 mm de base por 7,4 mm de altura como mostra a figura 24 (MEC, 2018, p. 105).

Figura 24 - Medidas da cela braille NBR 9050



Fonte: MEC

Notamos que a cela braille padrão em materiais impressos possui dimensões diminutas, o que impossibilita a criança com poucas habilidades táteis interpretar o código. Dessa forma, se faz necessário desenvolver as habilidades táteis dessa criança durante o processo de alfabetização.

A escrita em relevo e a leitura tátil baseiam-se em componentes específicos no que diz respeito ao movimento das mãos, mudança de linha, adequação da postura e manuseio do papel. Esse processo requer o desenvolvimento de habilidades do tato que envolvem conceitos espaciais e numéricos, sensibilidade, destreza motora, coordenação bimanual, discriminação, dentre outros aspectos. Por isso, o aprendizado do sistema braille deve ser realizado em condições adequadas, de forma simultânea e complementar ao processo de alfabetização dos alunos cegos (MEC, 2007).

Nesse sentido, um dos recursos utilizados pelos educadores e também recomendado pelo MEC, é a “Cela jumbo” ou simplesmente “Cela braille”, com a característica de possuir proporções superiores ao padrão, na qual a criança aprende o funcionamento da cela, a grafia dos símbolos, exercita a leitura e construção dos símbolos.

A cela jumbo é normalmente confeccionado pelo professor alfabetizador, utilizando materiais simples, como caixas de ovo e bolas de plástico, como podemos visualizar na figura 25.

Figura 25 - Cela braille na caixa de ovo



Fonte: aprendendo a ensinar (online)

Além disso, também podemos confeccionar utilizando tampinhas de garrafa, como no exemplo produzido por Nogueira (2018) na figura 26, onde descreve “Para cada Cela: 6 tampinhas de garrafas; um retângulo de 9 x 14 cm, pode ser usado o papelão ou resto de E.V.A; para os pontos: bolinhas de gude, círculos de EVA, bolinhas de papel amassadas ou outro”. A pesquisa identificou diversas formas de confecção em *blogs* e na plataforma de vídeos *youtube*, que seguem o mesmo princípio dos exemplos acima.

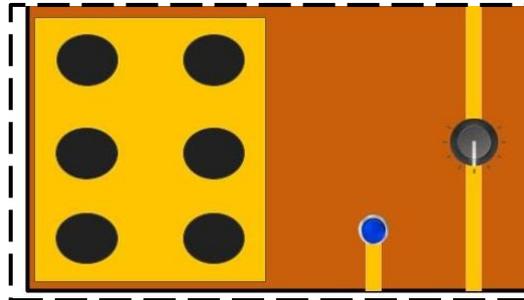
Figura 26 - Cela braille com tampinhas de garrafa



Fonte: IFPA Campus Paraíso do Tocantins (online)

Com base nesse recurso, buscamos com uso da tecnologia torná-lo mais interativo ao possibilitar que o usuário reproduza a pronúncia da letra formada. Este módulo do produto Sena é chamado Cela Eletrônica Braille (figura 27).

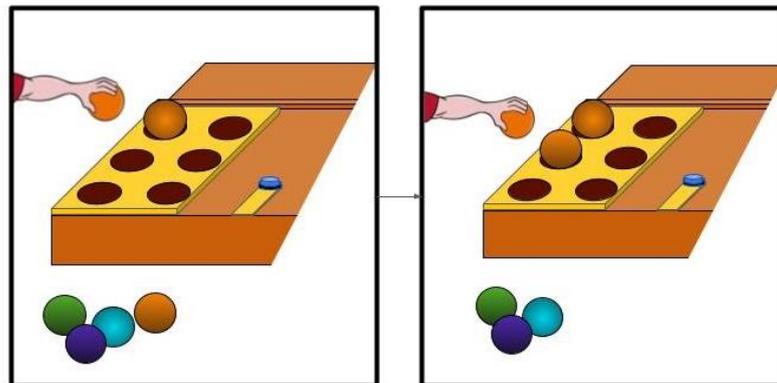
Figura 27 - Ilustração com destaque a Cella Eletrônica Braille



Fonte: Autor

Seguindo o modelo das celas confeccionadas anteriormente, temos seis cavidades que representam os pontos da cela braille, entretanto, na parte inferior direita temos um botão (figura 28), no qual o usuário após colocar as bolas em suas posições, pressiona para que o som da letra seja reproduzido.

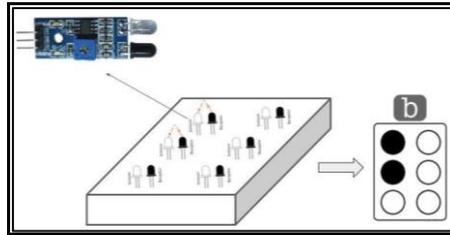
Figura 28 - Ilustração posicionando bolas



Fonte: Autor

Na imagem exemplo da figura 29, o usuário posiciona as bolas respectivamente nos pontos 1 e 2, que em braille representa a letra “b”. A Cella Eletrônica Braille detecta quais cavidades possuem uma bola encaixada, para isso faz uso de sensores de obstáculo infravermelho que estão posicionados internamente nos referidos pontos do módulo (figura 12).

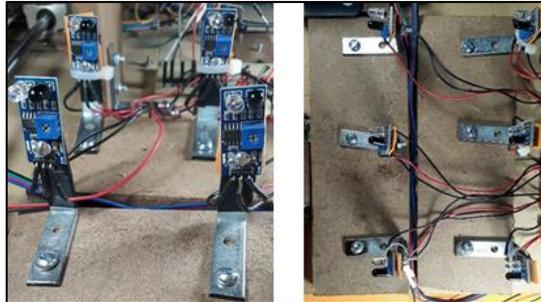
Figura 29 - Ilustração sensores de obstáculos acionados



Fonte: Autor

Para fixação dos sensores de obstáculos foram utilizados suportes de metal em formato “L” (figura 30).

Figura 30 - Fixação dos sensores de obstáculo



Fonte: Autor

Mesmo fazendo o ajuste mínimo na detecção de distância que corresponde a 2 cm, os sensores ainda assim detectavam distâncias acima de 2 cm, para resolver este problema foram instaladas buchas de redução de PVC que foram pintados na cor preta com objetivo de não refletir o infravermelho, de modo a isolar o perímetro de detecção de cada sensor. As buchas de redução longa de 50mm para 40 mm também são importantes para evitar o contato de uma criança com a parte elétrica interna do dispositivo, além de favorecer o encaixe da bola na secção de 50mm. Cada uma das seis buchas possuem um furo para passagem do LED emissor infravermelho e um LED fototransistor infravermelho presentes em cada um dos seis sensores de obstáculo (figura 31).

Figura 31 - Visão superior sensores



Fonte: Autor

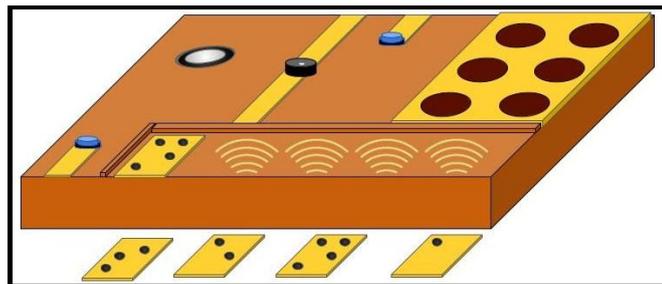
Dessa forma, a lógica de programação em linguagem C++ inserida no Arduino Mega 2560, obtém os dados de entrada (posições detectadas) e executa o bloco de código correspondente à condição identificada

Ao apertar o botão, um arquivo em formato MP3, contendo a pronúncia da letra, é reproduzido em um alto-falante de 3W. Os arquivos de áudio ficam armazenados em um cartão de memória microSD conectado ao módulo MP3 DFPayer mini que, ao receber a instrução do Arduino, reproduz o arquivo de áudio.

3.6.3 Scanner Braille

Após a criança desenvolver habilidades no reconhecimento das letras do alfabeto em braille usando uma cela jumbo, através do módulo Scanner Braille (figura 32), ela pode formar palavras, números e formar operações matemáticas usando fichas, dessa forma pode reproduzir a pronúncia das letras, números, palavras ou expressões matemáticas.

Figura 32 - Ilustração Scanner Braille

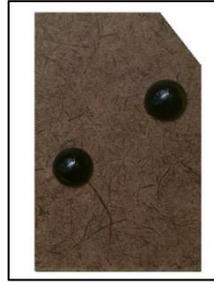


Fonte: Autor

3.5.3.1 Fichas

Diferente da Cela Eletrônica Braille, neste módulo os símbolos já estão codificados em alto relevo nas fichas que o usuário submete a leitura (figura 33).

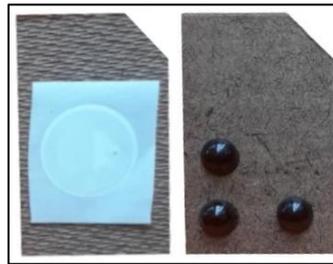
Figura 33 - Modelo de ficha



Fonte: Autor

Cada ficha possui uma etiqueta NFC Ntag 213 ou também chamada de tag RFID. Cada tag está fixa entre duas placas de madeira devidamente coladas (figura 34). Com uma tabua de madeira Duratex de 50X40 cm é possível produzir 36 fichas.

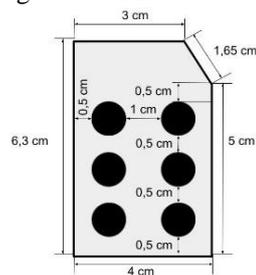
Figura 34 - Tag no interior da ficha



Fonte: Autor

Para facilitar a identificação do símbolo braille por parte do deficiente visual, foram realizados cortes no canto superior direito de cada ficha (figura 35), evitando assim a interpretação incorreta de símbolos que possuem grafia simétrica. Para os pontos em alto relevo foram usadas meias pérolas de 10 mm, fixadas através de cola T6000.

Figura 35 - Medidas da ficha



Fonte: Autor

Na imagem 36 temos o conjunto de fichas desenvolvidos, onde alguns símbolos são iguais, visto que na formação de palavras algumas letras repetem-se, principalmente as vogais.

Figura 36 - Conjunto de fichas



Fonte: Autor

3.5.3.2 Leitor

A identificação das fichas é realizada pelo módulo RFID RC522 (figura 37) que fica conectado ao Arduino Mega2560.

Figura 37 - Leitor RFID RC522



Fonte: Autor

O módulo possui baixo consumo e pequeno tamanho, através de um circuito integrado capaz de escrever e ler dados nas tags por aproximação. A solução para realizar leituras consecutivas de várias fichas dispostas lado a lado em cima do dispositivo foi a criação de uma guia linear. Dessa forma, foi adaptado um suporte em madeira para fixação do leitor RC522 (figura 38), no qual o foco era deixar mais próximo possível da “tampa” para facilitar a leitura e firmar o cabo Flat, sem exercer esforços nas soldas entre o cabo e o RC522.

Figura 38 - Leitor na guia linear

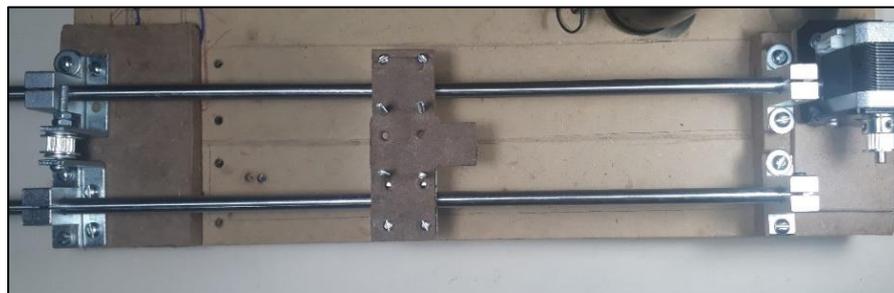


Fonte: Autor

3.5.3.3 Guia linear

Adaptamos uma guia linear para atender a necessidade de movimentar o leitor, para isso foram utilizadas algumas peças. O rolamento linear Pillow Block SC8UU em cada eixo, conectados por uma peça em madeira, onde o leitor será fixado (figura 29).

Figura 39 - Peça de madeira sobre Pillow Block



Fonte: Autor

O eixo retificado com diâmetro de 8mm é que permitem o deslocamento suave do Pillow Block. Os suportes SK8 são os responsáveis pela fixação lateral dos eixos da guia linear.

O comprimento do eixo instalado é de 37 cm, porém a instalação das chaves fim de curso limitaram o espaço de atuação do leitor para 27 cm (figura 40), por consequência isso nos permite identificar até 5 fichas.

Figura 40 - Área de atuação do leitor



Fonte: Autor

As chaves fim de curso não atuam nas operações de leitura, somente em situações após interrupção da energia ou desligamento via chave do dispositivo durante o deslocamento do leitor, dado que sua parada em qualquer outro ponto diferente do configurado, pode acarretar um deslocamento maior na próxima ativação, o que levaria ao contato dos Pillow Blocks com o suporte do eixo, forçando o motor e toda estrutura envolvida. A tração é feita pela correia de 90 cm do tipo GT2 com alma de aço, nas extremidades uma polia GT2 com rolamento e outra polia também GT2 fixada no eixo do motor.

O motor de passo Nema 17, modelo 17hs4401 está ligado ao driver A4988 que nos permite fazer 5 modos de controle dos passos, tudo isso usando apenas 2 pinos do Arduino Mega 2560.

Figura 41 - Tabela de modos de passo

Resolução Micro-passo	MS3	MS2	MS1
Passo completo	0	0	0
meio passo	0	0	1
1/4 passo	0	1	0
1/8 passo	0	1	1
1/16 passo	1	1	1

Fonte: Blog.eletrogate

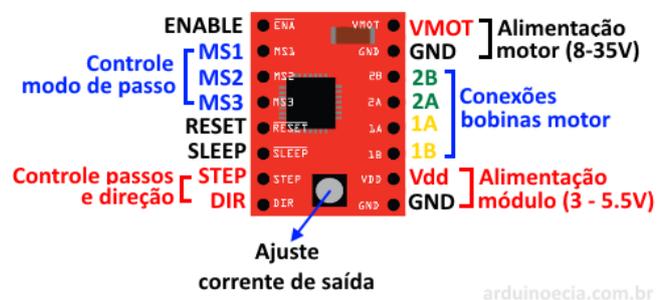
Foram testados os 5 passos (figura 41), os critérios para escolha de um consideraram o ruído gerado, consumo de corrente, tempo entre leituras e a estrutura da guia.

- Quanto menor o passo, menor o consumo de corrente.
- Maior velocidade, possui maior torque, gerando maior ruído e esforço na estrutura.

- O tempo gasto entre retirar as fichas após uma leitura e selecionar as próximas fichas para posicionar sobre o dispositivo supera os 10 segundos, permitindo escolher configuração de passos menores.

Seguindo esses critérios o micro passo escolhido foi 1/8, assim os pinos MS1, MS2 foram ligados aos 5V, enquanto o pino MS3 ao GND (figura 42). Para efetuar uma volta completa nessa configuração são precisos 1600 passos.

Figura 42 - Driver A4988



Fonte: ArduinoeCia (online)

É preciso também limitar a corrente máxima do driver para a mesma corrente máxima do motor, segundo datasheet do motor Nema 17hs4401 a corrente máxima aplicada nas bobinas é de 1,7 amperes (figura 43).

Figura 43 - Especificações elétricas

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Phase Inductance	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Motor Wire Weight (No.) (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10		12	1.6 34		4 150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8		28	1.6 34		4 220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8		28	1.6 34		4 220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35		28	1.6 34		4 220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18		21	1.6 34		6 220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40		14	1.6 34		6 220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8		40	2.2 54		4 280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0		40	2.2 54		4 280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8		28	2.2 54		6 280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28		28	2.2 54		6 280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2		52	2.6 68		4 350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5		52	2.6 68		4 350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6		46	2.6 68		4 350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38		34	2.6 68		6 350

Fonte: MotionKing (Datasheet)

Em posse desse dado, fazemos o cálculo para ajustar a tensão de referência no trimpot:

$$V_{ref} = I_{max} \times 0,8 = 1,7 \times 0,8 = 1,36 V$$

Apesar do valor resultante ser de 1,36V, aplicamos um ajuste de 0,7 V dado o pequeno consumo de corrente identificado pelo multímetro não ultrapassar 0,2 A, na configuração de 1/8 passo.

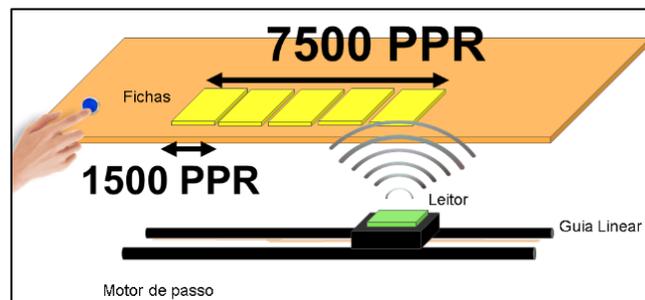
3.5.3.4 Leitura

Podemos reunir a identificação de letras, números, operações matemáticas e palavras em apenas um modo, ou seja, ao apertar o botão verde do modulo Scanner braille, o leitor percorre o espaço de 5 fichas, reproduz o áudio do que foi identificado e retorna o leitor a sua posição inicial. Entretanto, o tempo gasto na leitura de apenas uma letra (uma ficha) ou um número (duas fichas) eram extensos, dado que o leitor precisa percorrer todo espaço para então verificar qual arquivo reproduzir. Sendo assim, optou-se por separar a identificação de letras e números em apenas uma função para identificação ocorrer mais rapidamente, sem frustrar o usuário.

Dessa forma, definimos 3 seguintes modos:

- Modo 1- Identifica letras e números.
- Modo 2- Identifica palavras.
- Modo 3- Identifica operações matemáticas.

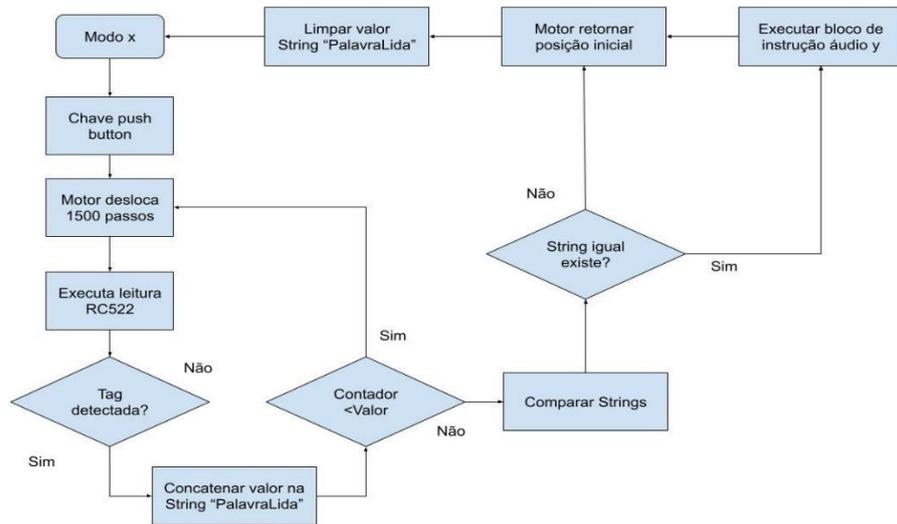
Figura 44 - Deslocamento



Fonte: Autor

Para leitura de uma ficha são necessários 1500 pulsos por revolução, assim ficou definido no modo 1 um deslocamento de 3000 PPR, enquanto no modo 2 e 3 um total de 7500 PPR (figura 44).

Figura 45 - Fluxograma do processo de leitura



Fonte: Autor

Podemos resumir os processos dos 3 modos com um fluxograma (figura 45) onde a cada deslocamento de 1500 passos o contador soma 1 para comparar com a variável “Valor”, para isso definimos Valor igual a 3 no modo1 e Valor igual a 6 nos modos 2 e 3.

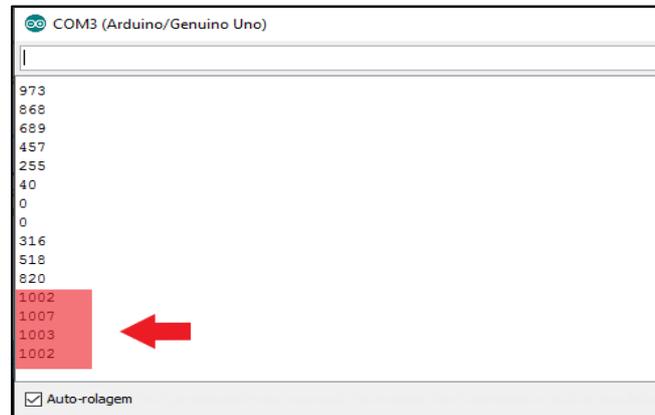
3.6.4 Controle

O dispositivo Sena possui muitas funções, assim buscou-se a melhor forma do usuário selecionar estas funções, seja esse usuário um professor, um deficiente visual ou seus responsáveis. O objetivo principal é atingir a melhor usabilidade no controle dessas funções, também chamadas de modos de operação.

No início do projeto foram utilizadas chaves push button para selecionar os modos de operação, porém no decorrer de sua implementação a usabilidade tornou-se complexa dado a quantidade de chaves sobre o dispositivo.

Outra solução testada foi a implementação do potenciômetro linear no valor de 10 k Ω , porém ocorriam erros na precisão dessas leituras por parte do Arduino Mega 2560. Exemplo de leitura incorreta na figura 46, onde o valor 1007 aparece antes do 1003.

Figura 46 - Leitura serial potenciômetro



Fonte: Boson Treinamentos (online)

Esse erro na leitura da faixa de valores implicava na execução do modo fora da sequência correta, não respeitando as condições como as da figura 47.

Figura 47 - Programação potenciômetro

```
//=====CONDIÇÃO=====
if (valorPotMap > 1 && valorPotMap < 5 ) {
    modo1 = 1;
} else {
    modo1 = 0;
}

if (valorPotMap > 6 && valorPotMap < 10 ) {
    modo2 = 1;
} else {
    modo2 = 0;
}
```

Fonte: Autor

A solução definitiva para esse problema surgiu com a implantação do módulo Encoder Rotativo KY-040, com os seguintes benefícios ao projeto:

- Converte movimentos rotativos em impulsos elétricos de onda quadrada.
- Possui um botão extra, no próprio eixo.

- Reduzir o uso de chaves push button.
- Rotação contínua.

O modelo de chave sem trava adotado é o R16-503B na cor verde (figura 48), possui 2 terminais que foram ligados no modo pull-down.

Figura 48 - Chave R16-503B



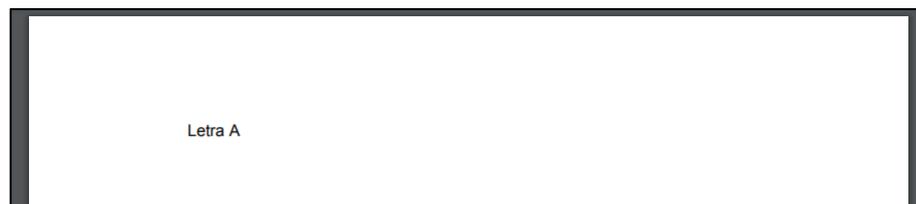
Fonte: Soldafria (online).

3.6.5 Arquivos de Áudio

Para construção dos arquivos de áudio relacionados a pronúncia de letras, números, palavras e comandos foram realizadas as seguintes etapas:

1. Foram produzidos arquivos em PDF com os textos que seriam convertidos em áudio, como exemplo abaixo (figura 49).

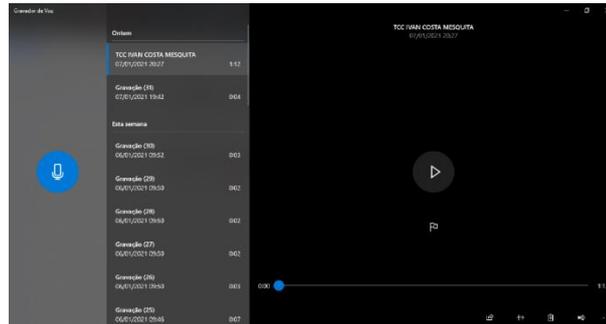
Figura 49 - Word online



Fonte: Autor

2. Para gravação, foi utilizado o aplicativo Gravador de Voz (figura 50), disponível gratuitamente no sistema operacional Windows 10. Antes é necessário realizar as configurações de som do sistema operacional, habilitando apenas a Mixagem Estéreo como dispositivo de gravação, dessa forma é possível capturar o áudio do navegador Microsoft Edge.

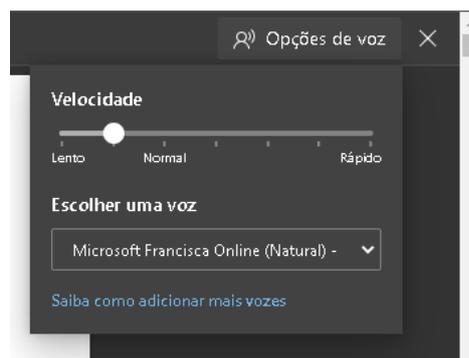
Figura 50 - Gravador de Voz



Fonte: Autor

3. O navegador Microsoft Edge possui o recurso chamado Ler em Voz Alta em seu leitor de arquivos PDF. Ao abrir um arquivo PDF e ativar esta função, é possível selecionar um “tipo” de voz e a velocidade de leitura (TECHDOWS, 2020). Neste trabalho foi usada a voz Microsoft Francisca, conforme desempenho em testes e o fato de ser a única voz pt-BR natural. Através de testes, a velocidade selecionada entre lento e normal, como mostra a figura 51, demonstrou ser mais adequada ao projeto por sua fácil compreensão.

Figura 51 - Configuração leitor

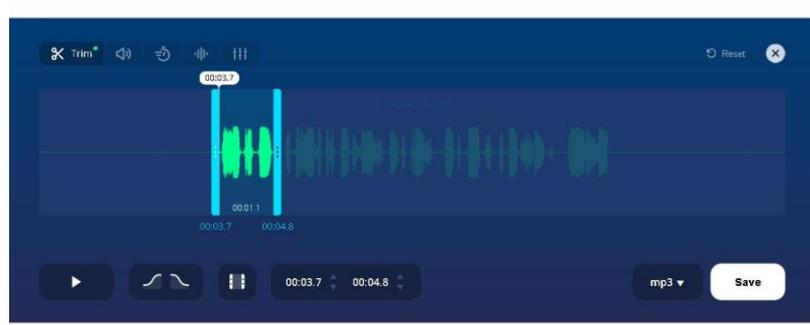


Fonte: Autor

4. Após obter a gravação, é necessário cortar os fragmentos de áudio que possuem apenas a informação desejada. Para este processo foi utilizado o aplicativo Audio Cutter. O arquivo de áudio a ser editado é carregado no aplicativo e são realizados os ajustes de início e fim da trilha arrastando os controles de intervalo ou usando as setas do teclado (figura 52). Posteriormente é preciso salvar no computador, porém o aplicativo Gravador de Voz gera arquivos em formato M4A, diferente dos formatos suportados

pelo módulo MP3 DFPlayer Mini (MP3, WAV, WMA), sendo assim pelo próprio aplicativo Audio Cutter foram feitas conversões para o formato MP3.

Figura 52 - Aplicativo Audio Cutter



Fonte: Autor

3.6.6 Estrutura

A base do dispositivo é feita com um pallet de madeira em MDF com 45 cm comprimento, 32 cm de largura e 0,7 mm de espessura (figura 53). Esta placa de madeira oferece rigidez ao dispositivo, bem como permitiu a fixação de todos os componentes através de parafusos.

Figura 53 - Pallet de madeira

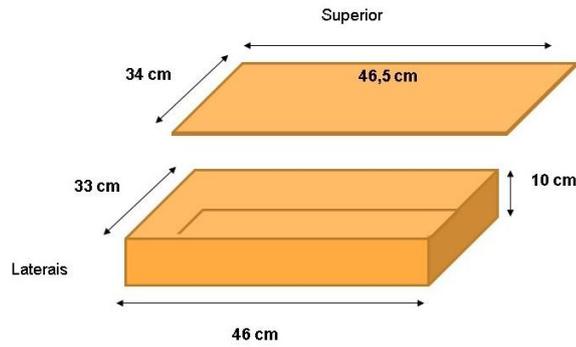


Fonte: Autor

Enquanto o material usado na estrutura das laterais e parte superior do dispositivo advém de 2 tábuas da marca Duratex com 50 cm de comprimento e 40 cm de largura. O mesmo material usado na confecção das fichas.

Após os devidos cortes, a figura 54 mostra as medidas das laterais e tampa superior no dispositivo finalizado.

Figura 54 - Medidas da lateral e parte superior

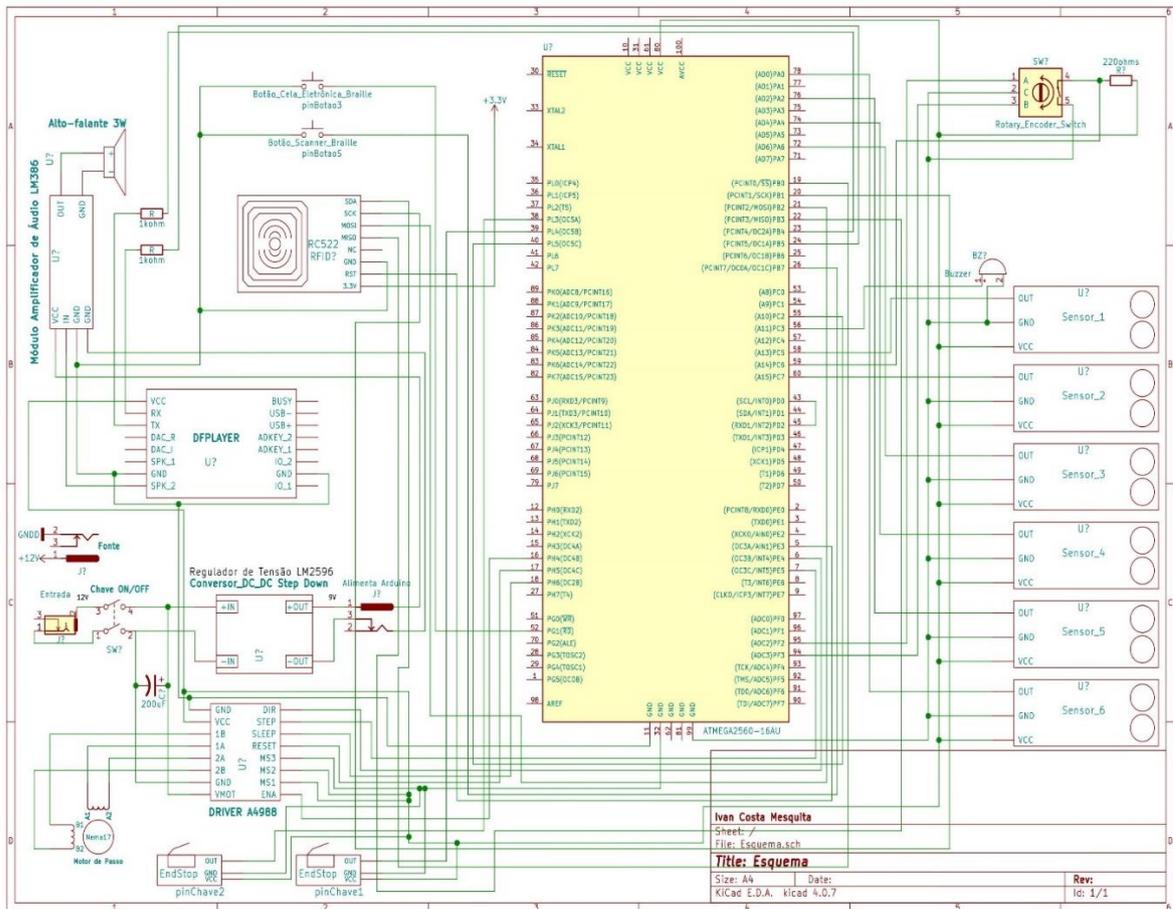


Fonte: Autor

3.6.7 Circuito

Desenho esquemático produzido no programa KiCad:

Figura 55 - Desenho esquemático do circuito



Fonte: Autor

Para montagem do circuito foram utilizados componentes da tabela 2.

Tabela 2 - Componentes do circuito

Componentes do circuito	Quantidade
Módulo DF Player Mini	1
Sensores de obstáculo infravermelho	6
Módulo leitor RFID Mfrc522	1
Módulo encoder rotativo KY-040	1
Alto falante 3w 4 ohms 40mm Woofer	1
Regulador de tensão LM2596	1
Chave fim de curso	2
Chave push button sem trava	2
Chave gangorra 4 terminais	1
Conector Jack P4 fêmea	1
Conector Jack P4 macho	1
Módulo amplificador de áudio LM386	1
Driver A4988	1
Motor de passo Nema 17 (17HS4401)	1
Capacitor eletrolítico 200 μ F	1
Resistores de 1k ohm	2
Resistor de 220 ohm	1
Buzzer ativo 5V	1
Barras de pinos 1 \times 40 fêmea 180 graus	5
Barras de pinos 1 \times 40 180 graus	2
Bornes para placa	7
Cabo Flat 7 vias Jumper Premium	1
Placas fenolite perfurada 5cmx10cm	2
Cabo 0,30 mm	3 metros
Arduino Mega 2560.	1

Fonte: Autor

Tabela com relação das portas do Arduino Mega 2560 com os pinos dos componentes:

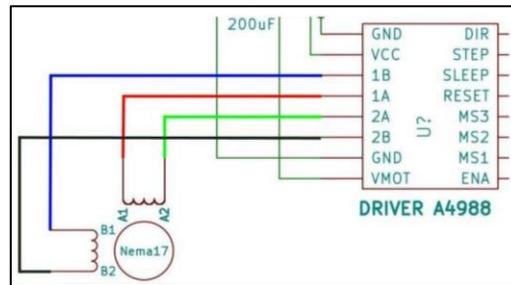
Tabela 3 - Interligação das portas

Porta	Pino	Circuito
2	stepPin	Controle de Passos do Motor
3	dirPin	Controle de Passos do Motor
5	RST	Leitor RFID RC522
7	ENA	Ativa (enable) A4988
8	RST	Reset do A4988
9	SLP	Dormir (sleep) A4988
10	pinRx	Comunicação DFPlayer Mini
11	pinTx	Comunicação DFPlayer Mini
13	pinBotaoS	Botão Scanner Braille
22	P6	Sensores de obstáculo
24	P5	Sensores de obstáculo
26	P4	Sensores de obstáculo
28	P3	Sensores de obstáculo
30	P2	Sensores de obstáculo
31	PinBotaoE	Botão do Encoder
32	P1	Sensor de obstáculo
34		Buzzer
40	pinBotao3	Botão Cella Eletrônica
45	pinChave1	Chaves fim de curso
46	pinChave2	Chaves fim de curso
50	MISO	Leitor RFID RC522
51	MOSI	Leitor RFID RC523
52	SCK	Leitor RFID RC524
53	SDA	Leitor RFID RC525
A2	DT	Encoder rotativo
A3	CLK	Encoder rotativo

Fonte: Autor

Apesar da fonte de alimentação informar fornecer 12V em sua saída, foi constatado através de multímetro que fornece acima de 12V, por esse motivo foi introduzido o regulador de tensão LM2596 com objetivo de reduzir a tensão para 9V, diminuindo as chances de sobreaquecer o regulador de tensão da placa Arduino Mega 2560 e fornecer segurança na alimentação do módulo amplificador de áudio LM386 que opera na faixa entre 5v e 12V.

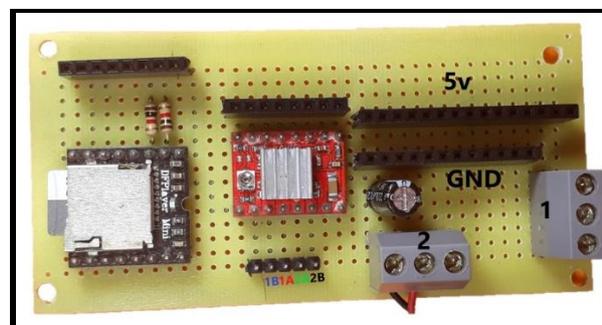
Figura 56 - Cores dos fios



Fonte: Autor

A figura 56 mostra a correta ligação entre o driver A4988 e o motor Nema 17, destacando as cores do cabo. Em uma placa de fenolite 5 cmx10 cm foram fixados o módulo DF Player e driver A4988 que recebem alimentação diretamente do Arduino Mega 2560, que também distribui 5V e GND nas barras de pinos fêmea 180 graus para facilitar alimentação de outros componentes usando jumpers. Enquanto o borne identificado com número 2 fornece os 12V da fonte para o driver A4988.

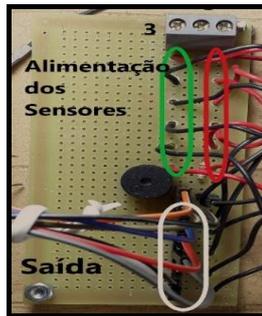
Figura 57 - Módulos na placa de fenolite



Fonte: Autor

O borne 1 da figura 57 também está conectado às barras de pinos alimentadas pelo Arduino, desse modo é possível conectar o borne 1 com o borne 3 usando cabos de 0,3 mm para alimentar os 6 sensores de obstáculo. As saídas dos sensores são soldadas na barra de pinos fêmea, para que através de jumpers sejam conectadas ao arduino, como destacado em branco na figura 58. Nesta placa temos o Buzzer fixado, assim como o resistor pull down do módulo encoder rotativo KY-040.

Figura 58 - Placa para conexão dos sensores



Fonte: Autor

3.6.8 Programação

Usamos o ambiente de desenvolvimento da própria plataforma Arduino para escrever e fazer upload do código para placa. A linguagem de programação utilizada é o C++ que através do compilador da IDE converte o código escrito para uma linguagem de máquina. O código final possui 3033 linhas, mas abaixo irei alguns pontos importantes para o entendimento.

A programação do dispositivo usou predominante a estrutura de controle `if` para as funcionalidades do produto. Essa estrutura permitiu a fluidez na seleção das funcionalidades, ou seja, a qualquer momento pode ser trocado o modo de operação. O encoder rotativo seleciona os modos através da variável `newPos` com limites de valores entre -4 e 6, ou seja 10 posições detectáveis (figura 59).

Figura 59 - Variável `newPos`

```
encoder.tick();
newPos = encoder.getPosition();
if (pos != newPos)
{
  //Limite máximo menu
  if (newPos > 6)
  {
    encoder.setPosition(6);
    newPos = 6;
  }
  //Limite mínimo menu
  if (newPos < -4)
  {
    encoder.setPosition(-4);
    newPos = -4;
  }
  pos = newPos;
}
```

A estrutura `While` com uso de um contador é responsável por reproduzir apenas uma vez o áudio quando um novo modo é selecionado (figura 60).

Figura 60 - Estrutura While

```

if (newPos == 2) { //Modo Cela Braille

while (var2 < 1) { //Reproduzir uma vez em áudio

tone(Buzzer, 262); //Beep do Buzzer
delay(500);
noTone(Buzzer);
som(5, 21, 1000); // Áudio " Modo um"
var2++;
}
}

```

Todo áudio é reproduzido usa a função *Som* definindo-se apenas a pasta, o nome do arquivo e tempo em que essa reprodução não pode ser interrompida (figura 61).

Figura 61 - Função Som

```

void som(int pasta, int arquivo, int tempo)
{
playerMP3.playFolder(pasta, arquivo);
delay(tempo);
}

```

Toda ficha detectada está relacionada a um símbolo que, conseqüentemente, é concatenado na variável "PalavraLida" (figura 62).

Figura 62 - Concatenação

```

//===== E
if (conteudo.substring(1) == "04 3A 42 32 8B 5D 81")
{
String letra = "e";
PalavraLida += letra;
// Serial.println("e");
delay(500);
}

```

Ao final da leitura do Scanner, essa palavra lida é comparada as *Strings* criadas como mesmo nome das letras, números, operações e palavras, até a sua correspondente surgir, para que o áudio seja reproduzido (figura 63).

Figura 63 - Comparando Strings

```

if (PalavraLida == d) {
som(1, 4, 2000);
delay(1000);
PalavraLida = "";
}

if (PalavraLida == e) {
som(1, 5, 2000);
delay(1000);
PalavraLida = "";
}

```

3.6.9 Orçamento

Na tabela 4, temos a composição do orçamento com os materiais e componentes utilizados no produto. O cálculo não leva em conta a mão de obra, materiais de colagem, ferramentas de corte ou material de pintura.

Tabela 4 - Orçamento

Componentes	Quantidade	Preço Uni.	Preço Total
Módulo MP3 DFPlayer Mini	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90
Módulo Amplificador de Áudio LM386	1	R\$ 10,90	R\$ 10,90
Fonte DC Chaveada 12V 2A Plug P4	1	R\$ 17,90	R\$ 17,90
Conector Jack P2 Audio 3.5mm	1	R\$ 4,40	R\$ 4,40
Chave Push Botton sem trava R16-503B	2	R\$ 7,00	R\$ 14,00
Leitor RFID MFRC22 Mifare	1	R\$ 24,90	R\$ 24,90
Enconder Rotativo KY040	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Conector Adaptador Plug P4 Fêmea	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
Placa Fenolite perfurada 5x10	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
Alto falante 3w 4 ohms 40mm Woofer	1	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Chave Fim de Curso para Impressora 3D	2	R\$ 12,90	R\$ 25,80
Sensor de Obstáculo Infravermelho IR	6	R\$ 8,90	R\$ 53,40
Arduino Mega 2560	1	R\$ 135,00	R\$ 135,00
Cabo 0,30 mm (cabinho)	3	R\$ 0,80	R\$ 2,40
Bornes para placa	5	R\$ 1,50	R\$ 7,50
Pillow Block SC88UU 8mm	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
Suporte para guia linear SK8 8mm	4	R\$ 15,00	R\$ 60,00
Regulador de tensão LM2596 Step Down	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Motor Nema 17	1	R\$ 90,00	R\$ 90,00
Barras de pinos 1x40 180 graus	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00
Barras de pinos 1x40 180 graus fêmea	5	R\$ 2,40	R\$ 12,00
Driver motor de passo A4988	1	R\$ 15,90	R\$ 15,90
Tabua Duratex 50X40 cm	2	R\$ 8,50	R\$ 17,00
Pallet MDF45X32 cm	1	R\$ 24,00	R\$ 24,00
Buzzer ativo 5V	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Eixo Retificado 8mmX500mm	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
Correia Gt2 6mm com Alma De Aço	1	R\$ 19,00	R\$ 19,00
Polia GT2 20 dentes com rolamento	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Etiqueta NFC Ntag 213 13,56Mhz	35	R\$ 1,50	R\$ 52,50
Redução PVC FORTELEV DN50X40	6	R\$ 2,00	R\$ 12,00
Suporte de metal em "L"	14	R\$ 2,00	R\$ 28,00
Total			R\$ 834,40

Fonte: Autor

3.7 FUNCIONALIDADES DO PRODUTO

Para fazer uso do dispositivo é importante possuir a lista de reprodução que informa quais letras, números, palavras e operações matemáticas podem ser executadas nos respectivos modos.

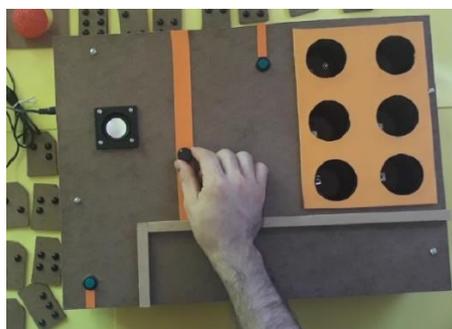
Figura 64 - Visão superior dispositivo Sena



Fonte: Autor

Com a fonte de alimentação conectada, acione a chave gangorra na lateral para ligar o dispositivo, uma mensagem de áudio será reproduzida (figura 64), “Bem-vindo ao dispositivo Sena”, seguida pela música infantil *Bike Rides* do grupo The Green Orbs (sem direitos autorais) com duração de 2 min, enquanto o usuário escolhe o módulo.

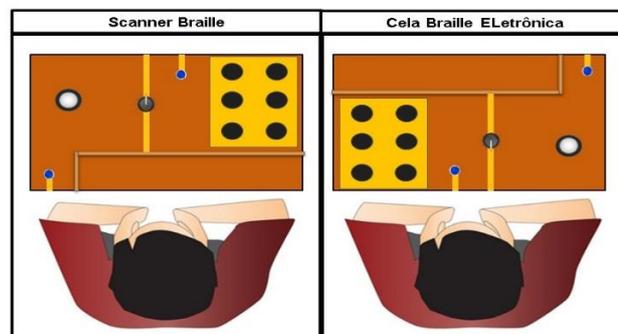
Figura 65 - Girar encoder



Fonte: Autor

Se girar o encoder no sentido horário, uma mensagem de áudio informa seu acesso ao módulo Cella Braille Eletrônica, conforme gira, cada modo acessado emite um bip seguido da mensagem informando qual modo está em uso, mesmo processo girando no sentido anti-horário ocorre, porém, acessando módulo Scanner Braille (figura 65). Escolhido um modo, pressione o encoder para ouvir a função desse modo e outras informações necessárias para uso. De acordo com o módulo escolhido, é preciso posicionar a área correspondente do dispositivo de frente ao usuário como mostra a figura 66.

Figura 66 - Posições do dispositivo Sena



Fonte: Autor

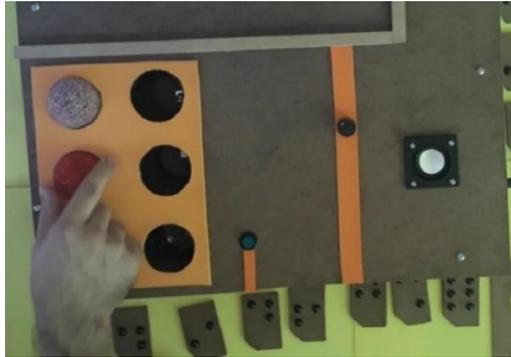
3.7.1 Cella Braille Eletrônica

A cela eletrônica possui 5 modos de operação, cada um com sua característica e objetivos.

3.6.1.1 Modo 1

Estimular através do tato a compreensão da distribuição espacial dos 6 pontos da cela braille. Onde cada bola sino posicionada em uma cavidade é seguida pela mensagem de áudio informando qual ponto é detectado (figura 67).

Figura 67 - Posicionando as bolas sinos

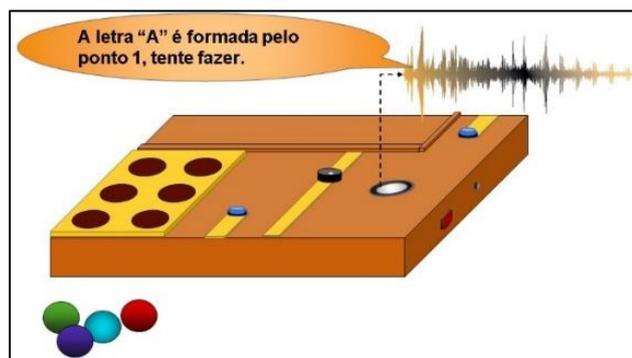


Fonte: Autor

3.6.1.2 Modo 2

Após ter noções básicas de posicionar bola nos pontos da cela, neste modo a criança tem contato com a grafia braille de cada símbolo do alfabeto de forma sequencial. O dispositivo informa como é formada a letra por letra e a criança tenta formar usando as bolas, onde o acesso a próxima letra depende do acerto na atual.

Figura 68 - Comunicação via alto falante



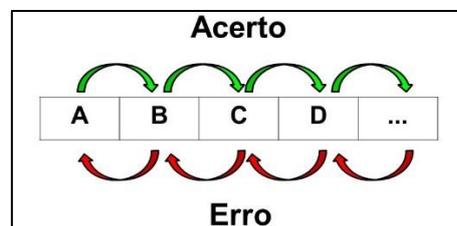
Fonte: Autor

Exemplo figura 68, informa quais pontos formam a letra “A”, então o deficiente visual deve colocar a bola sino no ponto 1, pressionar o botão de confirmação ao lado direito para saber se está correto ou precisa tentar novamente. O professor ou responsável pode pressionar o botão para agilizar o processo.

3.6.1.3 Modo 3

Neste modo temos um jogo, objetivo é pôr em prática o que foi aprendido nos modos anteriores para criança sentir-se desafiada. Nesse sentido, é perguntado como se forma uma letra em braille, a criança forma usando as bolas e aperta o botão de confirmação, caso acerte é parabenizado, avançando para próxima, porém caso erre então volta para letra anterior (figura 69).

Figura 69 - Fluxo do jogo



Fonte: Autor

Ao completar as 26 letras, a mensagem com parabenização e uma música animada são reproduzidas.

3.6.1.4 Modo 4 e 5

Os dois últimos modos é para combinar com outras atividades, em resumo você solicita para criança formar uma letra em específico, todavia dependendo do grau de habilidade do usuário em saber a posição dos pontos.

O modo 4 informa posição do ponto ao colocar a bola na cavidade, uma orientação que não existe no modo 5. Então é, simplesmente, posicionar as bolas e pressionar o botão para ouvir a pronúncia da letra. Um exemplo de atividade, é perguntar qual a primeira letra da palavra "bola" ou quais letras são usadas na formação para que a criança demonstre no dispositivo usando braille.

3.7.2 Scanner Braille

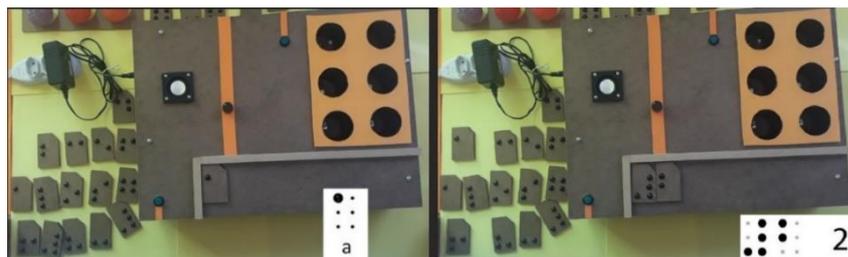
Usando fichas com grafia braille em alto relevo, podemos formar números, palavras, operação matemáticas através de 3 modos de operação. Para isso, é preciso posicionar as fichas em cima do dispositivo e pressionar o botão ao lado esquerdo para reproduzir a pronúncia. Observe que estamos estimulando uma precisão tátil maior, dado o menor tamanho das fichas em comparação a cela jumbo do módulo cela braille eletrônica.

Como são muitas fichas, a orientação geral é que o professor ou responsável ajude a criança para reduzir o tempo na identificação, criando amostras de fichas.

3.6.2.1 Modo 1

Na figura 70, temos a ficha da letra “A” (lado esquerdo) e a combinação de fichas para formar o número 2 (lado direito), ambas no espaço de leitura do dispositivo Sena.

Figura 70 - Leitura de fichas

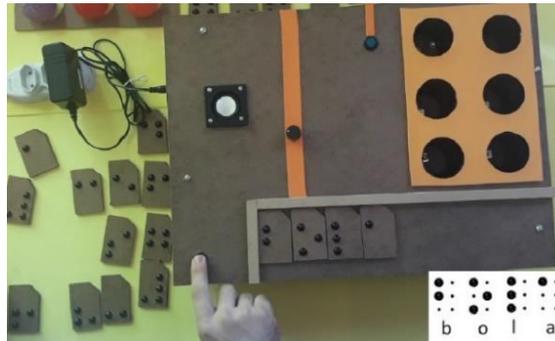


Fonte: Autor

3.6.2.2 Modo 2

Podemos formar palavras com 5 letras, desde que estejam registradas na lista de reprodução. Na figura 72, o usuário pressiona a chave push button para dá início da leitura e reprodução em áudio com a mensagem “Palavra Bola”.

Figura 71 - Acionando leitura

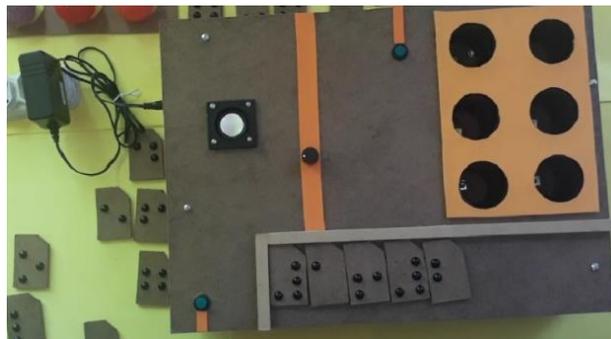


Fonte: Autor

3.6.2.3 Modo3

O Soroban é o instrumento utilizado no ensino dos cálculos matemáticos dos deficientes visuais, porém a grafia de símbolos matemáticos também precisam ser escritos em braille, por essa razão o modo Tabuada busca com a prática formar operações matemáticas o contato com escrita matemática e pronuncia, além de fornecer o resultado das quatro operações fundamentais entre o números de 0 a 9. Na imagem abaixo (figura 72), a representação da operação $1 + 2$, que possui a mensagem em áudio “A soma de um mais dois é igual a três”.

Figura 72 - Operação matemática



Fonte: Autor

3.8 HOMOLOGAÇÃO DO MVP

O planejamento para homologação do MVP consiste na aplicação do dispositivo, durante o período de um mês, no setor de alfabetização em braille da Unidade Educacional Especializada “José Alvarez de Azevedo”, a mais antiga no trabalho com pessoas cegas no estado do Pará. Professoras atualmente responsáveis pelo setor, escolheriam três alunos

participantes em fase de alfabetização, para aplicar e analisar as funções do dispositivo na prática.

Ao final do período, seria aplicado a coletar dados usando questionário e entrevistas com as professoras, para extrair informações como: a usabilidade do dispositivo, autoaprendizagem, áudio, design portátil, caráter lúdico, funcionalidades com destaque, desempenho das crianças no aprendizado e outros aspectos.

Em razão da pandemia de Coronavírus, as aulas presenciais na Instituição UEE José Alvares de Azevedo foram interrompidas, nesse sentido não foi possível executar o planejamento de homologação. Entretanto, foi realizada entrevista e avaliação do dispositivo por um professor cego do instituto, enquanto a entrevista com duas professoras ocorreu via videoconferência, assim foi possível demonstrar o produto em funcionamento para obter as impressões gerais.

3.8.1 Teste

O teste do dispositivo foi realizado pelo professor Jarbas que é cego e atua há 15 anos na alfabetização de crianças e adultos, atualmente ministra aulas de informática e alfabetização no Instituto José Alvares de Azevedo.

A entrevista e teste ocorreram em uma sala do CESUPA, no Campus Alcindo Cacela 1, seguindo as medidas de prevenção do coronavírus como aferição de temperatura, distanciamento social e uso de máscara. Antes de iniciar os testes, foram dadas algumas instruções de uso do dispositivo, bem como a descrição de cada função.

Figura 73 - Professor Jarbas com dispositivo Sena



Fonte: Autor

Professor Jarbas testou, pacientemente, cada função do dispositivo, fazendo suas observações (figura 73). Ao final, classificou o dispositivo como de fácil manuseio, didático e que pode contribuir muito na alfabetização, principalmente de crianças cegas pela dinamicidade e associação de dois estímulos como o tátil (fichas) e o auditivo. Entretanto, o professor sugeriu que os símbolos fossem formados pelos alunos através de pontos, diferente das fichas que possuem os símbolos formados. Jarbas acrescentou como ponto negativo a limitação de palavras, segundo ele, seria interessante uma conectividade com a internet para que o usuário possa reproduzir o som de qualquer palavra formada.

As professoras Márcia Dolores Almeida da Silva e Telma Lúcia Lobato não puderam comparecer presencialmente aos testes. Ambas as professoras atuam mais de 7 anos com ensino do braille na educação especial. Um vídeo demonstrando o funcionamento do dispositivo foi disponibilizado para que as professoras pudessem emitir uma avaliação, mesmo que superficial, sobre as funcionalidades do produto.

A professora Márcia achou interessante o produto, pois é um recurso a mais para quem trabalha com aluno cego. Ela acredita que os alunos vão se interessar por serem crianças muito curiosas e que gostam de explorar tudo que é novo. Professora Telma frisou que a proposta é muito boa, mas que precisava de mais tempo para analisar, principalmente que fosse presencialmente, pois em vídeo algumas coisas podem passar despercebidas.

3.9 COMERCIALIZAÇÃO DO PRODUTO

Para compreender e analisar de forma simples todos os pontos fundamentais da comercialização do produto, utilizamos a ferramenta Canvas.

3.9.1 Canvas

A ferramenta Business Model Generation, ou simplesmente chamado Canvas é uma metodologia para elaborar modelos de negócios, criada pelo pesquisador e empreendedor Alex Osterwalder. O canvas funciona como um painel, para analisar visualmente 9 elementos que toda empresa possui: Parceiros Chave, Atividades Chave, Proposta de Valor, Relação com o Cliente, Segmentos de mercado, Canais, Estrutura de Custos, Fontes de Renda e Recursos Chave (MOTA, 2019).

O Canvas do produto Sena (figura 74) foi desenvolvido através da ferramenta gratuita desenvolvida pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), chamado de SEBRAE Canvas disponibilizada nas versões Mobile e Web.

Figura 74 - Canvas do produto



Fonte: SEBRAEcanvas

Cada bloco responde uma pergunta: Parceiros Chave, quem são os fornecedores e parceiros que ajudam a sua empresa a funcionar?; Atividades Chave, quais são as atividades essenciais para que seja possível entregar a Proposta de Valor?; Proposta de Valor, o que sua empresa vai oferecer para o mercado que realmente terá valor para os clientes?; Relação com o Cliente, como a sua empresa se relacionará com cada segmento de cliente; Segmentos de Mercado, quais segmentos de clientes serão foco da sua empresa?; Canais, quais vias de comunicação o cliente compra e recebe assistência?; Recursos Chave, quais são os recursos necessários para realizar as atividades-chave?; Estrutura de Custos, quais são os custos relevantes necessários para que a estrutura proposta possa funcionar?; Fontes de Renda, são as formas de obter receita por meio de propostas de valor?.

4 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido durante este trabalho mostrou-se uma solução viável em atender os objetivos inicialmente propostos. O dispositivo desenvolvido, ainda que considerado um protótipo, é um dos poucos no idioma de língua portuguesa do Brasil, apenas o dispositivo Taptilo, entre os produtos correlatos encontrados na pesquisa exploratória apresentou sua recente versão em língua portuguesa, lançada no ano de 2021. Os módulos atenderam seus objetivos, uma versão eletrônica da cela jumbo denominada Cela Braille Eletrônica com 5 funções e o módulo Scanner Braille com 3 funções usando tecnologia RFID. As melhorias sugeridas pelo professor Jarbas, serão implantadas em trabalhos acadêmicos futuros na Unidade de Educação Especializada.

As maiores dificuldades surgiram no modulo Scanner Braille, onde a primeira solução testada usando código de barras levou 30 dias e não houve sucesso. A solução usando RFID funcionou, porém, cerca de 2 meses foram investidos para adaptação da guia linear em um pequeno espaço, além da produção das fichas em madeira feitas de forma artesanal. Nunca tive contato com a maioria dos componentes, como motores de passo Nema, leitores RFID RC2522, chaves fim de curso, encoder rotativo, driver A4988 e guia linear de impressora 3D, ou seja, estes componentes consumiram parte do tempo no desenvolvimento, uma vez que precisei estudar e testar cada um deles para encontrar a melhor forma de uso.

Nesse sentido, o procedimento correto seria fazer entrevista para levantar os requisitos no começo do trabalho, porém as incertezas sobre como o dispositivo iria funcionar permaneciam e só foram respondidas no decorrer do desenvolvimento. Assim os professores foram procurados tardiamente, somente quando o produto estava cerca de 80% pronto, então o projeto esbarrou em burocracias relacionadas a documentação para ter autorização do instituto José Alvares de Azevedo.

Por fim, é preciso inserir dezenas de arquivos de áudio de palavras e operações matemáticas áudio no cartão de memória relacionado ao módulo Scanner Braille, bem como criar os blocos de programação para reproduzir esses arquivos de áudio. Atualmente o módulo possui apenas algumas palavras e operações matemáticas para sua demonstração final.

O protótipo é de baixo investimento, ainda pode sofrer reduções significativas tendo em vista soluções melhores que podem substituir o número de componentes atuais e melhorar a performance.

REFERÊNCIAS

- SILVA, A.G.; SILVA, E.P.; OLIVEIRA, S.F.P. Vitória sobre a cegueira: A oralidade na alfabetização e no letramento de portadores de necessidades visuais. **Revista Eletrônica de Letras**, Centro Universitário de Franca, v. 8, n. 1, REL Edição 08, jan./dez. 2015. ISSN: 1983-4624. Disponível em <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rel/article/view/1029>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- CASTOLDI, R.; POLINARSKI, C.A. **Utilização de recursos didático-pedagógicos na motivação da aprendizagem**. Simpósio internacional de ensino e tecnologia, v. 1, p. 684-69, 2009. Disponível em <http://www.sinect.com.br/anais2009/artigos/8%20Ensinodecienciasnasseriesiniciais/Ensinodecienciasnasseriesinicias_Artigo2.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.
- CERQUEIRA, Jonir Bechara. FERREIRA, Elise de Melo Borba. Os recursos didáticos na educação especial. **Revista Benjamin Constant**, Rio de Janeiro, nº 15, Artigo 3, dezembro de 2000. Disponível em: <<http://revista.ibc.gov.br/index.php/BC/article/view/602/312>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- OLIVEIRA, Josélia De Jesus Araujo Braga De. MELO, José Carlos De. Sistema Braille no processo de ensino- aprendizagem das pessoas com deficiência visual: da Educação Infantil ao Ensino Superior. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 10, Vol. 13, pp. 63-73. Outubro de 2019. ISSN: 2448-0959. Disponível em <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/sistema-braille>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- OLIVEIRA. Naiara Ferreira de Barros. SILVA, Diego da. A importância da alfabetização e do letramento. **Faculdade Sant'Ana em Revista**, Ponta Grossa, v. 2, p. 190-203, 2.Sem. 2019. ISSN on-line: 2526-8023. Disponível em: <<https://www.iessa.edu.br/revista/index.php/fsr/article/view/567>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- DEIMLING, Natália Neves Macedo; MOSCARDINI, Saulo Fantato. Inclusão escolar: política, marcos históricos, avanços e desafios. **Revista on line de Política e Gestão Educacional**, [S.l.], n. 12, feb. 2017. ISSN 1519-9029. Disponível em: <<https://periodicos.fclar.unesp.br/rpge/article/view/9325/6177>>. Acesso em: 11 out. 2020.
- ROCHA, Hilton. Imprensa Braille. **Arq. Bras. Oftalmol.**, São Paulo , v. 55, n. 4, p. 150-159, Ago. 1992 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-27491992000400150&lng=en&nrm=iso>. acesso em: 04 nov. 2020.
- CAMPOS, Maria Malta. Educação e políticas de combate à pobreza. **Revista Brasileira de Educação.**, Rio de Janeiro , n. 24, p. 183-191, Dez. 2003 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782003000300013&lng=en&nrm=iso>. acesso em: 11 out. 2020.
- Tátilo. **Play Tátilo and learn braille!**. 2017. (1m27s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=h3xxC0mT9qQ&t>>. Acesso em: 01 out. 2020.

STARTUP RADAR. **Korean Startup Taptilo Makes Learning Braille Fun and Easy.** Disponível em <<http://startupradar.asia/korean-startup-taptilo-makes-learning-braille-fun-and-easy/>>. Acesso em: 08 out. 2020.

TAPTILO. **Taptilo 2.0+ - Smart Braille Learning Device.** Disponível em <<https://www.taptilo.com/products/taptilo-2-0>>. Acesso em: 20 set. 2020.

THE READ READ. **The Read Read.** Disponível em <<https://www.thereadread.com/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

KICKSTARTER. **The Read Read: Braille Literacy Tool for the Blind.** Disponível em <<https://www.kickstarter.com/projects/1063261056/the-read-read-harvards-braille-literacy-tool-for-t>>. Acesso em: 10 set. 2020.

MASHABLE. **This Braille learning tool could be a game changer for the blind community.** Disponível em <<https://mashable.com/2017/06/09/read-read-braille-literacy-tool-blind/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

MARTINS, Edson; SPECHELA, Luana Cristine. A importância do letramento na alfabetização. Revista Eletrônica do Curso de Pedagogia das Faculdades OPET, n. 3. jul. 2012. ISSN 2175-1773. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-pedagogia/pdf/n3/6%20ARTIGO%20LUANA.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

OLIVEIRA, Luiza Maria Borges *et al.* **Cartilha do Censo 2010: pessoas com deficiência.** 1.ed. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. Disponível em <https://bibliotecadigital.mdh.gov.br/jspui/bitstream/192/754/1/SNPD_cartilha_2012.pdf>. Acesso em: 04 out. 2020.

IBGE. **Censo demográfico 2010: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

MEC. **Saberes e práticas da inclusão: desenvolvendo competências para o atendimento às necessidades educacionais especiais de alunos cegos e de alunos com baixa visão.** 2. ed. Brasília : MEC, Secretaria de Educação Especial, 2006. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/alunoscegos.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. **Normas Técnicas para a Produção de Textos em Braille.** 3 ed. 2018. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2018-pdf/105451-normas-tecnicas-para-a-producao-de-textos-em-braille-2018/file>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SOUZA, Fábio. **Arduino Mega 2560.** Disponível em <<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 06 jun. 2021.
GUIMARÃES, Fábio. **Módulo RFID RC522 com Arduino.** Disponível em <<http://mundoprojetado.com.br/modulo-rfid-rc522/>>. Acesso em: 10 jun. 2021