

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



**CIRCUIT STICKER APLICADO AO ENSINO DE ARITMÉTICA PARA PESSOAS
COM SÍNDROME DE DOWN**

DAYANA STEFANY COSTA PAMPLONA

GOIÂNIA
2025

DAYANA STEFANY COSTA PAMPLONA

**CIRCUIT STICKER APLICADO AO ENSINO DE ARITMÉTICA PARA PESSOAS
COM SÍNDROME DE DOWN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador:

Talles Marcelo Gonçalves de Andrade.

Banca Examinadora:

Prof.: Dr. José Olímpio Ferreira

Prof.: Me. Cláudio Martins Garcia

Prof.: Me. Pedro Araújo Valle

GOIÂNIA
2025

DAYANA STEFANY COSTA PAMPLONA

**CIRCUIT STICKER APLICADO AO ENSINO DE ARITMÉTICA PARA PESSOAS
COM SÍNDROME DE DOWN**

Este Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação, e aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em ____ / ____ / ____.

Orientador: Prof. Dr. Talles Marcelo Gonçalves de Andrade.

Prof.: Dr. José Olímpio Ferreira

Prof.: Me. Cláudio Martins Garcia

Prof.: Me. Pedro Araújo Valle

GOIÂNIA
2025

DEDICATÓRIA

À minha família, pelo amor, apoio e compreensão em todos os momentos. Aos meus filhos, que são minha maior inspiração e força diária para continuar. Ao meu orientador pela dedicação e paciência. E aos meus amigos, pelo companheirismo sincero e pelas palavras de incentivo ao longo da jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que sempre esteve ao meu lado com amor, apoio e compreensão. Um agradecimento muito especial à minha mãe, Maria Aparecida, por todo o apoio e ajuda incondicionais. Seu cuidado com meus filhos foi de extrema importância para que eu pudesse ir as aulas e trabalhar, e seu incentivo foi a força que eu precisava para finalizar esta etapa da minha vida. Aos meus filhos, Lorenzo e Aurora, que chegaram durante essa jornada e transformaram minha vida. Vocês são, sem dúvida, minha maior força para continuar.

Ao meu orientador, que foi mais que um guia acadêmico — foi inspiração e paciente nos momentos em que eu mais precisei. Agradeço por acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidei.

Sou grata aos professores que encontrei pelo caminho, que me acolheram com palavras, conselhos e lições que foram muito além da sala de aula.

Aos amigos que fiz ao longo desses mais de 10 anos, meu muito obrigada por compartilharem essa caminhada comigo. Não vou citar nomes, pois foram realmente muitos, e cada um foi igualmente importante. Levo todos no coração e para a vida.

Esta caminhada teve pausas, recomeços, lágrimas e conquistas. Teve o nascimento dos meus filhos e a dor da despedida do meu pai. Momentos que me marcaram profundamente e, mais do que tudo, me ensinaram a continuar.

Hoje, ao finalizar este trabalho, sinto que vivi mais do que uma vida dentro dessa trajetória. E a cada passo, valeu a pena.

EPÍGRAFE

Usar recursos digitais não é garantia de aprendizagem. A tecnologia é mais uma ferramenta, que precisa do talento do professor, interesse do aluno e o acompanhamento da família!

Rogério Joaquim.

RESUMO

Este trabalho aborda o uso de *Circuit Sticker* como recurso pedagógico aplicado ao ensino de noções básicas de aritmética para pessoas com Síndrome de Down. Considerando que esse público, em geral, apresenta maior facilidade com estímulos visuais, táteis e lúdicos, foram desenvolvidas atividades interativas utilizando botões, LED e reprodução de áudios, com o objetivo de favorecer o foco e o engajamento dos participantes nas tarefas propostas. As atividades foram elaboradas com foco no desenvolvimento de habilidades como reconhecimento de números, associação de valores, contagem e realização de somas simples, aplicadas de forma experimental e com desafios progressivos. A análise dos dados foi centrada nos níveis de atenção e engajamento dos participantes, obtidos por meio de registros observacionais e da análise automatizada via software EmoLab, que processa expressões faciais. Os resultados indicaram uma boa aceitação da proposta e manutenção de altos níveis de atenção e variações no engajamento, demonstrando o potencial do uso de *Circuit Sticker* como ferramenta de apoio no ensino de aritmética em contextos de educação inclusiva.

Palavras-chave: Educação inclusiva. Síndrome de Down. Circuit Sticker. Aritmética. Interatividade.

ABSTRACT

This study addresses the use of Circuit Stickers as a pedagogical resource for teaching basic arithmetic concepts to individuals with Down syndrome. Given that this population generally benefits more from visual, tactile, and playful stimuli, interactive activities were developed using buttons, LED, and audio playback. The aim was to promote participants' focus and engagement in the proposed tasks. The activities were designed to foster skills such as number recognition, value association, counting, and simple addition, applied experimentally with progressive challenges. Data analysis focused on participants' attention and engagement levels, obtained through observational records and automated analysis via EmoLab software, which processes facial expressions. The results indicated good acceptance of the proposal and the maintenance of high attention levels with variations in engagement, demonstrating the potential of using Circuit Stickers as a supportive tool for teaching arithmetic in inclusive educational contexts.

Keywords: Inclusive education. Down syndrome. Circuit Sticker. Arithmetic. Interactivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de atividade com circuit stickers	6
Figura 2 - Representação da Atividade Nível Fácil – Questão 1 (nota de R\$2,00 e alternativas).	10
Figura 3 – Esquemático da Atividade Nível Fácil – Questão 1 desenvolvido no MangaSticker	10
Figura 4 – Representação da Atividade Nível Intermediário – Questão 1 (Soma de 5 + 5 reais)	11
Figura 5 – Protótipo da Atividade Nível Intermediário – Questão 1, com trilhas feitas em fita de cobre.....	12
Figura 6 - Representação da Atividade Nível Intermediário – Questão 3	12
Figura 7 – Representação da Atividade Nível Difícil – Questão 1.....	14
Figura 8 - Protótipo da Atividade Nível Difícil – Questão 1, com trilhas feitas em fita de cobre.	14
Figura 9 - Registro do processo de montagem de um dos protótipos	19
Figura 10 - Registros de um dos testes preliminares de usabilidade de um dos protótipos	20
Figura 11 - Push Button SMD 4x4 mm utilizado no protótipo.	22
Figura 12 - (A) Fita de LED original; (B) Etapa de remoção do encapsulamento de silicone com auxílio de estilete; (C) LED separado posicionado ao lado de uma régua para referência de escala.	23
Figura 13 - Fita de cobre adesiva utilizada na montagem do circuito	24
Figura 14 - Módulo DFPlayer Mini utilizado no protótipo Fonte: Autoria própria.	25
Figura 15 - Alto-falante 3W 4 Ohms utilizado no protótipo	25
Figura 16 - Microcontrolador Arduino Uno utilizado no protótipo.	26
Figura 17 – Webcam utilizada para filmagem dos voluntários.	27
Figura 18 - Interface da IDE Arduino com o código desenvolvido para o projeto.	29
Figura 19 - Interface do Emolab fazendo leitura dos pontos faciais de um voluntário.....	30
Figura 20 - Interface principal do MangaSticker.	31
Figura 21 - Montagem completa do protótipo, composta pela folha da atividade, caixa para acondicionamento do Arduino e DFPlayer Mini, notebook de apoio e câmera utilizada para gravação dos testes.	35
Figura 22 - Trecho do código Arduino responsável pela leitura dos botões e acionamento dos LED e áudios.	37

Figura 23 - Fluxograma representando o funcionamento do código Arduino para as atividades interativas.	38
Figura 24 - Registro da montagem do protótipo e da interação de um dos voluntários durante a realização das atividades interativas no espaço da PUC Goiás.	41
Figura 25 – Médias das variáveis comportamentais na atividade fácil.	45
Figura 26 - Médias das variáveis comportamentais na atividade intermediária.....	45
Figura 27 - Médias das variáveis comportamentais na atividade difícil.	46
Figura 28 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade fácil. .	47
Figura 29 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade Intermediária.....	47
Figura 30 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade Difícil.	48
Figura 31 - Cruzamento Idade x Atenção – Todos os níveis.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

.csv Comma-Separated Values

.xls Excel Spreadsheet

HD High Definition

IDE Integrated Development Environment

IO Input/Output (Entrada/Saída)

LED Light Emitting Diode

PRIS Programa de Referência em Inclusão Social

SD Secure Digital (de microSD)

SD Síndrome de Down

SMD Surface-Mount Device

SPI Serial Peripheral Interface

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USB Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação do trabalho	1
1.2 Objeto de estudo	1
1.3 Estrutura da monografia	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 A Síndrome de Down e o processo de aprendizagem.....	2
2.2 Educação financeira para pessoas com deficiência intelectual	3
2.3 Tecnologias educacionais inclusivas	4
2.4 O Potencial educativo dos <i>Circuit Stickers</i>	5
2.5 O MangaSticker como ferramenta interativa.....	6
3 REQUISITOS E PROJETO	7
3.1 Requisitos do protótipo	7
3.2 Público-alvo.....	8
3.3 Especificação das atividades	8
3.3.1 <i>Atividade nível fácil</i>	9
3.3.2 <i>Atividade nível intermediário</i>	11
3.3.3 <i>Atividade nível difícil</i>	13
3.4 Estratégias de comunicação e <i>feedback</i>	14
3.5 Componentes, materiais e tecnologias utilizadas.....	16
3.5.1 <i>Push button SMD 4x4 mm</i>	16
3.5.2 <i>LED SMD 3528</i>	16
3.5.3 <i>Fita de cobre adesiva</i>	17
3.5.4 <i>Módulo DFPlayer Mini</i>	17
3.5.5 <i>Alto-falante</i>	17
3.5.6 <i>Arduino Uno</i>	17
3.5.7 <i>Papel Paraná</i>	18

3.6 Planejamento e montagem do protótipo.....	18
4 TECNOLOGIAS, PROTÓTIPOS, TESTES E RESULTADOS	21
4.1 Tecnologia utilizadas	21
<i>4.1.1 Chave tátil Push Button SMD 4x4 mm.....</i>	<i>21</i>
<i>4.1.2 LED SMD</i>	<i>22</i>
<i>4.1.3 Fita de cobre adesiva</i>	<i>23</i>
<i>4.1.4 Módulo DFPlayer Mini</i>	<i>24</i>
<i>4.1.5 Alto-falante 3W 4 Ohms</i>	<i>25</i>
<i>4.1.6 Arduino Uno</i>	<i>25</i>
<i>4.1.7 Papel Paraná.....</i>	<i>26</i>
<i>4.1.8 Papel de alta gramatura para impressão</i>	<i>27</i>
<i>4.1.9 Webcam</i>	<i>27</i>
<i>4.1.10 Softwares e materiais auxiliares utilizados.....</i>	<i>28</i>
<i>4.1.9.1 IDE Arduino – Especificação técnica.....</i>	<i>28</i>
<i>4.1.9.2 EmoLab – Especificação técnica</i>	<i>29</i>
<i>4.1.9.3 MangaSticker – Especificação técnica</i>	<i>30</i>
<i>4.1.9.4 Materiais auxiliares</i>	<i>31</i>
4.2 Desenvolvimento dos protótipos.....	33
4.3 Desenvolvimento do código e lógica de funcionamento	35
4.4 Aplicação dos testes com os voluntários	38
<i>4.4.1 Convite, autorização e assentimento</i>	<i>38</i>
<i>4.4.2 Descrição do ambiente de testes</i>	<i>39</i>
<i>4.4.3 Procedimento dos testes e registro fotográfico</i>	<i>40</i>
4.5 Análise dos resultados	42
<i>4.5.1 Procedimento de análise dos dados.....</i>	<i>42</i>
<i>4.5.2 Dados coletados e análise.....</i>	<i>43</i>
<i>4.5.2.1 Análise Descritiva dos Dados do Questionário</i>	<i>43</i>

4.5.2.2 Análise descritiva dos dados do Emolab.....	46
4.5.2.3 Cruzamento e comparação de dados – Questionário e EmoLab	48
4.5.3 <i>Discussão dos resultados</i>	49
5 CONCLUSÕES.....	50
5.1 Limitações do trabalho.....	51
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	51
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES	55
APÊNDICE B – DADOS COLETADOS DOS TESTES COM OS VOLUNTÁRIOS.....	56
APÊNDICE C – CÓDIGO – FONTE DOS PROTÓTIPOS	58
ANEXO A – MANUAL DO FABRICANTE DE CADA COMPONENTE	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do trabalho

O entendimento da aritmética é uma habilidade fundamental para a vida em sociedade, pois ajuda diretamente para o desenvolvimento da autonomia, da organização pessoal e da tomada de decisões. No entanto, pessoas com deficiência intelectual, como aquelas com Síndrome de Down (SD), enfrentam desafios ao aprender esses conceitos. Essas dificuldades vêm tanto de limitações cognitivas quanto da falta de métodos pedagógicos adaptados às suas necessidades (MIKROPOULOS; IATRAKI, 2023).

A literatura mostra que, apesar de pessoas com SD terem atrasos no desenvolvimento da linguagem, memória de longo prazo e planejamento, elas têm um alto potencial de aprendizagem quando recebem estímulos com recursos visuais, interativos e lúdicos. Essas estratégias precisam respeitar o ritmo de cada um e facilitar a retenção de conteúdo por meio de experiências práticas (ASLANOGLU; PAPAZOGLU; KARAGIANNIDIS, 2018).

Nesse contexto, tecnologias como interfaces tangíveis, circuitos interativos e robótica educacional têm se mostrado eficazes no apoio ao desenvolvimento de habilidades aritméticas, proporcionando aumento no engajamento, na motivação e no desempenho de alunos em ambientes de educação inclusiva (MURO HARO et al., 2012).

1.2 Objeto de estudo

Este trabalho propõe o uso da ferramenta MangaSticker como suporte para o desenvolvimento de atividades com *Circuit Sticker*, aplicadas ao ensino de noções básicas de aritmética para pessoas com SD (SILVA et al., 2021). Embora o MangaSticker tenha sido originalmente concebido para integrar histórias em estilo mangá com circuitos interativos, neste trabalho ele foi utilizado especificamente por suas funcionalidades de criação de trilhas condutivas, organização de componentes eletrônicos e aplicação de elementos gráficos no papel.

As atividades desenvolvidas utilizaram recursos como fita de cobre, *Light Emitting Diodes (LED)* do tipo *Surface-Mount Device (SMD)*, botões táteis *SMD* e o módulo *DFPlayer Mini*, que permitiram a geração de *feedbacks* sonoros e visuais, facilitando interações mais

significativas com os conteúdos. A estética visual dos personagens foi inspirada no estilo mangá, mas sem a construção de uma narrativa sequencial.

O foco das atividades esteve no desenvolvimento de habilidades como reconhecimento de cédulas, associação de valores com quantidades e realização de somas simples, com desafios progressivos de acordo com o perfil de cada participante.

O protótipo foi testado com um grupo de voluntários com Síndrome de Down, com idades entre 19 e 50 anos. Cada participante realizou três atividades interativas. A coleta dos dados ocorreu por meio de gravações em vídeo e formulários de observação, além da utilização do *software* EmoLab, empregado para análise das expressões faciais e dos indicadores de atenção e engajamento dos participantes (LIMA et al., 2017).

1.3 Estrutura da monografia

Esta monografia está organizada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta o tema, os objetivos e a justificativa do trabalho. O Capítulo 2 aborda a revisão da literatura, com foco em tecnologias educacionais, educação inclusiva, ensino de aritmética e estratégias específicas para o ensino de pessoas com Síndrome de Down. O Capítulo 3 descreve os requisitos, o planejamento e a criação do protótipo, detalhando a estrutura dos conteúdos, os materiais utilizados, a lógica de funcionamento e o desenvolvimento das atividades interativas com Circuit Sticker. O Capítulo 4 apresenta as tecnologias, os protótipos desenvolvidos, os testes aplicados e os resultados obtidos, incluindo a descrição dos procedimentos, o ambiente de aplicação, os registros fotográficos e os dados coletados. Além disso, são apresentados a análise dos dados, os cruzamentos entre as informações coletadas por meio dos questionários e do software EmoLab, bem como a discussão dos resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 5 traz as considerações finais e conclusões, destacando os principais resultados alcançados, as limitações encontradas e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Síndrome de Down e o processo de aprendizagem

A Síndrome de Down é uma condição genética causada pela trissomia do cromossomo 21, ou seja, a presença de um cromossomo extra. Segundo a Organização Mundial da Saúde, não se trata de uma doença, mas de uma alteração que afeta o desenvolvimento da pessoa desde o nascimento (RESENDE et al., 2022). Pessoas com SD apresentam características como atraso

no desenvolvimento motor e cognitivo, além de dificuldades na linguagem, memória de curto prazo e planejamento (MIKROPOULOS; IATRAKI, 2023). Essas dificuldades afetam diretamente a forma como aprendem e, por isso, exigem métodos pedagógicos diferenciados.

Estímulos visuais, como imagens coloridas, formas grandes e figuras com contraste, ajudam a segurar o foco e facilitam a compreensão de pessoas com Síndrome de Down. De acordo com o Guia de Estimulação (2021), o uso de cores vivas e figuras bem definidas ajudam a concentrar a atenção e a assimilação do conteúdo. Da mesma forma, atividades práticas com objetos físicos, que tem a possibilidade do toque e o movimento, também contribuem para o desenvolvimento cognitivo, pois ativam diferentes áreas do cérebro durante a aprendizagem (GUIA DE ESTIMULAÇÃO SD, 2021).

O uso de histórias, personagens e elementos que despertam o interesse dos participantes contribui para o engajamento durante as tarefas. Isso é fundamental, já que o déficit de atenção é comum nesse público. Para manter o interesse, é importante que as atividades sejam curtas, com objetivos claros e reforço positivo imediato (ASLANOGLU; PPAZOGLOU; KARAGIANNIDIS, 2018).

Segundo o Guia de Estimulação (2021), o uso de estímulos visuais, sons e reforço positivo pode aumentar a atenção e facilitar o aprendizado. Além disso, é essencial respeitar o tempo de resposta de cada pessoa e adaptar as tarefas às suas necessidades.

2.2 Educação financeira para pessoas com deficiência intelectual

A aritmética é um ramo da matemática que estuda os números e as operações fundamentais entre eles: adição, subtração, multiplicação e divisão. Essas operações estão diretamente relacionadas às situações cotidianas, como contagem, cálculo de quantidades, comparação de valores e resolução de problemas simples (DANTE, 2017).

Essas operações estão diretamente relacionadas a situações práticas, como contagem, organização de objetos, cálculo de quantidades e, especialmente, ao uso do dinheiro. Dentro desse contexto, a educação financeira desempenha um papel fundamental, pois permite aplicar esses conhecimentos em atividades da vida diária, como identificar cédulas, associar valores, realizar somas e efetuar pagamentos, o que é indispensável para a construção da autonomia pessoal.

A educação financeira é importante para o desenvolvimento da autonomia e da cidadania. Saber identificar cédulas e entender valores básicos são habilidades importantes e

necessárias para a vida em sociedade. No entanto, pessoas com deficiência intelectual, como aquelas com Síndrome de Down, muitas vezes não recebem instrução sobre esse tema nas escolas (ROSSIT, 2003).

Pesquisas apontam que o ensino de matemática para esse público precisa de estratégias diferenciadas. É comum ter dificuldades em compreender conceitos abstratos, como conceito numérico e operações. Por isso, é fundamental usar recursos concretos e visuais, como o uso de cédulas reais ou representações visuais simples. Estes recursos são recomendados para facilitar a compreensão (ROSSIT, 2003; STITH; FISHBEIN, 1996).

Rossit (2003) propõe o uso de equivalência de estímulos para ensinar o manuseio de dinheiro. Esse método permite que o aluno aprenda diferentes relações entre números, moedas e preços, por meio de atividades estruturadas que incentivam a formação de redes de associação. Com isso, é possível estimular o aprendizado de forma mais eficiente, mesmo com conhecimentos iniciais limitados.

Ensinar educação financeira a pessoas com deficiência intelectual não é apenas uma questão de conteúdo escolar, trata-se, acima de tudo, de promover a independência, o direito de escolha e a participação ativa na sociedade. Por isso, métodos que respeitam o ritmo de aprendizagem e que utilizam recursos acessíveis são fundamentais nesse processo.

2.3 Tecnologias educacionais inclusivas

O uso de tecnologias no ambiente educacional tem ampliado as possibilidades de ensino, principalmente em situações inclusivas. Para pessoas com deficiência intelectual, recursos como interfaces tangíveis e jogos interativos podem tornar o aprendizado mais acessível e relevante.

Interfaces tangíveis permitem que o usuário interaja diretamente com objetos físicos, como botões e *LED*, que podem ser integrados a histórias ou atividades. Essas tecnologias oferecem respostas imediatas, visuais ou sonoras, que ajudam a manter a atenção e reforçar o aprendizado. Quando associadas a narrativas ilustradas, como histórias em quadrinhos, esses recursos estimulam a curiosidade e o envolvimento emocional do participante (HARO et al., 2012).

Além disso, existem métodos para monitorar o engajamento do aluno durante a realização das tarefas. Um exemplo é o uso de *software* com *biofeedback*, como o Emolab, que analisa expressões faciais e níveis de atenção por meio de vídeo. Essa ação permite avaliar o

impacto das atividades de forma mais precisa e adaptar as estratégias pedagógicas conforme a resposta do aluno (LIMA et al., 2017).

Portanto, as tecnologias educacionais inclusivas oferecem ferramentas importantes para trazer o aprendizado com respeito às limitações e capacidades individuais. Quando bem aplicadas, elas ajudam a participação ativa, a autonomia e a permanência do aluno na atividade.

2.4 O Potencial educativo dos *Circuit Stickers*

Circuit stickers são pequenos componentes eletrônico que tem uma base adesiva e contatos condutivos. Eles podem ser colado em superfícies com trilhas de cobre ou tinta condutiva, funcionando como uma peça de um circuito elétrico de verdade. Existem modelos com luzes (*LED*), sensores (de som, luz ou toque) e até microcontroladores programáveis, o que permite criar interações simples de forma segura, sem precisar de solda ou fios.

Os *circuit stickers* são usados para tornar o ensino de raciocínio lógico e pensamento computacional mais fácil e criativo. A ideia principal é permitir que circuitos simples sejam montados sobre o papel usando fitas condutivas e adesivos eletrônicos, como *LED* e sensores (QI et al., 2015).

Mesmo que muitas das aplicações que vemos na literatura envolvam os próprios alunos fazendo a montagem, o potencial educativo dessas ferramentas vai muito além da construção. Quando combinados com materiais pedagógicos prontos, os *circuit stickers* permitem criar experiências interativas com luz, som e toque. Assim, professores podem usar essas tecnologias como ferramentas lúdicas para ajudar a ensinar conteúdos variados.

No caso de alunos com deficiência intelectual, o uso de estímulos visuais, táteis e sonoros é especialmente importante para manter a atenção e favorecer o aprendizado. Por isso, mesmo sem a montagem dos circuitos pelos estudantes, o uso de atividades interativas baseadas em *circuit stickers* pode contribuir para a inclusão e o engajamento na aprendizagem.

A Figura 1, retirada do trabalho de Qi, Demir e Paradiso (2017) mostra um bom exemplo desse tipo de aplicação. Nela, ao cobrir a lua com a mão, os sensores de luz ativam as luzes das estrelas. Criando uma resposta visual imediata à interação de quem usa. Essa ideia une arte, uma história e tecnologia, reforçando o uso dos *circuit stickers* como recurso educativo.

Figura 1 – Exemplo de atividade com circuit stickers



Fonte: Qi, Demir e Paradiso (2017, p. 1974).

2.5 O MangaSticker como ferramenta interativa

O MangaSticker é uma ferramenta que permite criar histórias em estilo mangá junto a circuitos interativos. Fazendo uso de adesivos condutivos e componentes eletrônicos aplicados diretamente sobre o papel, é possível desenvolver experiências educativas sensoriais e dinâmicas (SILVA et al., 2021).

Essa tecnologia combina elementos visuais, como personagens e narrativas ilustradas, com recursos físicos como *LED*, botões e alto-falantes. O circuito é montado com fita de cobre e conectado a um microcontrolador, como o Arduino, junto com o módulo DFPlayer Mini, que permite a reprodução de áudios. Assim, ao pressionar um botão, o participante pode acionar luzes ou ouvir sons, o que torna a atividade mais envolvente.

O projeto do MangaSticker se baseia no conceito de interfaces tangíveis, onde a interação acontece diretamente com os elementos físicos da página. Isso favorece o aprendizado de pessoas com deficiência intelectual, pois transforma o conteúdo abstrato em algo real e palpável. As atividades propostas podem ser personalizadas de acordo com o nível de dificuldade e nos objetivos pedagógicos.

A simplicidade de montagem e a flexibilidade de adaptação fazem do MangaSticker uma alternativa viável para o ensino de diversos conteúdos, principalmente em ambientes que precisam de acessibilidade, criatividade e baixo custo.

3 REQUISITOS E PROJETO

3.1 Requisitos do protótipo

O protótipo desenvolvido neste trabalho foi pensado para atender às necessidades de pessoas com Síndrome de Down, levando em consideração as características comuns desse público, como por exemplo, dificuldades com abstrações matemáticas e maior facilidade com estímulos visuais e interações concretas.

O principal objetivo do protótipo é apoiar o ensino de aritmética aplicada à vida prática, utilizando como contexto o reconhecimento de cédulas, associação de valores e realização de somas simples.

Com base nesses objetivos, os seguintes requisitos foram considerados essenciais no planejamento:

a) Requisitos funcionais:

- As interações com os botões devem acionar *LED* e sons gravados, de forma imediata.
- O protótipo deve permitir divisão das atividades em três níveis de dificuldade: fácil, médio e difícil.

b) Requisitos não funcionais:

- Simplicidade visual e estrutural: os circuitos foram montados sobre papel, com organização clara, sem excesso de elementos visuais que possam causar distração.
- Segurança e acessibilidade: os materiais utilizados foram escolhidos por serem leves, não tóxicos e sem pontas ou componentes perigosos.
- Curta duração por atividade: as tarefas foram projetadas para serem rápidas e objetivas. Em média, cada atividade teve duração de até 1 minuto e 30 segundos, respeitando o tempo de atenção dos participantes.

c) Requisitos pedagógicos:

- Estímulo multissensorial: o protótipo usa *LED* (estímulo visual), sons gravados com *feedback* positivo (estímulo auditivo) e botões para interação (estímulo tátil).

- Abordagem respeitosa e adequada à faixa etária: apesar de utilizarem recursos lúdicos, as atividades foram cuidadosamente planejadas para não serem infantilizadas, levando em conta que os voluntários são jovens e adultos. O material foi estruturado com linguagem simples, mas com apresentação respeitosa e alinhada à idade dos participantes.
- Captação de respostas: as reações dos participantes são gravadas em vídeo para análise posterior.

Esses requisitos garantem que o protótipo seja eficaz como ferramenta de ensino, respeitando o perfil dos usuários, os objetivos pedagógicos definidos e os princípios da educação inclusiva.

3.2 Público-alvo

Os participantes deste estudo fazem parte do Projeto Alfadown, que é uma iniciativa do Programa de Referência em Inclusão Social (PRIS) da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás). O PRIS é um programa institucional que busca promover ações de inclusão social, com objetivo de desenvolver a autonomia, a participação ativa e a cidadania de pessoas com deficiência.

O Projeto Alfadown oferece atividades educacionais, culturais e de desenvolvimento de habilidades específicas para pessoas com Síndrome de Down, contribuindo diretamente para a promoção da inclusão social. O grupo de voluntários deste trabalho é composto por jovens e adultos com Síndrome de Down, com idades entre 20 e 39 anos, que participam ativamente das atividades semanais realizadas pelo projeto.

3.3 Especificação das atividades

As atividades foram criadas para auxiliar no ensino de aritmética aplicada à vida prática, utilizando contextos relacionados à contagem, associação de valores e realização de somas simples. As tarefas foram aplicadas usando protótipos interativos com o auxílio do MangaSticker. Cada atividade tem problemas que despertam a percepção visual, a contagem e a tomada de decisão, sempre respeitando o ritmo e as características de cada participante.

Elas foram organizadas de forma gradual, começando com correspondência simples e aumentando os elementos. O grau de dificuldade foi dividido em três níveis diferentes, o Fácil (correspondência simples de valores), Intermediário (associação de somas pequenas) e Difícil

(resolução de desafios com múltiplos itens). Nove atividades foram criadas, três para cada nível, e estão apresentadas no Apêndice D.

3.3.1 Atividade nível fácil

A primeira atividade de nível fácil tem como objetivo trabalhar a correspondência direta entre um valor numérico e sua equivalência em quantidades, utilizando como referência as cédulas e moedas. Nela, o participante vê uma nota de dois reais e duas opções visuais com quantidades de moedas de um real.

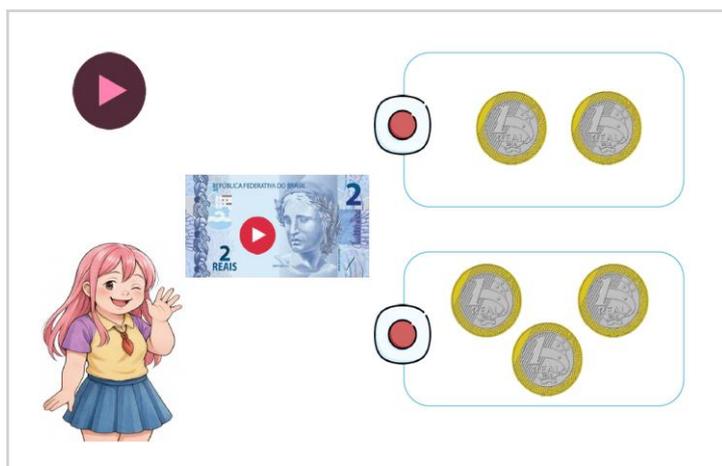
O participante precisa olhar a imagem da cédula, podendo também pressionar o botão para ouvir seu valor, e escolher (usando botões), entre as duas opções: uma com duas moedas de um real e outra com três moedas de um real. A resposta certa é a que mostra duas moedas, indicando que dois reais equivalem a duas unidades de um real.

O sistema foi programado para dar um retorno imediato. Quando o participante escolhe a opção certa, um *LED* verde acende embaixo da alternativa correta e um áudio de confirmação é ouvido, reforçando positivamente a resposta. Se a opção errada for selecionada, um *LED* vermelho acende embaixo da alternativa errada e o áudio pede para que seja feita outra tentativa, incentivando a pessoa a continuar.

A ideia dessa atividade é reforçar o conceito de equivalência simples entre valor e quantidade, usando recurso visual, tátil e auditivo para facilitar, fixar e auxiliar na compreensão, estimulando o raciocínio.

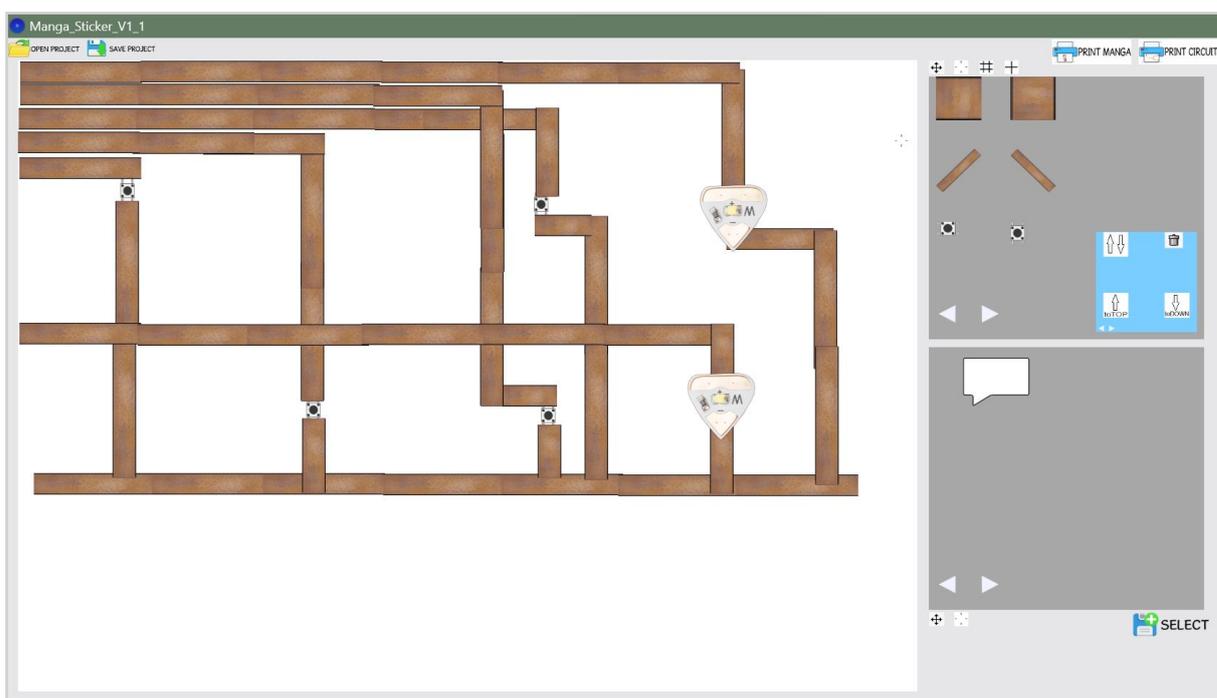
A disposição dos elementos da atividade, com a apresentação da nota e das alternativas em moedas pode ser vista na Figura 2. Além disso, a Figura 3 apresenta o esquemático da atividade desenvolvida no MangaSticker, que indica a organização dos botões, *LED* e a fita de cobre autocolante.

Figura 2 - Representação da Atividade Nível Fácil – Questão 1 (nota de R\$2,00 e alternativas).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 3 – Esquemático da Atividade Nível Fácil – Questão 1 desenvolvido no MangaSticker



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As outras atividades do nível fácil funcionam e são estruturadas da mesma forma que a primeira. A única diferença está nos valores e nas quantidades de moedas. Por exemplo, na segunda atividade, usamos a nota de cinco reais, e o participante precisa escolher entre cinco ou nove moedas de um real, sendo dez a opção correta. Já na terceira atividade, é a vez da nota de dez reais, com opções de cinco ou nove moedas, sendo cinco a quantidade certa.

Em todas essas atividades, a forma de interagir é a mesma: aparece a cédula, depois as duas opções de quantidade, a pessoa usa os botões para escolher a resposta, e tem o retorno

imediatamente. Quando acerta, um *LED* verde acende e um áudio confirma. Se erra, um *LED* vermelho acende e o áudio orienta a tentar de novo.

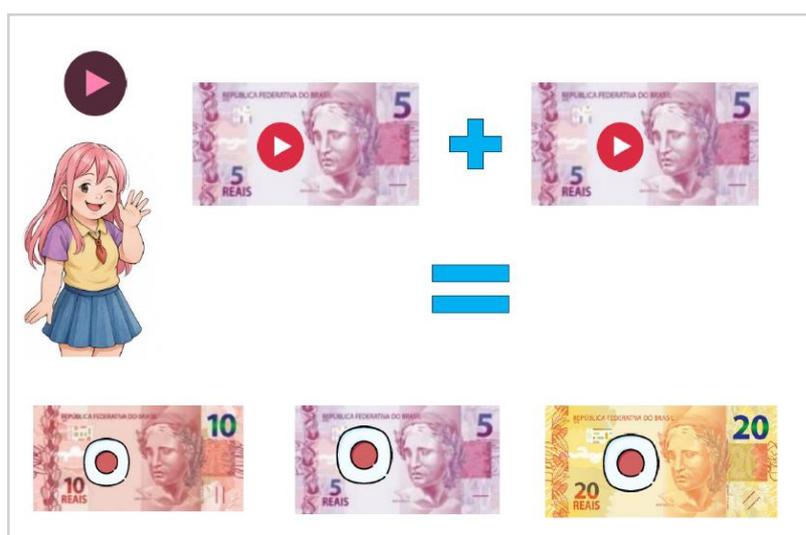
Essa repetição de dinâmica nas atividades é com o objetivo ajudar a fixar bem o conceito de equivalência entre valor e quantidade. Além disso, ela estimula habilidades como a contagem, a percepção visual, o raciocínio lógico e a tomada de decisão, sempre respeitando o tempo e o ritmo de cada participante.

3.3.2 Atividade nível intermediário

O nível intermediário foi desenvolvido com o objetivo de avançar na complexidade, trabalhando não apenas a correspondência direta de valores, mas também introduzindo operações matemáticas simples, como adição e subtração, de maneira visual e concreta.

Na primeira atividade desse nível, como mostra na Figura 4, o participante observa a operação de adição entre duas cédulas de cinco reais e deve identificar qual é o valor resultante dessa soma. São apresentadas três alternativas: uma cédula de dez reais (correta), uma de cinco reais e uma de vinte reais. Assim como nas atividades do nível anterior, no capítulo 3.3.1, é possível ouvir o valor de cada cédula ao pressionar os botões correspondentes localizados em cima de cada uma das opções.

Figura 4 – Representação da Atividade Nível Intermediário – Questão 1 (Soma de 5 + 5 reais)

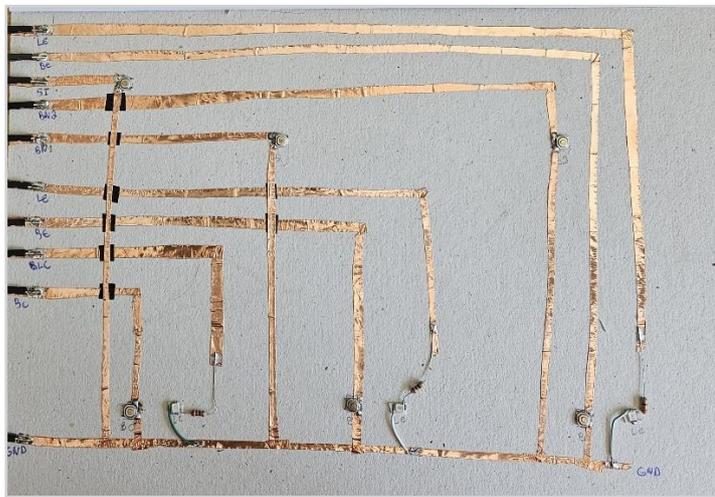


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A seguir, a Figura 5 apresenta o esquemático dessa mesma atividade que foi primeiramente desenvolvido no MangaSticker, assim como na Figura 3, só que agora feita com

os componentes físicos, sendo possível visualizar as trilhas de cobre a organização dos botões e dos *LED*.

Figura 5 – Protótipo da Atividade Nível Intermediário – Questão 1, com trilhas feitas em fita de cobre.

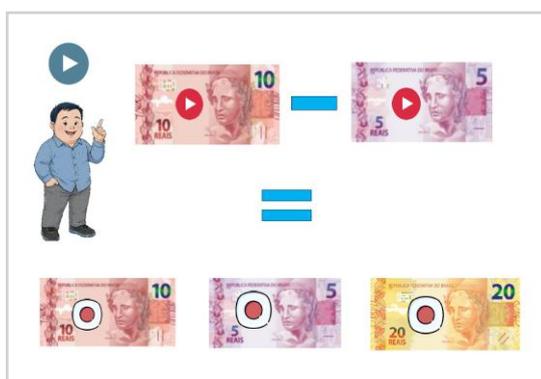


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As atividades que formam este nível seguem o mesmo princípio, mas trazem desafios que pedem um esforço maior dos participantes. Na segunda questão, por exemplo, aparecem três cédulas: duas de cinco reais e uma de dez reais. A combinação dessas notas soma vinte reais. O participante, então, precisa analisar a operação e escolher, entre as opções, aquela que corresponde corretamente ao resultado, ou seja, a cédula de vinte reais.

Na terceira atividade, como mostra a figura 7, a lógica trabalhada é a da subtração. O desafio é observar a retirada de cinco reais de uma nota de dez reais. Visualmente, a operação aparece com as cédulas uma ao lado da outra, indicando a relação de "menos". O participante deve identificar qual cédula representa o valor que sobra depois dessa operação, sendo a nota de cinco reais a alternativa correta.

Figura 6 - Representação da Atividade Nível Intermediário – Questão 3



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em todas as atividades deste nível, o padrão de interação se mantém, ao escolher a resposta certa, o participante vê um *LED* verde acender e ouve um áudio que confirma a escolha. Se a opção marcada não for a correta, o sistema acende um *LED* vermelho e uma mensagem de voz orienta a uma nova tentativa, sempre incentivando a continuar a atividade de forma positiva.

Esses desafios servem não só para reforçar o conceito de equivalência monetária, mas também para estimular o desenvolvimento de habilidades como raciocínio lógico, capacidade de resolver problemas e compreensão de operações matemáticas simples. Tudo isso acontece em um ambiente acessível, divertido e feito sob medida para as características do público.

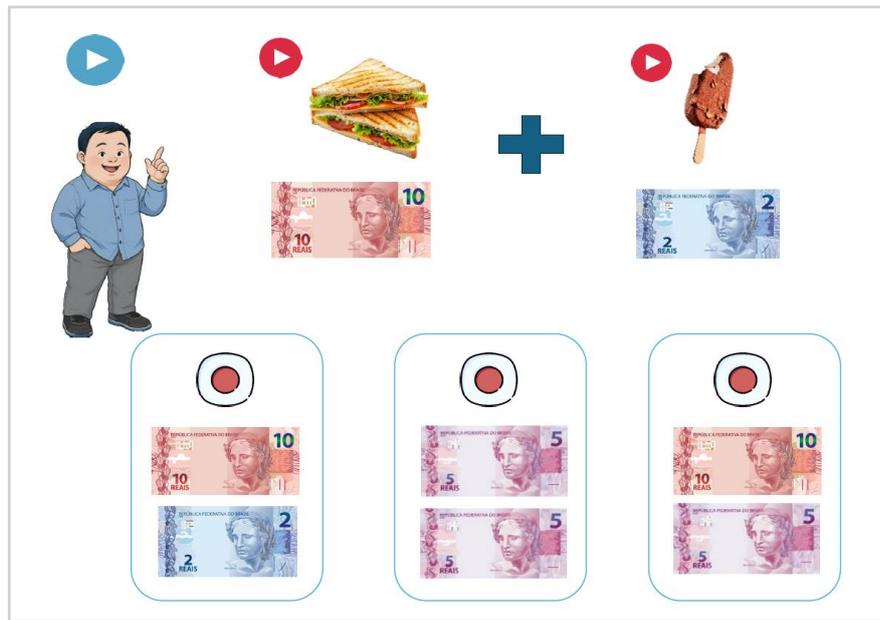
3.3.3 Atividade nível difícil

As atividades do nível difícil foram pensadas para apresentar desafios mais próximos do dia a dia, onde os participantes precisam usar o raciocínio lógico e fazer operações matemáticas. Diferente dos níveis anteriores, que era de relações diretas ou cálculos simples, este nível traz problemas com contextualização, com combinações de produtos, valores e diferentes opções de pagamento.

Na primeira atividade, o desafio é calcular o valor total da compra de dois itens: um sanduíche de dez reais e um picolé de dois reais. O participante deve fazer a soma e escolher, entre três opções, qual corresponde ao total da compra. As alternativas são: doze reais (a resposta certa), vinte reais e dez reais. O visual da atividade foi desenhado para ser bem claro e fácil de entender, mostrando as imagens dos produtos, seus preços e as opções de resposta em cédulas.

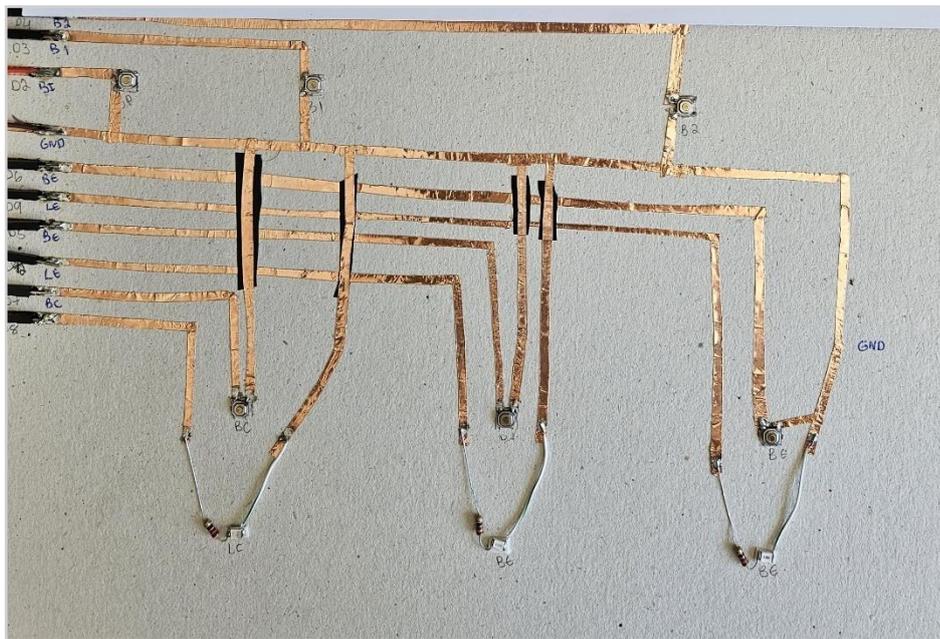
A Figura 7 mostra como essa atividade aparece visualmente, destacando os itens, os valores e a organização das opções. Em seguida, a Figura 8 apresenta uma foto do protótipo físico, no qual é possível observar a disposição dos botões, dos *LED* e das trilhas feitas com fita de cobre, que compõem a interface interativa da atividade.

Figura 7 – Representação da Atividade Nível Difícil – Questão 1



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 8 - Protótipo da Atividade Nível Difícil – Questão 1, com trilhas feitas em fita de cobre.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

3.4 Estratégias de comunicação e *feedback*

O desenvolvimento das atividades propostas levou em conta não só os aspectos visuais, táteis e sonoros na interação física, mas também a importância da comunicação acessível e afetiva como ponto central pedagógico. Cada escolha de falas, imagens e sinais de

feedback foi pensada pra ajudar no entendimento, no engajamento e no acolhimento dos participantes.

As mensagens de áudio, por exemplo, foram feitas com linguagem simples, direta e clara, evitando termos técnicos ou negativos. Em vez de frases como "errado" ou "incorreto", usamos falas construtivas que incentivam a persistência e um novo começo, como " *Aaah, não foi dessa vez, mas tente novamente!*" (arquivo 0002_aaah). Quando o participante acerta, recebe o reforço positivo imediato, como " *Parabéns! Você acertou!*" (0001_parabens). Essa forma de abordagem busca diminuir a frustração e reforçar a autoconfiança dos participantes, especialmente pensando nas características desse público.

Durante as instruções, também utilizamos falas que orientam de forma objetiva e amigável, como na atividade fácil: " *Oi! Veja a nota e escolha quantas moedas têm o mesmo valor*" (0003_instrucao), e na atividade intermediária: " *Oi! Me ajuda a somar essas notas?*" (0007_instrucao2), levando o participante de maneira clara e motivadora ao longo das etapas.

O tom das falas também foi cuidadosamente definido para ser amigável, claro e motivador, sem ser infantil, agindo como um mediador constante durante a atividade

Além dos áudios, os sinais visuais são muito importantes na comunicação com os participantes. O uso dos *LED* foi pensado como uma extensão desse sistema de *feedback*: o *LED* verde acende pra indicar acerto e reforça a escolha correta de forma imediata e intuitiva. Já o *LED* vermelho, ao contrário do que geralmente representa, não tem uma conotação de punição; ele serve como um aviso visual de que aquele caminho não é o certo, sempre acompanhado de uma mensagem de voz que convida a tentar de novo.

Outro ponto importante da estratégia de comunicação é a presença de personagens com características físicas que representam pessoas com Síndrome de Down. Essa escolha não é apenas estética; pois busca fortalecer a identificação dos participantes com o material, criar um ambiente mais empático e aumentar a sensação de pertencimento. Ao se verem nos personagens, os participantes se sentem mais motivados, acolhidos e engajados, o que afeta diretamente a experiência.

Por tudo isso, a combinação de linguagem verbal, elementos visuais e táteis foi criada intencionalmente como um sistema de comunicação inclusiva, afetiva e que facilita o aprendizado.

3.5 Componentes, materiais e tecnologias utilizadas

Para o desenvolvimento do protótipo interativo, foram utilizados diversos componentes eletrônicos, materiais específicos e tecnologias que atendem tanto os requisitos técnicos quanto as necessidades pedagógicas dos participantes. A escolha de cada item levou em consideração sua aplicabilidade no circuito de papel, facilidade de montagem, custo acessível e, principalmente, a adequação às características do público-alvo, que são pessoas com Síndrome de Down. A seguir, estão descritos os principais itens utilizados, suas funções no circuito e na atividade, além da justificativa de uso. A descrição técnica detalhada de cada componente encontra-se no capítulo 4.1.

3.5.1 *Push button SMD 4x4 mm*

O botão *push-button* foi escolhido por ser pequeno, discreto e ter o formato ideal para montar em superfícies planas, como o papel Paraná. Esse componente é o responsável por registrar a interação dos participantes, funcionando como entrada no sistema. Cada botão corresponde a uma opção nas atividades, permitindo que o usuário escolha respostas ou ative comandos.

Uma das grandes vantagens desse modelo é a sua área de contato, mesmo sendo pequeno. O botão tem uma superfície plana que facilita o pressionamento, com uma resposta tátil clara – pode ser percebido tanto pelo clique mecânico quanto pela leve resistência ao apertar. Essa característica é importante pois nosso público-alvo muitas vezes tem desafios relacionados à coordenação motora fina.

A área de contato fica ainda melhor quando o botão é instalado debaixo de uma camada de papel mais firme, de maior gramatura, e bem alinhada com a arte visual da atividade. Isso cria uma superfície que mostra exatamente onde tocar, sem exigir muita força, nem causar desconforto na hora de interagir.

Além disso, o botão foi soldado diretamente nas trilhas de fita de cobre usando estanho. Isso garante que a montagem seja resistente e a conexão elétrica estável, sem atrapalhar a forma como o participante aperta o botão.

3.5.2 *LED SMD 3528*

O *LED SMD* foi escolhido por ser pequeno, gastar pouca energia e ter uma boa luz. No circuito, tem a função de fornecer *feedback* visual imediato, acendendo para sinalizar que

uma interação foi realizada. Esse sinal de luz ajuda a manter a atenção dos participantes e reforça positivamente as escolhas deles durante as atividades.

3.5.3 Fita de cobre adesiva

A fita de cobre adesiva foi utilizada para a construção das trilhas condutivas sobre o papel. Sua flexibilidade, boa aderência e condutividade elétrica tornam esse material ideal para a montagem de circuitos em superfícies não convencionais. A fita de cobre tem uma grande vantagem estética se comparada aos fios comuns. Visualmente, ela permite que as trilhas se integrem ao desenho da atividade, acompanhando os elementos gráficos de forma limpa, organizada e discreta. Isso evita o excesso de fios soltos, que poderiam poluir o visual, atrapalhar o entendimento do material ou até causar confusão na hora de usar. Assim, além de funcional, o circuito fica mais atraente, didático e alinhado com a proposta divertida da atividade.

3.5.4 Módulo DFPlayer Mini

O módulo DFPlayer Mini foi usado para tocar os áudios das atividades. Esse componente consegue guardar arquivos de som num cartão *secure digital (microSD)* e reproduzi-los a partir de comandos do Arduino. A função dele é fornecer estímulos sonoros, que são essenciais para ajudar na compreensão das tarefas, reforçar as respostas certas e deixar a interação mais dinâmica, principalmente porque pessoas com Síndrome de Down têm mais facilidade no aprendizado pela audição.

3.5.5 Alto-falante

O alto-falante foi selecionado por seu tamanho reduzido e potência suficiente para reprodução dos áudios. Sua utilização permite a emissão clara dos sons gerados pelo módulo DFPlayer, como instruções, reforços positivos ou *feedback* de respostas. Este recurso auditivo, associado ao estímulo visual, contribui diretamente para o engajamento e a compreensão das atividades.

3.5.6 Arduino Uno

O Arduino Uno foi usado como o microcontrolador principal do projeto. Ele é o responsável por processar os sinais que chegam (dos botões) e controlar o que sai (os *LED* e o módulo DFPlayer). Escolhemos o Arduino por ser robusto, fácil de programar, ter uma grande

comunidade de apoio e ser compatível com os outros componentes. Com ele, podemos criar lógicas específicas para cada parte da atividade, o que nos dá flexibilidade para desenvolver interações adaptadas ao público-alvo.

3.5.7 Papel Paraná

O papel Paraná foi escolhido como base estrutural para a montagem do circuito e das atividades. Este material oferece rigidez, resistência e durabilidade, além de permitir uma boa fixação dos componentes eletrônicos e da fita de cobre. Além disso, proporciona uma superfície ideal para a aplicação das artes gráficas que compõem as atividades interativas, garantindo estética, usabilidade e resistência.

3.5.8 Papel couché fosco

Para a impressão dos elementos gráficos das atividades, foi utilizado papel de alta gramatura, que oferece maior resistência e qualidade visual. Este material facilita o manuseio pelos participantes e mantém a integridade da atividade, mesmo após múltiplas interações.

3.5.9 Softwares utilizados

- *Integrated Development Environment (IDE) Arduino*: Utilizado para o desenvolvimento, programação e upload dos códigos no microcontrolador Arduino Uno.
- *MangaSticker*: *Software* responsável pela criação dos elementos gráficos das atividades, permitindo a integração entre as histórias, os botões e os *LED*.
- *EmoLab*: Ferramenta empregada na análise dos vídeos gravados durante os testes, que permite a captura de expressões faciais dos participantes, gerando dados quantitativos sobre engajamento, atenção e emoções.

3.6 Planejamento e montagem do protótipo

O planejamento do protótipo foi estruturado de maneira a integrar os requisitos pedagógicos, sensoriais e tecnológicos necessários para a realização das atividades. Desde o início, buscou-se garantir que o material fosse funcional, acessível e visualmente atrativo, atendendo às necessidades do público-alvo.

O processo começou com o desenvolvimento dos layouts no *software* MangaSticker, onde foram criadas as páginas que combinam os elementos gráficos — personagens, cenários

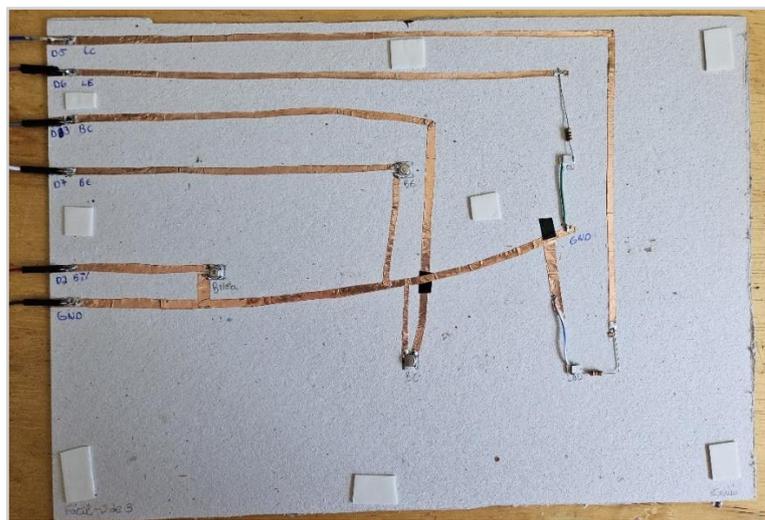
e representações das cédulas e moedas — com os pontos de interação física, como botões e *LED*. A organização desses elementos foi cuidadosamente pensada para proporcionar clareza na comunicação visual, acessibilidade tátil e coerência com as histórias propostas.

Após a finalização dos *layouts*, deu-se início à etapa de montagem física do protótipo. As páginas foram impressas em papel couchê A4, material escolhido por sua durabilidade, qualidade de impressão, resistência e gramatura - essencial para que os botões pudessem ser pressionados com uma área de contato maior. Sobre essas páginas, foram aplicadas as trilhas condutivas, utilizando fita de cobre adesiva, responsável pela conexão elétrica entre os componentes. Nos pontos designados para interação, foram soldados os botões *SMD* e os *LED*, seguindo o mapeamento previamente definido no esquema do MangaSticker.

Cada página foi interligada ao microcontrolador Arduino Uno, que, em conjunto com o módulo DFPlayer Mini, controla a reprodução dos áudios de instrução e *feedback*, bem como o acionamento dos *LED* em resposta às interações dos participantes.

O processo de montagem pode ser observado na Figura 9, que registra as principais etapas, desde a colagem das trilhas até a fixação dos componentes eletrônicos no suporte de papel.

Figura 9 - Registro do processo de montagem de um dos protótipos



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2025).

Antes da aplicação oficial junto aos voluntários do projeto, foram realizados testes preliminares de usabilidade, com o objetivo de verificar se o protótipo atendia não apenas aos requisitos técnicos, mas também às demandas motoras, sensoriais e cognitivas dos usuários.

Esses testes foram conduzidos de maneira informal com adultos e crianças, com a finalidade de avaliar aspectos como o tamanho dos botões, a clareza das interações, a responsividade dos *LED* e a compreensão dos áudios. A proposta era assegurar que a manipulação dos botões fosse confortável, que os elementos estivessem bem posicionados e que a atividade fosse intuitiva, sem gerar confusão durante sua execução.

O retorno obtido nesses testes foi positivo. Os participantes compreenderam rapidamente a dinâmica das atividades, relataram facilidade na identificação dos botões e aprovaram o tamanho e a disposição dos elementos. Esse *feedback* confirmou que o projeto estava adequado, tanto no aspecto ergonômico quanto na clareza das interações, não sendo necessárias alterações significativas antes da aplicação formal.

A Figura 10 apresenta registro de um desses momentos de teste de usabilidade, que teve um papel fundamental na validação do protótipo.

Figura 10 - Registros de um dos testes preliminares de usabilidade de um dos protótipos



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2025).

A realização desse processo de montagem, aliada aos testes de validação, garantiu que o protótipo estivesse plenamente funcional, resistente e alinhado aos objetivos pedagógicos propostos. Dessa forma, o material final se apresentou como uma ferramenta acessível,

interativa e capaz de proporcionar uma experiência de aprendizagem significativa, lúdica e adequada às características do público-alvo.

4 TECNOLOGIAS, PROTÓTIPOS, TESTES E RESULTADOS

4.1 Tecnologia utilizadas

Este item traz as especificações técnicas dos componentes, materiais e tecnologias que usamos na montagem do protótipo. As informações detalhadas aqui são essenciais para que o circuito possa ser reproduzido e mantido corretamente, além de facilitar o entendimento de como ele funciona.

4.1.1 Chave tátil Push Button SMD 4x4 mm

- Modelo: *Push Button* Tátil SMD 4x4 mm
- Tipo: SMD (*Surface Mount Device*)
- Dimensões: 4 mm x 4 mm x 1,5 mm (aproximado)
- Tensão máxima: 12V
- Corrente máxima: 50mA
- Material: Plástico com terminais metálicos
- Modo de acionamento: Momentâneo (o circuito fecha enquanto pressionado)
- Característica relevante: Superfície plana, com área tátil adequada, facilitando a interação direta, principalmente quando aplicado sob camadas de papel rígido.

O *Push Button SMD 4x4 mm*, mostrado na Figura 11, foi selecionado devido às suas dimensões reduzidas e perfil baixo, características que favorecem sua aplicação em superfícies planas, como o circuito construído em papel. A imagem evidencia o tamanho do componente e sua superfície plana, que proporciona uma área tátil adequada para o acionamento pelos participantes, mesmo estando posicionado sob uma camada de papel de alta gramatura, mantendo a estética da atividade e garantindo fácil interação.

Figura 11 - Push Button SMD 4x4 mm utilizado no protótipo.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2025).

4.1.2 LED SMD

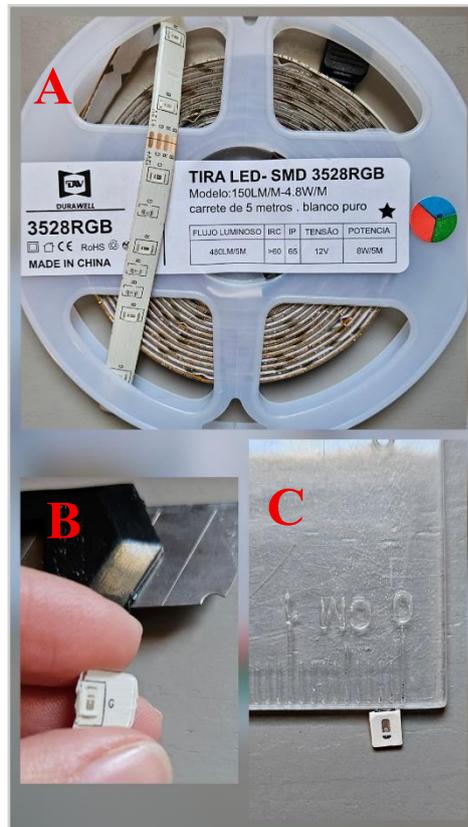
- Origem: Retirados de uma fita de *LED* modelo 150LM/M-4.8W/M
- Tipo: *LED SMD* 3528 encapsulado em silicone (originalmente integrado na fita)
- Quantidade na fita: 54 *LED* por metro
- Voltagem de alimentação da fita: 12V (em série de grupos de 3 *LED* + resistor)
- Consumo da fita: 8W a cada 5 metros (1,6W/m)
- Fluxo luminoso da fita: 480 lumens por metro
- Acabamento: Silicone incolor sobre a fita
- Característica de corte: *LED* removíveis a cada módulo de 3 unidades na fita (com resistor associado na fita)
- Observação: Quando utilizados individualmente, os *LED* foram reaproveitados sem os resistores originais da fita, sendo adaptados diretamente para alimentação de 5V, via Arduino.

Por se tratar de *LED* retirados da fita, a corrente e a tensão de operação dos *LED* individuais não seguem rigorosamente as especificações padrão de *LED SMD* avulsos. É estimado que cada *LED* opere em torno de 3,0V a 3,2V, com corrente média de 15 a 20mA, conforme testes práticos realizados no circuito.

A escolha por utilizar *LED* retirados da fita também se deu não apenas pela viabilidade econômica e pela facilidade de reaproveitamento, mas especialmente por se tratar de *LED* de tamanho reduzido (*SMD* 3528), que se encaixam perfeitamente no layout do circuito feito em papel, sem ficarem visivelmente aparentes. Dessa forma, a montagem mantém um acabamento mais limpo e organizado, alinhado à proposta estética e funcional da atividade interativa.

A Figura 12 ilustra o processo de retirada dos *LED* da fita de *LED* modelo 150LM/M-4.8W/M. Na imagem (A) observa-se o rolo da fita de *LED* original. A etapa de remoção do encapsulamento de silicone está representada na imagem (B), utilizando um estilete para corte. Por fim, na imagem (C), é possível visualizar o *LED* já separado da fita, posicionado ao lado de uma régua, evidenciando seu tamanho reduzido, que foi determinante para a escolha deste componente, considerando seu encaixe discreto no circuito e a estética final do protótipo.

Figura 12 - (A) Fita de LED original; (B) Etapa de remoção do encapsulamento de silicone com auxílio de estilete; (C) LED separado posicionado ao lado de uma régua para referência de escala.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2025).

4.1.3 Fita de cobre adesiva

- Material: Cobre puro com base adesiva condutiva
- Largura: 5 cm
- Espessura: 0,05 mm (aproximadamente)
- Comprimento: variável (utilizado conforme necessidade do circuito)
- Resistência elétrica: baixa, excelente condutividade
- Característica: Adesivo condutivo, permite criar trilhas elétricas diretamente sobre papel, sem necessidade de fios.

A fita de cobre adesiva, ilustrada na Figura 13, foi utilizada para a construção das trilhas condutivas do circuito. Na imagem, observa-se a fita, sua largura e o detalhe do verso com o adesivo condutivo. A utilização deste material permitiu a criação de trilhas diretamente sobre o papel Paraná, garantindo um acabamento visual mais limpo e organizado quando comparado à utilização de fios, além de manter a integração estética com os elementos gráficos das atividades.

Figura 13 - Fita de cobre adesiva utilizada na montagem do circuito



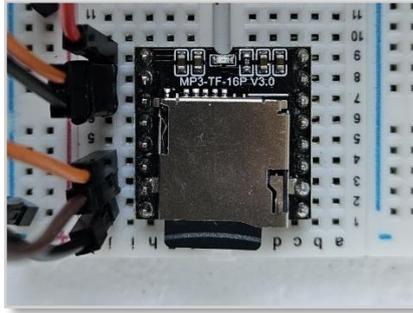
Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Módulo DFPlayer Mini

- Modelo: DFPlayer Mini MP3 *Player*
- Tensão de operação: 3,2V a 5,0V
- Corrente: até 100mA (em reprodução)
- Armazenamento: Cartão *MicroSD* (até 32GB)
- Formatos suportados: MP3, WAV, WMA
- Interface de controle: Serial Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART), (*Input/Output*) I/O direta ou Arduino
- Saída de áudio: Estéreo para fone de ouvido ou saída mono para alto-falante externo

O módulo DFPlayer Mini, ilustrado na Figura 14, foi utilizado como reproduutor de áudio no protótipo. A imagem apresenta sua vista superior, na qual é possível observar os terminais de conexão e o slot com o cartão *microSD*. O tamanho reduzido e a disposição dos pinos justificaram a necessidade de utilizar uma protoboard para facilitar as conexões, especialmente durante o processo de testes e montagem final.

Figura 14 - Módulo DFPlayer Mini utilizado no protótipo



Fonte: Autoria própria.

4.1.5 Alto-falante 3W 4 Ohms

- Potência: 3W
- Impedância: 4 Ohms
- Tensão de operação: compatível com a saída do DFPlayer
- Diâmetro: aproximadamente 40 mm (varia conforme modelo utilizado)
- Material: Estrutura plástica com membrana de papel ou polímero
- Característica: Volume suficiente para ambiente fechado, som claro e nítido para reprodução das instruções e *feedback* sonoro das atividades

O alto-falante 3W 4 Ohms, que se vê na Figura 15, foi o escolhido para reproduzir os áudios das atividades. A imagem mostra seu tamanho, o formato e as características físicas.

Figura 15 - Alto-falante 3W 4 Ohms utilizado no protótipo



Fonte: Autoria própria.

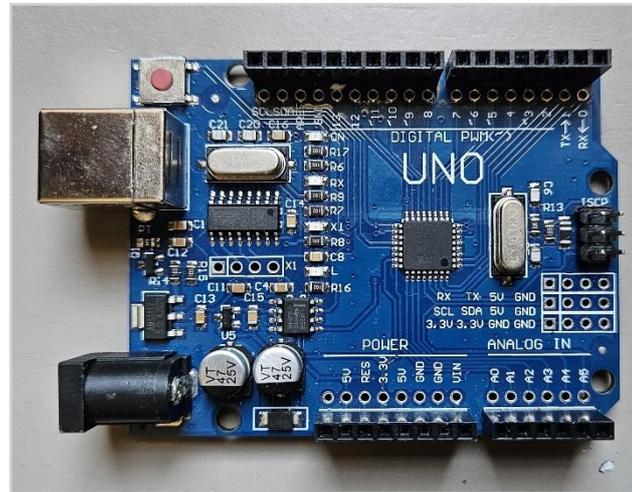
4.1.6 Arduino Uno

- Modelo: Arduino Uno R3
- Microcontrolador: ATmega328P
- Tensão de operação: 5V

- Tensão de entrada: 5V através da porta *Universal Serial Bus* (USB)
- Corrente por pino I/O: 20mA (máx.)
- Memória *Flash*: 32KB
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Entradas e saídas digitais: 14 (sendo 6 PWM)
- Entradas analógicas: 6
- Interface de comunicação: USB, UART, SPI, I2C
- Função no projeto: Controle dos *LED*, leitura dos botões e acionamento do módulo DFPlayer

O microcontrolador Arduino Uno, ilustrado na Figura 16, foi utilizado como unidade de controle central do protótipo. A imagem permite visualizar a disposição dos pinos de entrada e saída, o conector *USB* utilizado para alimentação e programação, bem como o conector de alimentação externa, que, neste projeto, não foi utilizado.

Figura 16 - Microcontrolador Arduino Uno utilizado no protótipo.



Fonte: Autoria própria.

4.1.7 *Papel Paraná*

- Material: Papelão prensado de alta densidade
- Espessura: 1,9 mm
- Formato utilizado: A4 e sob recorte manual
- Cor: parto claro (de papel reciclado)
- Tamanho: cortado do tamanho do A4

- Função: Suporte estrutural para o circuito e para a aplicação das artes gráficas

4.1.8 Papel de alta gramatura para impressão

- Gramatura: 180g a 230g/m² (utilizado na impressão das artes)
- Tipo: Papel couchê fosco
- Tamanho: A4
- Característica: Superfície lisa, resistente ao manuseio e à aplicação sobre o papel Paraná

4.1.9 Webcam

- Modelo: *Microsoft LifeCam* HD-3000
- Resolução de vídeo: HD 720p (1280 x 720)
- Conexão: USB 2.0
- Áudio: Microfone embutido com cancelamento de ruído
- Compatibilidade: Windows, MacOS (via *drivers* genéricos)
- Características: Foco fixo, lente com ângulo de visão de 68,5°, suporte flexível para fixação em monitores ou superfícies planas

A Figura 17 apresenta a webcam utilizada no projeto, responsável pela captura dos vídeos dos participantes durante a realização das atividades, etapa fundamental para a análise das expressões faciais no software EmoLab.

Figura 17 – Webcam utilizada para filmagem dos voluntários.



Fonte: Autoria própria.

4.1.10 Softwares e materiais auxiliares utilizados

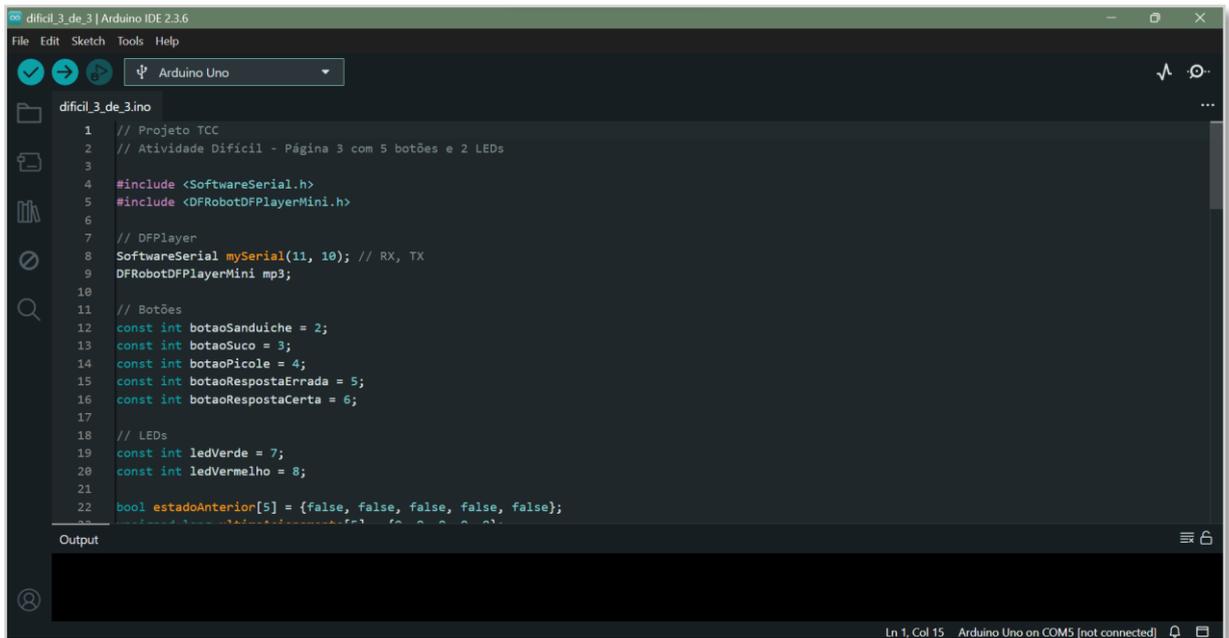
Além dos *softwares* empregados no desenvolvimento do protótipo, foram utilizados materiais auxiliares e ferramentas que desempenharam papel fundamental durante o processo de montagem, soldagem e organização dos componentes no circuito. Embora não façam parte da lógica de funcionamento, esses materiais foram indispensáveis para garantir a montagem adequada dos elementos, a integridade elétrica e a qualidade visual do protótipo.

Os *softwares* utilizados no projeto foram: *IDE* Arduino, MangaSticker e EmoLab.

4.1.9.1 IDE Arduino – Especificação técnica

A IDE Arduino é uma plataforma de desenvolvimento integrada, utilizada para programação, compilação e upload de códigos em microcontroladores da família Arduino. Sua interface é simples e intuitiva, desenvolvida em Java e baseada no ambiente *Processing* e nas bibliotecas do *Wiring*. É compatível com os sistemas operacionais Windows, macOS e Linux. A versão utilizada no desenvolvimento deste projeto foi a 1.8.19. A IDE suporta programação na linguagem C/C++, adaptada para o ambiente Arduino, e oferece recursos como verificação de código, monitor serial, e integração com bibliotecas externas. Permite comunicação direta com o microcontrolador via cabo USB, além de oferecer suporte para carregamento de códigos, visualização de mensagens de depuração e interação em tempo real com o dispositivo conectado. A interface da IDE apresenta campos para escrita de código, botões de verificação, *upload*, abertura de arquivos, além de uma área de mensagens de compilação e status da conexão.

Figura 18 - Interface da IDE Arduino com o código desenvolvido para o projeto.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18 é possível visualizar a interface da *IDE* Arduino utilizada no desenvolvimento do código do projeto. A imagem exibe a área principal de trabalho, onde é escrito e editado o código-fonte, e os botões de controle localizados na parte superior da tela, responsáveis por ações como verificar, compilar e enviar o código para o microcontrolador.

4.1.9.2 EmoLab – Especificação técnica

O software EmoLab é uma ferramenta utilizada para análise de expressões faciais e estados emocionais por meio do reconhecimento automático de microexpressões. Sua interface é compatível com o sistema operacional Android e permite entrada de dados a partir de arquivos de vídeo.

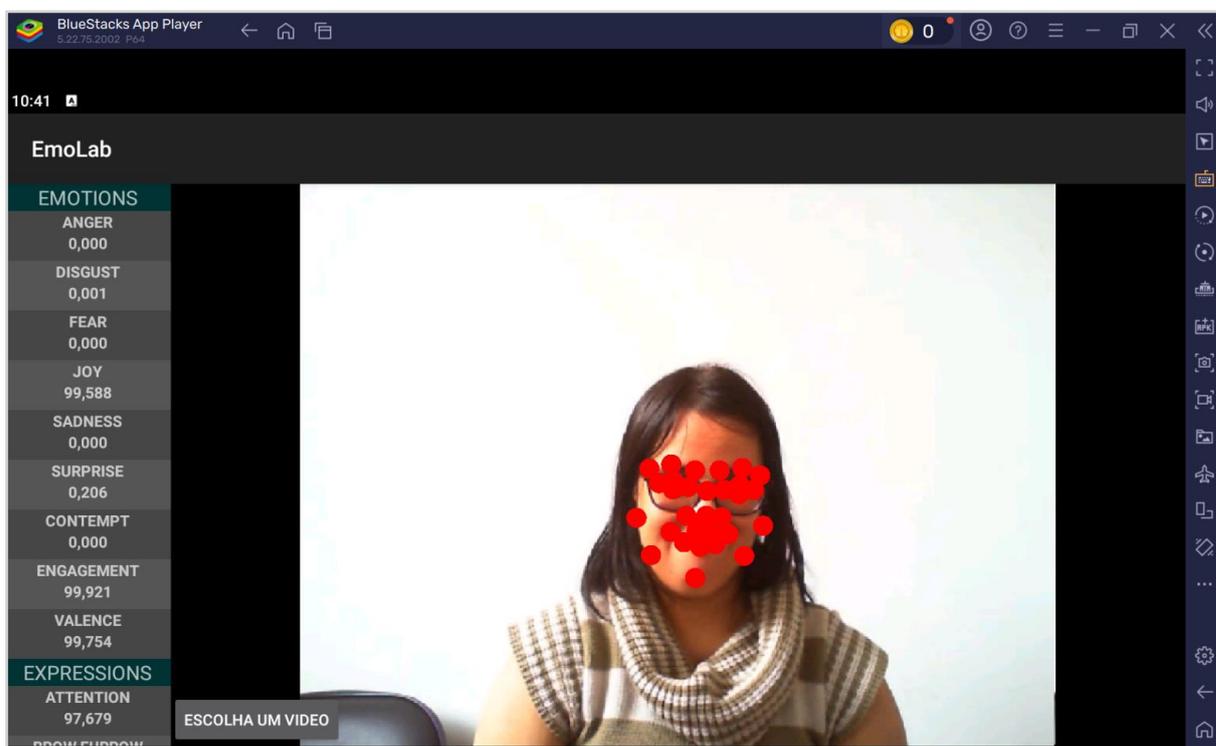
Para viabilizar sua utilização no ambiente de desenvolvimento do projeto, foi utilizado o emulador de Android para Windows chamado BlueStacks, que permitiu rodar o software EmoLab diretamente em um computador, sem necessidade de dispositivo móvel.

O EmoLab realiza o mapeamento de pontos faciais, identificando movimentos e variações em regiões como olhos, sobrancelhas e boca, e gera gráficos que acompanham os estados emocionais, como atenção, felicidade, engajamento, surpresa, entre outros.

A saída dos dados é exportada em arquivos de texto (.txt), contendo informações quantitativas e qualitativas de cada sessão analisada.

A Figura 19 apresenta a interface do EmoLab, composta por uma tela de visualização dos vídeos com marcação dos pontos faciais, além de dados dinâmicos que representam os níveis emocionais detectados ao longo do tempo, exibidos na lateral esquerda da tela.

Figura 19 - Interface do Emolab fazendo leitura dos pontos faciais de um voluntário.



Fonte: Autoria própria.

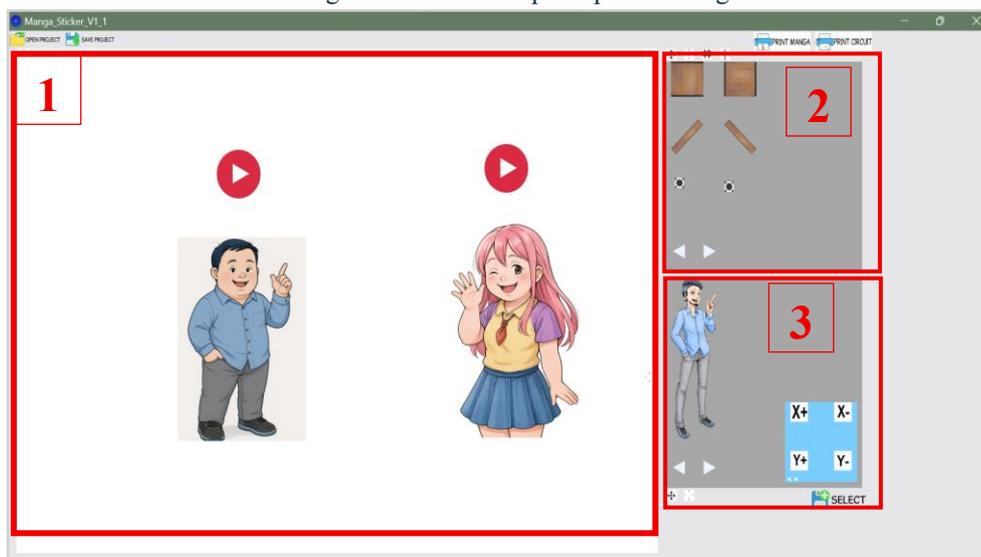
4.1.9.3 MangaSticker – Especificação técnica

O MangaSticker é um software desenvolvido para a criação de atividades interativas em papel, que combinam elementos gráficos — como personagens, cenários e ilustrações — com circuitos eletrônicos feitos com trilhas de cobre, botões e LED.

O software permite organizar tanto os elementos visuais quanto o layout dos circuitos, definindo com precisão a posição dos botões, dos LED e das trilhas, garantindo que o circuito físico se alinhe perfeitamente com o material gráfico impresso.

Além disso, o MangaSticker possibilita configurar zonas de toque e definir os comportamentos interativos, como o acionamento de luzes e a reprodução de áudios, simulando o funcionamento do circuito diretamente no ambiente de criação.

Figura 20 - Interface principal do MangaSticker.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A Figura 20 apresenta a tela principal do *MangaSticker*. A área 1 corresponde ao espaço de criação, onde o usuário monta a página interativa. Nesse local, são inseridos os personagens, os botões, os *LED* e os demais elementos visuais.

Na lateral direita, a área 2 representa a caixa de ferramentas com os componentes eletrônicos, como *LED*, botões e fita de cobre, que podem ser arrastados para o campo de edição. A área 3 exibe a biblioteca de personagens e imagens, permitindo selecionar, mover e configurar os elementos gráficos da atividade.

O software também oferece funções para aumentar ou diminuir o tamanho dos objetos, rotacionar, espelhar ou reorganizar sua posição (como enviar para frente ou para trás em relação a outros elementos). Para facilitar a organização, há atalhos como a tecla **T**, que esmaece os personagens e destaca o circuito, e a tecla **R**, que traz novamente os elementos visuais para o primeiro plano.

4.1.9.4 Materiais auxiliares

Além dos componentes eletrônicos e dos softwares utilizados no desenvolvimento do protótipo, foi necessária a utilização de materiais auxiliares, fundamentais para a montagem física das atividades interativas.

Esses materiais foram selecionados considerando critérios de resistência, praticidade, facilidade de manuseio e custo acessível. Eles foram indispensáveis na preparação da base estrutural, na fixação dos componentes e no acabamento das atividades impressas.

Os principais materiais utilizados foram:

- **Fita adesiva de cobre:** utilizada na construção das trilhas condutivas, que formam o circuito sobre o papel.
- **Fita isolante:** aplicada em pontos onde uma trilha precisa passar sobre outra, isolando as conexões. Apesar de a fita de cobre não ser condutiva na parte inferior (onde há cola), a fita isolante oferece uma segurança adicional para evitar contatos indesejados.
- **Fita dupla face:** utilizada para colar a folha impressa da atividade sobre a base do circuito, garantindo alinhamento preciso entre os botões, *LED* e os elementos visuais da atividade.
- **Tesoura:** essencial para o corte da fita adesiva de cobre e de pequenos ajustes durante a montagem.
- **Estilete:** utilizado especialmente para cortes precisos no papel Paraná, abertura de espaços para encaixe dos botões, *LED* e para ajustes no acabamento.
- **Pinça:** ferramenta fundamental para auxiliar na fixação de componentes pequenos, como *LED SMD* e botões *SMD*, durante o processo de soldagem.
- **Ferro de solda:** utilizado para realizar as conexões elétricas entre os fios e os componentes, assim como a soldagem dos terminais nas trilhas de cobre.
- **Estanho:** material condutivo utilizado na soldagem, garantindo uma conexão elétrica firme e estável.
- **Alicate de corte:** utilizado para cortar fios, terminais excedentes e realizar ajustes nas conexões.
- **Suporte com lupa:** equipamento importante para auxiliar na soldagem de componentes pequenos, oferecendo melhor visualização, precisão e estabilidade no processo.
- **Fios de cobre tipo jumper:** utilizados para as conexões entre os componentes eletrônicos e o microcontrolador, nas configurações macho x macho e macho x fêmea, dependendo da necessidade de cada ponto do circuito.

- **Resistores:** utilizados para limitar a corrente elétrica nos *LED*, protegendo contra queima e garantindo seu funcionamento.

4.2 Desenvolvimento dos protótipos

Com os materiais e componentes devidamente preparados, foi iniciado o processo de desenvolvimento dos protótipos que deram forma às atividades interativas propostas. Todo o planejamento do layout das trilhas, posicionamento dos botões, *LED* e elementos visuais foi previamente definido no software MangaSticker, garantindo o alinhamento correto entre os circuitos e os elementos gráficos impressos.

A primeira etapa consistiu na preparação da base estrutural, utilizando papel Paraná, onde foram feitas as marcações para definir os locais exatos de cada componente eletrônico, como botões, *LED*, resistores e trilhas condutivas.

Em seguida, iniciou-se a montagem das trilhas utilizando fita adesiva de cobre, respeitando o percurso conforme o esquema planejado no software. Nos pontos onde uma trilha precisava cruzar outra, foi aplicada fita isolante como medida preventiva, garantindo um isolamento físico entre as trilhas sobrepostas. Vale destacar que, tecnicamente, a fita adesiva de cobre utilizada é condutiva apenas na parte superior — ou seja, na superfície metálica —, não sendo condutiva na parte inferior, onde se encontra a camada de cola. Portanto, o uso da fita isolante não seria estritamente necessário do ponto de vista elétrico, mas foi adotado como forma de reforçar a segurança e evitar qualquer possibilidade de contato acidental ou falhas futuras no circuito.

Os *LED SMD* e os botões *SMD* foram fixados diretamente sobre as trilhas de cobre na superfície do papel, sem necessidade de perfuração da base. A utilização de pinças foi essencial para posicionar esses componentes de forma precisa. A seguir, realizou-se a soldagem dos terminais dos componentes diretamente sobre a fita de cobre, bem como a soldagem dos fios de conexão, que fazem a ponte entre o circuito no papel e os módulos externos (Arduino e DFPlayer Mini). Também foram adicionados os resistores, que cumprem a função de limitar a corrente elétrica, protegendo os *LED* de sobrecarga.

Durante a soldagem, o uso de suporte com lupa foi indispensável para garantir a precisão, especialmente nos pontos de maior concentração de conexões. Após a instalação dos componentes, foram organizados os fios tipo jumper (macho x macho e macho x fêmea), responsáveis pela conexão entre o circuito no papel e os módulos eletrônicos externos.

Na sequência, procedeu-se à colagem da folha impressa da atividade sobre a base com o circuito já montado. A fixação foi feita com fita dupla face, garantindo o alinhamento exato entre os elementos visuais, como botões e *LED*, e seus respectivos componentes físicos.

Por fim, foram realizados testes preliminares para verificar o funcionamento de cada parte do sistema, incluindo acionamento dos botões, funcionamento dos *LED* e reprodução dos áudios programados no Arduino. Esses testes foram fundamentais para validar a integridade do circuito, identificar possíveis falhas e garantir que todas as conexões estivessem funcionando corretamente.

Durante essa etapa, também foi feita a preparação da câmera utilizada para registro dos testes com os voluntários, permitindo que as expressões faciais e o comportamento durante as atividades fossem posteriormente analisados no software EmoLab.

Ao final da montagem do circuito, foi realizada a organização dos módulos eletrônicos externos, com foco na proteção dos componentes e na redução de estímulos visuais que pudessem desviar a atenção dos participantes durante as atividades.

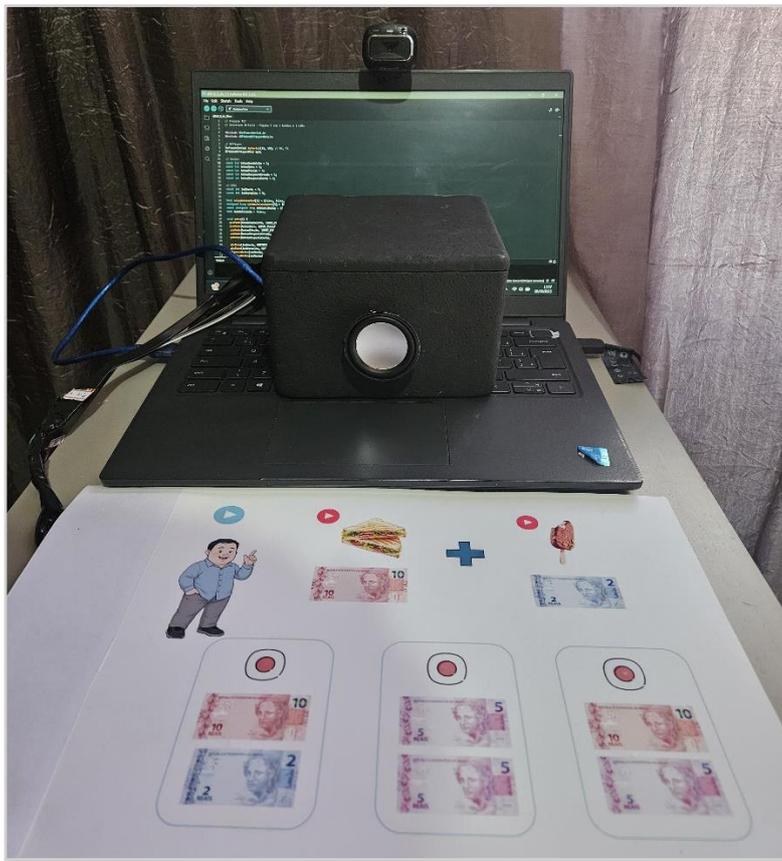
Para isso, o Arduino, a protoboard com o módulo DFPlayer Mini e os fios de conexão foram acondicionados em uma pequena caixa de isopor, escolhida por ser leve, de fácil manuseio e com tamanho suficiente para acomodar os componentes. A caixa foi então pintada na cor preta, buscando manter uma harmonia visual com o ambiente, já que durante as atividades ela ficou posicionada sobre um computador também preto.

Essa escolha teve como objetivo não só proteger os componentes, mas também minimizar sua visibilidade, contribuindo para que os participantes mantivessem o foco nas atividades propostas, evitando curiosidade ou distração com os equipamentos eletrônicos.

Além da pintura, foram feitos furos laterais na caixa, por onde passaram os fios de conexão entre o Arduino, o módulo de áudio e o circuito montado no papel. Essa solução permitiu que a organização ficasse limpa, segura e com o menor número possível de fios expostos, reduzindo riscos de desconexões acidentais durante as atividades.

A Figura 21 apresenta a montagem completa do protótipo desenvolvido, incluindo a folha da atividade interativa, a caixa de acondicionamento dos componentes eletrônicos, o notebook utilizado como suporte para a webcam e controle do sistema, e a câmera posicionada para a gravação dos testes.

Figura 21 - Montagem completa do protótipo, composta pela folha da atividade, caixa para acondicionamento do Arduino e DFPlayer Mini, notebook de apoio e câmera utilizada para gravação dos testes.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.3 Desenvolvimento do código e lógica de funcionamento

O desenvolvimento do código foi estruturado de forma simples, clara e funcional, pensando na usabilidade dos participantes e a interação direta com os elementos físicos da atividade. A lógica foi construída utilizando a plataforma Arduino, em conjunto com o módulo de áudio DFPlayer Mini, *LED* e botões, responsáveis pela interação tátil e visual.

O código foi elaborado utilizando as bibliotecas *SoftwareSerial*, para estabelecer comunicação com o DFPlayer, e *DFRobotDFPlayerMini*, que gerencia a reprodução dos áudios. O Arduino gerencia simultaneamente os botões, os *LED* e o áudio, permitindo que cada interação gere uma resposta sonora e visual.

A lógica de funcionamento foi aplicada de forma uniforme em todas as atividades (nível fácil, intermediário e difícil), variando apenas a quantidade de botões e *LED*, além dos áudios específicos de cada fase.

Sempre que um botão é pressionado, o Arduino executa três ações simultâneas:

1. Reproduz o áudio correspondente ao botão.
2. Acende o *LED* associado à ação (verde para acerto, vermelho para erro).
3. Mantém o *LED* aceso durante a reprodução do áudio, desligando após cerca de 1,5 segundos.

O código permite que qualquer áudio seja reproduzido quantas vezes o participante desejar, incluindo tanto a instrução da atividade quanto os áudios das opções. Isso proporciona maior autonomia e reforço positivo, permitindo que o participante ouça novamente sem a necessidade de auxílio externo.

O controle de acionamento dos botões utiliza um sistema de *debounce* via *software*, baseado na função *millis()*, que evita leituras falsas causadas por ruídos mecânicos dos botões.

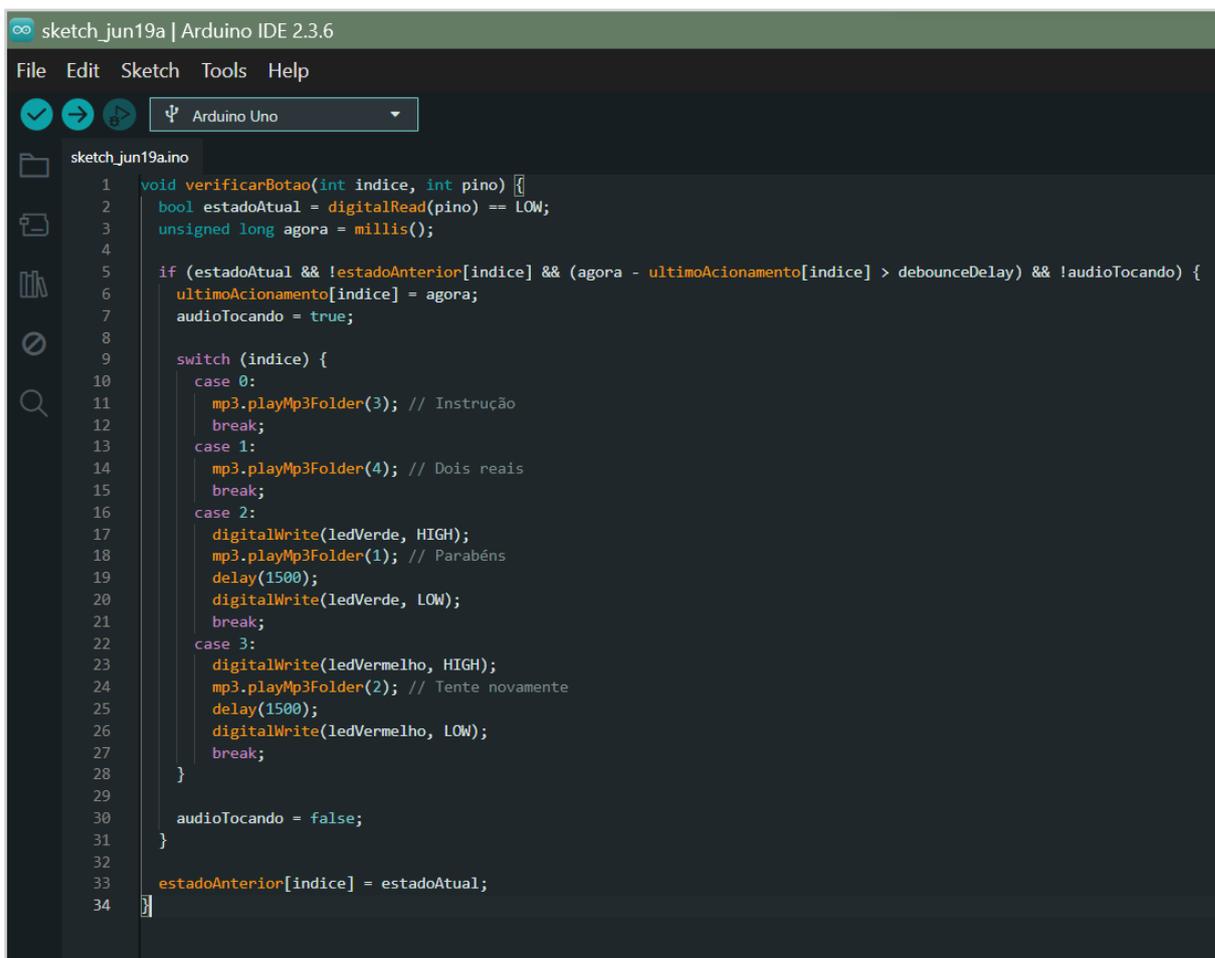
A organização dos botões segue uma lógica fixa:

- Um botão de instrução, que repete o enunciado da tarefa.
- Botões que representam os elementos das atividades (valores, objetos, somas, etc.).
- Botões de resposta correta e incorreta, que ao serem pressionados disparam os *LED* e os áudios de feedback (parabéns ou tente novamente).

Cada botão possui uma função única, e o Arduino não exige uma sequência obrigatória de interação. O participante pode, por exemplo, ouvir a instrução quantas vezes desejar antes ou depois de tentar uma resposta.

O código desenvolvido possui uma função principal chamada *verificarBotao()*, responsável por detectar o acionamento dos botões, controlar os *LED* e executar os áudios, conforme mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Trecho do código Arduino responsável pela leitura dos botões e acionamento dos LED e áudios.

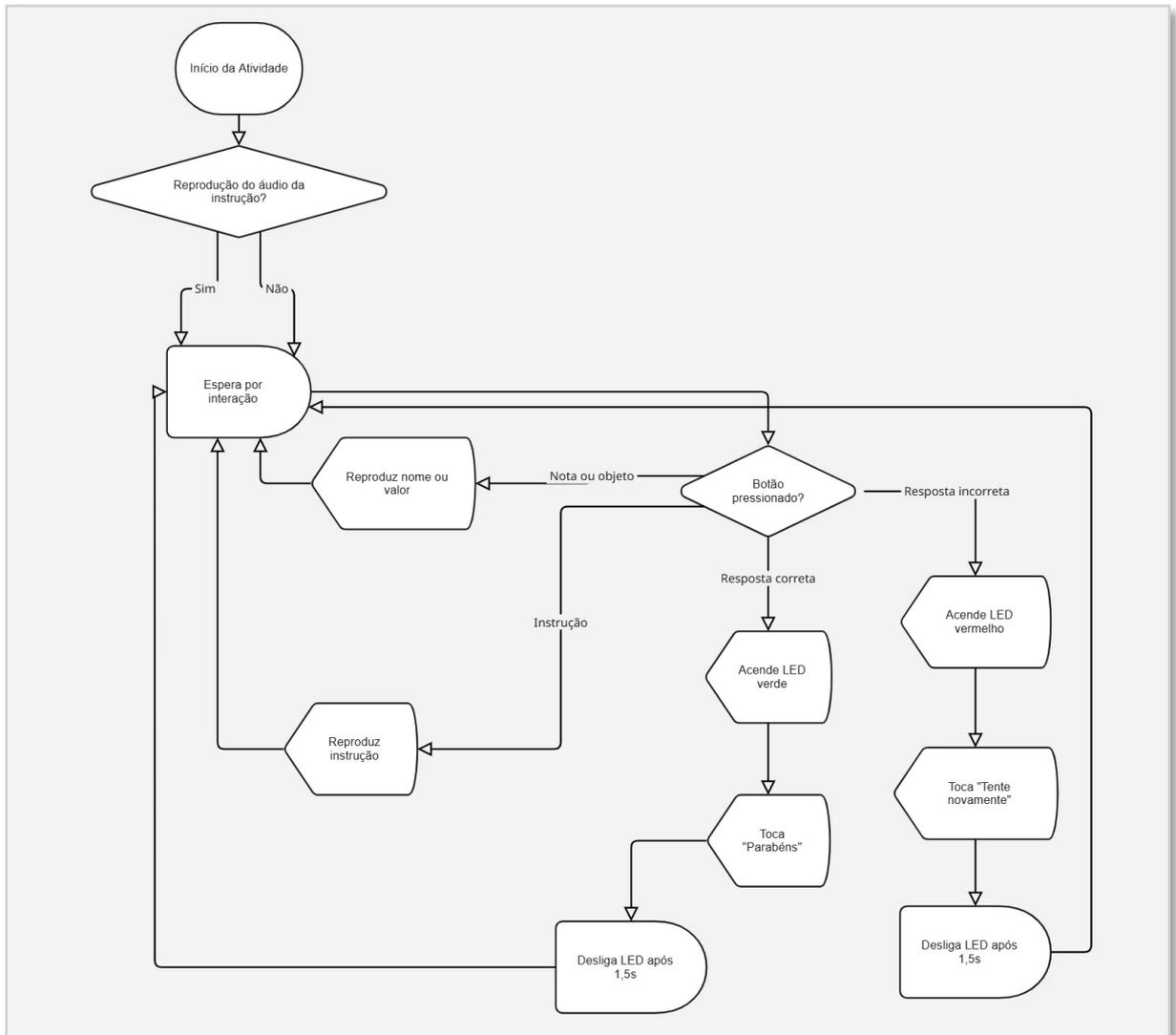


```
sketch_jun19a | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Arduino Uno
sketch_jun19a.ino
1 void verificarBotao(int indice, int pino) {
2   bool estadoAtual = digitalRead(pino) == LOW;
3   unsigned long agora = millis();
4
5   if (estadoAtual && !estadoAnterior[indice] && (agora - ultimoAcionamento[indice] > debounceDelay) && !audioTocando) {
6     ultimoAcionamento[indice] = agora;
7     audioTocando = true;
8
9     switch (indice) {
10      case 0:
11        mp3.playMp3Folder(3); // Instrução
12        break;
13      case 1:
14        mp3.playMp3Folder(4); // Dois reais
15        break;
16      case 2:
17        digitalWrite(ledVerde, HIGH);
18        mp3.playMp3Folder(1); // Parabéns
19        delay(1500);
20        digitalWrite(ledVerde, LOW);
21        break;
22      case 3:
23        digitalWrite(ledVermelho, HIGH);
24        mp3.playMp3Folder(2); // Tente novamente
25        delay(1500);
26        digitalWrite(ledVermelho, LOW);
27        break;
28    }
29
30    audioTocando = false;
31  }
32
33  estadoAnterior[indice] = estadoAtual;
34 }
```

Fonte: Autoria própria.

A Figura 23 apresenta o fluxograma do processo, que resume visualmente o funcionamento descrito anteriormente. Esse diagrama demonstra a sequência de interações entre os botões, os áudios e os *LED*, representando de forma clara como ocorre o ciclo de execução da atividade.

Figura 23 - Fluxograma representando o funcionamento do código Arduino para as atividades interativas.



Fonte: Autoria própria.

4.4 Aplicação dos testes com os voluntários

4.4.1 Convite, autorização e assentimento

Este projeto foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, por meio do Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE): 51159415.3.0000.0037, garantindo que todos os procedimentos seguissem os princípios éticos para pesquisas com seres humanos.

O convite foi feito de forma informal, porém respeitosa e cuidadosa, por meio de mensagens enviadas via WhatsApp, explicando os objetivos do projeto e como seria a participação nas atividades.

A mensagem enviada aos responsáveis foi a seguinte:

“Ooi, boa tarde, tudo bem? Me chamo Dayana, sou aluna da PUC e participo do Projeto AlfaDown. Estou desenvolvendo meu trabalho de conclusão de curso com atividades educativas feitas para pessoas com Síndrome de Down. São atividades interativas, pensadas pra ajudar na aprendizagem de forma divertida. Gostaria de pedir sua autorização para que [NOME DO VOLUNTÁRIO] possa participar desse momento, no dia 29 de maio, próxima quinta-feira. As atividades serão feitas dentro do espaço do projeto, com acompanhamento, mas vai precisar passar um pouquinho além do horário habitual. A participação é voluntária e só será feita com a sua autorização e também com o assentimento dele(a), que vou pedir antes da atividade começar . Qualquer dúvida, estou totalmente à disposição!”

Além disso, para os responsáveis que demonstraram curiosidade, foram fornecidas mais informações sobre o projeto, incluindo detalhes sobre a metodologia, o formato das atividades, os recursos utilizados e como seria a dinâmica de participação.

Somente após a autorização dos responsáveis, foi realizado, presencialmente, o assentimento de cada voluntário, assegurando que todos estavam cientes e de acordo com a participação. Também foi solicitado o consentimento específico para a realização de gravações em vídeo e captura de imagens, destinadas exclusivamente à análise dos dados no software EmoLab e à documentação da pesquisa.

4.4.2 Descrição do ambiente de testes

As atividades foram realizadas em dois ambientes diferentes, ambos organizados para garantir conforto, segurança e acolhimento aos participantes.

Um dos locais foi uma das salas da Escola de Formação de Professores e Humanidades da PUC Goiás, situada na Área II da universidade. Nesse espaço, as atividades foram organizadas sobre uma mesa de professor, onde foram dispostos o protótipo, os componentes eletrônicos e o sistema de áudio. O ambiente era silencioso, bem iluminado, ventilado e livre de interferências externas, proporcionando um espaço adequado para a execução das tarefas e para a captação dos vídeos necessários à análise dos dados.

O segundo local de aplicação foi uma das salas da sede da Associação Down de Goiás (Asdown), uma entidade sem fins lucrativos que oferece apoio, inclusão social, educacional e desenvolvimento de pessoas com síndrome de Down e suas famílias. A utilização do espaço foi

previamente autorizada, mediante solicitação formal realizada diretamente à coordenadora da instituição. Trata-se de um local de referência e familiaridade para os participantes, onde costumam ocorrer os encontros e atividades do grupo. A sala era bem organizada, limpa, com uma mesa grande no centro, utilizada para a montagem do protótipo e execução das atividades. O espaço contava com uma janela ampla, que garantia excelente luminosidade e ventilação natural. Entretanto, houve uma interferência pontual de ruídos externos, oriundos de uma propriedade vizinha, o que, em alguns momentos, impactou parcialmente a concentração dos participantes durante a atividade. Ainda assim, o ambiente da Asdown proporcionou um clima de acolhimento, conforto e segurança, pela familiaridade dos participantes com aquele espaço.

Em ambos os locais, a montagem foi cuidadosamente realizada, com o posicionamento adequado dos componentes — Arduino, módulo DFPlayer Mini, alto-falantes, botões e *LED* —, além da instalação da câmera utilizada para a gravação dos vídeos, de forma discreta, buscando não causar desconforto nem interferir na naturalidade das interações dos voluntários.

4.4.3 Procedimento dos testes e registro fotográfico

Os testes foram realizados de forma individual, com cada voluntário, respeitando seu ritmo, tempo e nível de compreensão. Antes de iniciar cada atividade, eram reforçadas verbalmente as instruções, além das instruções sonoras fornecidas pelo próprio sistema. Foi explicado como funcionavam os botões e de que maneira poderiam interagir, deixando claro que poderiam repetir quantas vezes desejassem, tanto as instruções quanto as opções.

Cada participante realizou um total de três atividades interativas, com nível crescente de dificuldade.

Durante as atividades, os participantes tinham liberdade para explorar os botões, ouvir novamente as instruções, repetir as opções, realizar tentativas e corrigir respostas sem nenhum tipo de limitação ou pressão de tempo. O tempo de execução de cada atividade variava de acordo com o ritmo de cada participante, pensando no conforto e o entendimento de todos.

A pesquisadora esteve ao lado durante todo o processo, atuando como suporte operacional — explicando novamente o funcionamento dos botões sempre que solicitado, ajudando na organização e troca da atividade e garantindo que todos estivessem confortáveis.

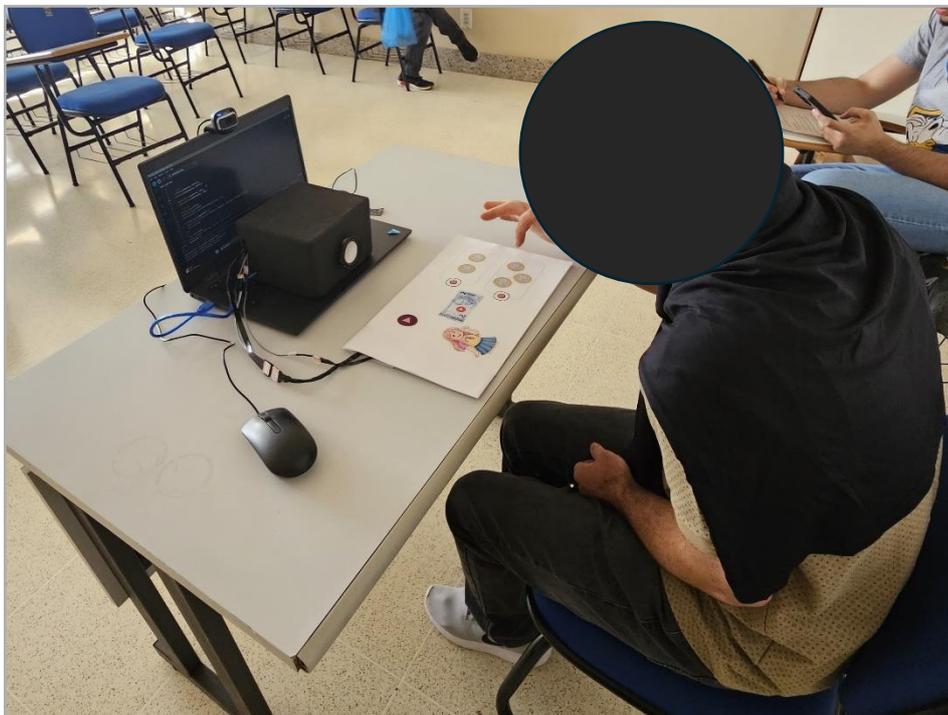
O registro dos dados foi feito de duas formas:

- Por meio de gravação de vídeos, capturando as expressões faciais, movimentos, reações e engajamento dos voluntários durante toda a execução das atividades. Esses vídeos foram utilizados posteriormente na análise por meio do software EmoLab, para mensuração dos níveis de atenção, felicidade e engajamento.
- Por meio de anotações qualitativas, que incluíam observações como: número de vezes que o participante ouviu a instrução, número de repetições nas tentativas, facilidade ou dificuldade no entendimento da tarefa, dúvidas manifestadas, respostas espontâneas, expressões faciais (como sorrisos, olhares de dúvida ou satisfação) e aspectos motores no manuseio dos botões.

Adicionalmente, foi realizado o registro fotográfico do processo. As fotografias foram tiradas durante a execução das atividades, com o objetivo de documentar tanto a interação dos participantes com o material desenvolvido quanto a organização do ambiente de aplicação.

A Figura 24 ilustra um dos momentos da aplicação dos testes, apresentando a montagem completa do protótipo, o notebook com a câmera posicionada para gravação dos vídeos e a atividade impressa pronta para interação.

Figura 24 - Registro da montagem do protótipo e da interação de um dos voluntários durante a realização das atividades interativas no espaço da PUC Goiás.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5 Análise dos resultados

4.5.1 Procedimento de análise dos dados

A análise dos dados foi conduzida por meio de dois métodos complementares:

- Análise observacional, realizada durante os testes, utilizando um formulário de avaliação desenvolvido para esta pesquisa, composto por variáveis comportamentais e de desempenho, registradas em uma escala *Likert* de cinco pontos, além de dados quantitativos, como tempo (em segundos) e número de erros cometidos em cada atividade.
- Análise automatizada das expressões faciais, realizada por meio do software EmoLab, que processou os vídeos gravados durante a realização das atividades.

O formulário de observação contemplou as seguintes variáveis:

- **Necessidade de ajuda externa:** avalia o grau de autonomia, de 1 (sempre) a 5 (nenhuma ajuda).
- **Nível de atenção:** observa a capacidade de foco, de 1 (nenhuma atenção) a 5 (excelente).
- **Frequência de distrações:** avalia desvios de foco, de 1 (constantes) a 5 (nenhuma).
- **Sinais de frustração:** verifica expressões de desânimo, desistência ou verbalizações negativas, de 1 (nenhum) a 5 (constantes).
- **Sinais de impaciência:** analisa comportamentos como agitação, respostas rápidas ou desconforto com o tempo, de 1 (nenhum) a 5 (constantes).
- **Interesse em repetir a atividade:** mede o desejo espontâneo de repetir, de 1 (nenhum) a 5 (muito interessado).

Além dessas variáveis subjetivas, foram anotados os dados objetivos de tempo de execução (em segundos) e número de erros cometidos, para cada atividade e participante.

Paralelamente, foi utilizado o software EmoLab, especializado na análise automática de expressões faciais. Esse software processa vídeos, identificando pontos específicos no rosto

do participante e gerando indicadores quantitativos relacionados às emoções e ao estado cognitivo durante a execução da tarefa.

Os vídeos foram importados para o EmoLab na íntegra, desde o início até o final de cada atividade. O software realiza uma leitura quadro a quadro, identificando microexpressões faciais e mapeando as variações ao longo do tempo. A partir dessa análise, são gerados três indicadores principais:

- **Atenção:** refere-se ao grau de foco e concentração do participante durante a atividade. É calculado com base em padrões faciais associados à orientação dos olhos, alinhamento da cabeça e expressões associadas ao foco atencional.
- **Engajamento:** avalia o quanto o participante demonstra envolvimento ativo na tarefa. É determinado pela combinação de microexpressões associadas ao interesse, concentração e tempo de fixação no material da atividade.
- **Felicidade:** reflete as expressões faciais de satisfação e prazer, identificando padrões de sorrisos, elevação de bochechas, contração de músculos ao redor dos olhos e outros elementos associados a estados emocionais positivos.

Esses dados foram analisados em conjunto com as observações registradas no formulário, permitindo uma avaliação abrangente que inclui tanto os aspectos objetivos de desempenho (tempo e erros), quanto os comportamentais e emocionais, observados tanto manualmente quanto por meio da análise das expressões faciais.

4.5.2 Dados coletados e análise

Os dados foram organizados separadamente para cada nível de atividade (fácil, intermediário e difícil) além da realização de cruzamentos entre variáveis, permitindo uma análise mais robusta e detalhada dos comportamentos observados.

As tabelas contendo os dados brutos que deram origem aos gráficos apresentados neste capítulo estão disponibilizadas no Apêndice A (dados dos questionários) e no Apêndice B (dados do EmoLab).

4.5.2.1 Análise Descritiva dos Dados do Questionário

A Figura 25, Figura 26 e Figura 27 apresentam as médias das variáveis comportamentais observadas nas atividades dos níveis fácil, intermediário e difícil, respectivamente.

De forma geral, observa-se um comportamento muito consistente dos participantes ao longo dos três níveis. A variável atenção manteve-se elevada para todos, independentemente da dificuldade da atividade, demonstrando que os participantes se mantiveram focados durante todas as etapas da pesquisa.

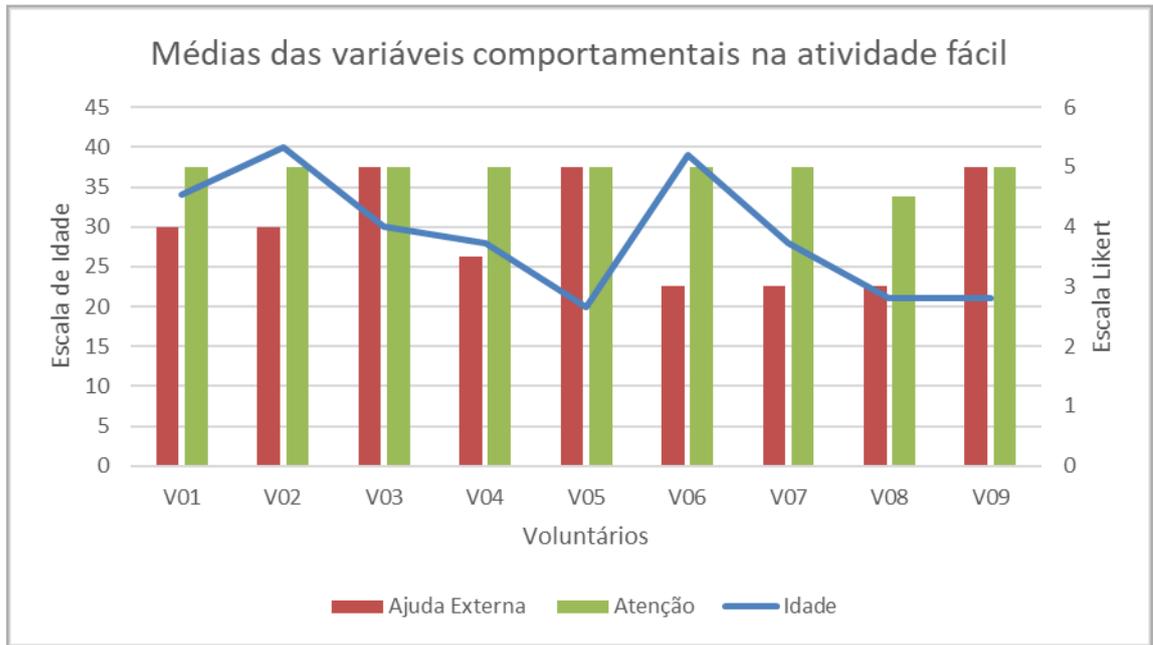
A variável ajuda externa apresenta uma variação mais perceptível entre os voluntários, especialmente nos níveis fácil e intermediário. Participantes mais jovens, como V05, V08 e V09, demonstraram maior autonomia, com escores mais altos na escala (indicando que precisaram de pouca ou nenhuma ajuda). Por outro lado, voluntários como V01 e V02, ambos com idade mais avançada, apresentaram escores ligeiramente mais baixos, indicando maior necessidade de auxílio em algumas atividades.

Na atividade de nível difícil (Figura 27), a variável ajuda externa apresentou uma tendência de equilíbrio entre os participantes, sugerindo que a própria dificuldade da tarefa reduziu as diferenças individuais observadas nas etapas anteriores.

Apesar do aumento gradual da dificuldade, os dados mostram que não houve impacto relevante nos níveis de atenção, frustração e impaciência, que permaneceram estáveis e baixos. Esse resultado indica que, mesmo diante de desafios maiores, os participantes não apresentaram sinais comportamentais de desconforto, desmotivação ou desistência, mantendo-se engajados e atentos em todas as atividades.

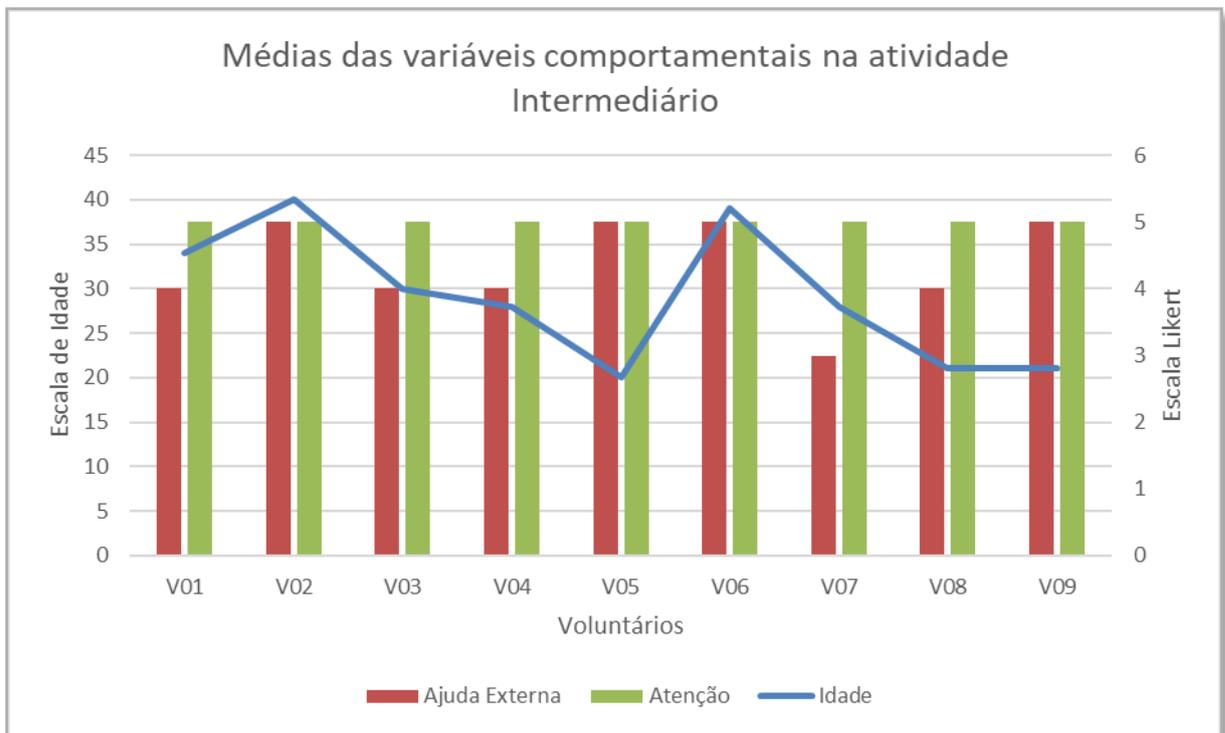
As tabelas contendo os dados brutos utilizados para a construção dos gráficos apresentados estão disponibilizadas no Apêndice B.

Figura 25 – Médias das variáveis comportamentais na atividade fácil.



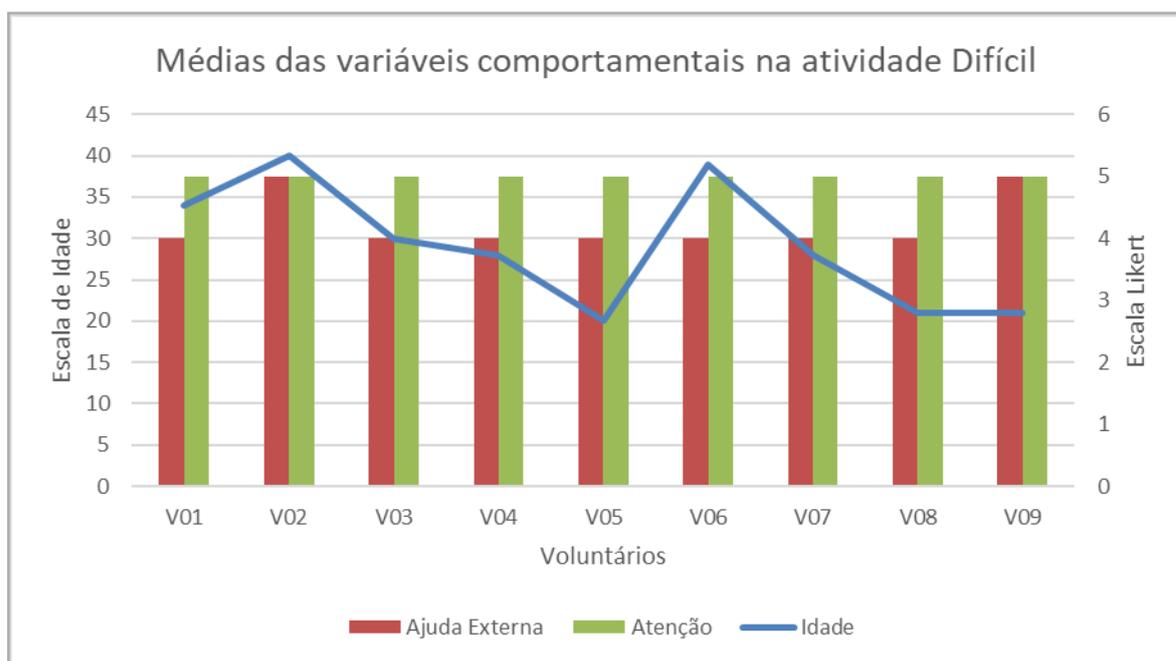
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 26 - Médias das variáveis comportamentais na atividade intermediária.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 27 - Médias das variáveis comportamentais na atividade difícil.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5.2.2 Análise descritiva dos dados do Emolab

As Figuras 28, 29 e 30 apresentam as médias e os desvios padrão dos indicadores de atenção e engajamento, calculados a partir dos dados extraídos pelo software EmoLab, nas atividades de níveis fácil, intermediário e difícil, respectivamente.

De forma geral, observa-se que os participantes mantiveram altos níveis de atenção em todos os níveis, com médias superiores a 85% para praticamente todos, independente do aumento na dificuldade da tarefa. Esse comportamento reforça os dados obtidos nos questionários, demonstrando que o formato da atividade foi eficiente em capturar e manter o foco dos voluntários.

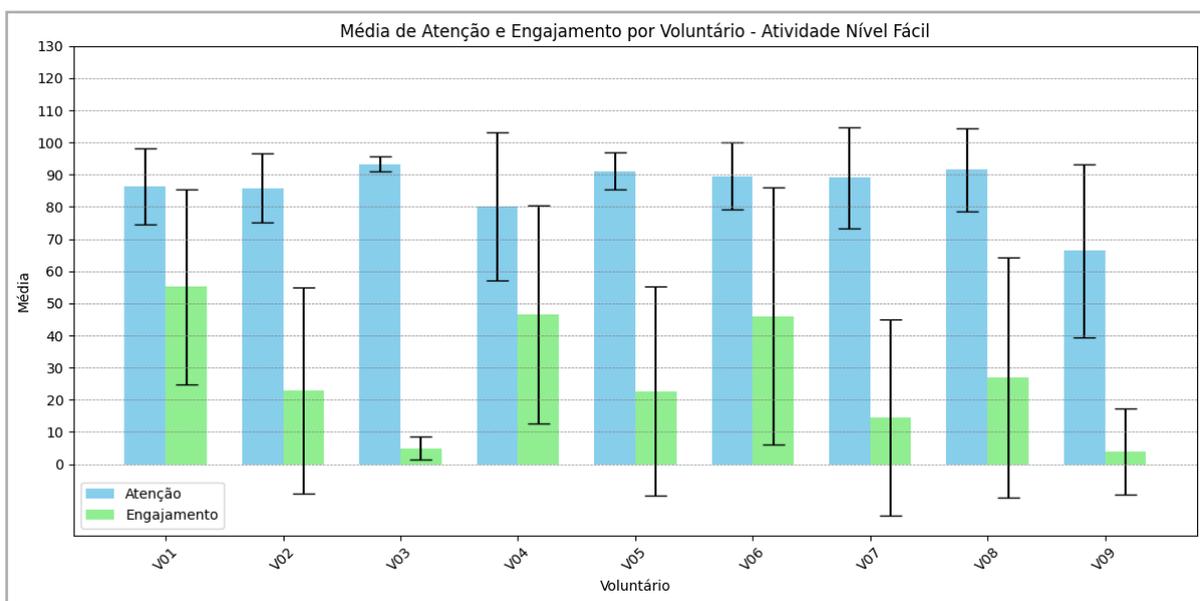
Por outro lado, a variável engajamento apresenta uma grande dispersão entre os participantes. Alguns voluntários, como V01 e V06, mantiveram níveis consistentemente altos de engajamento, enquanto outros, como V03, V05 e V09, apresentaram engajamento bastante reduzido, mesmo mantendo elevados índices de atenção.

Essa disparidade no engajamento se manteve nos três níveis, como evidenciado pelos altos desvios padrão, principalmente nas atividades de nível intermediário e difícil. Isso demonstra que o engajamento é uma variável altamente dependente de fatores individuais,

como interesse pela atividade, familiaridade com o conteúdo, estado emocional no momento ou até preferências pessoais.

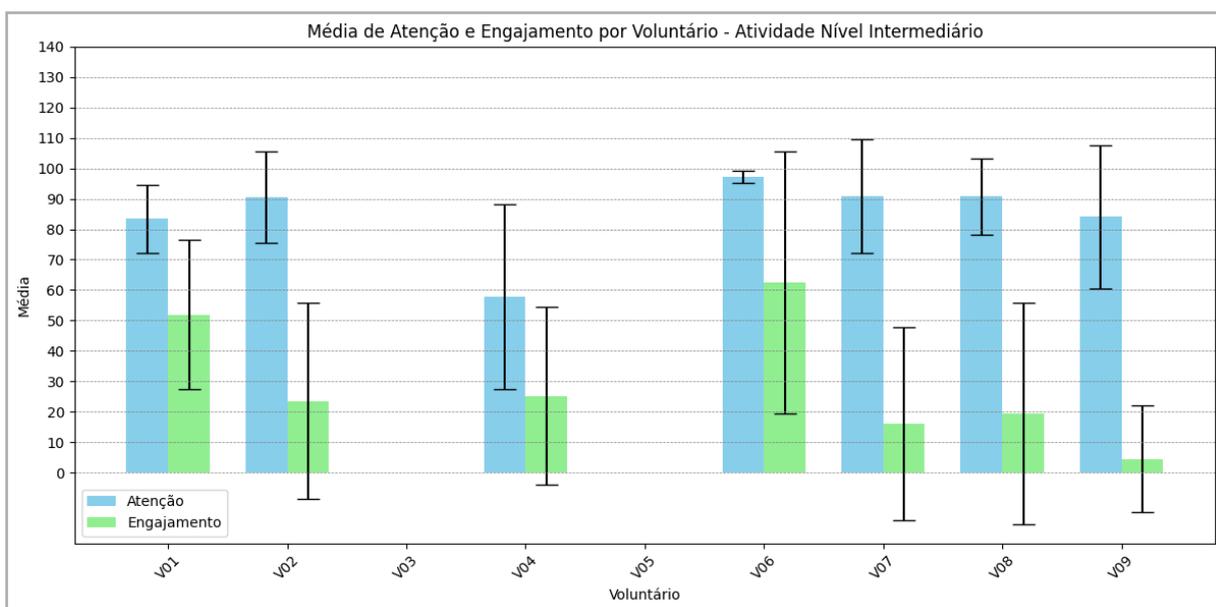
De maneira interessante, os dados também revelam que o aumento da dificuldade não impactou negativamente os índices de atenção, que permaneceram estáveis. Contudo, o impacto sobre o engajamento foi variável e individual, sem uma tendência clara de queda ou aumento coletivo.

Figura 28 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade fácil.



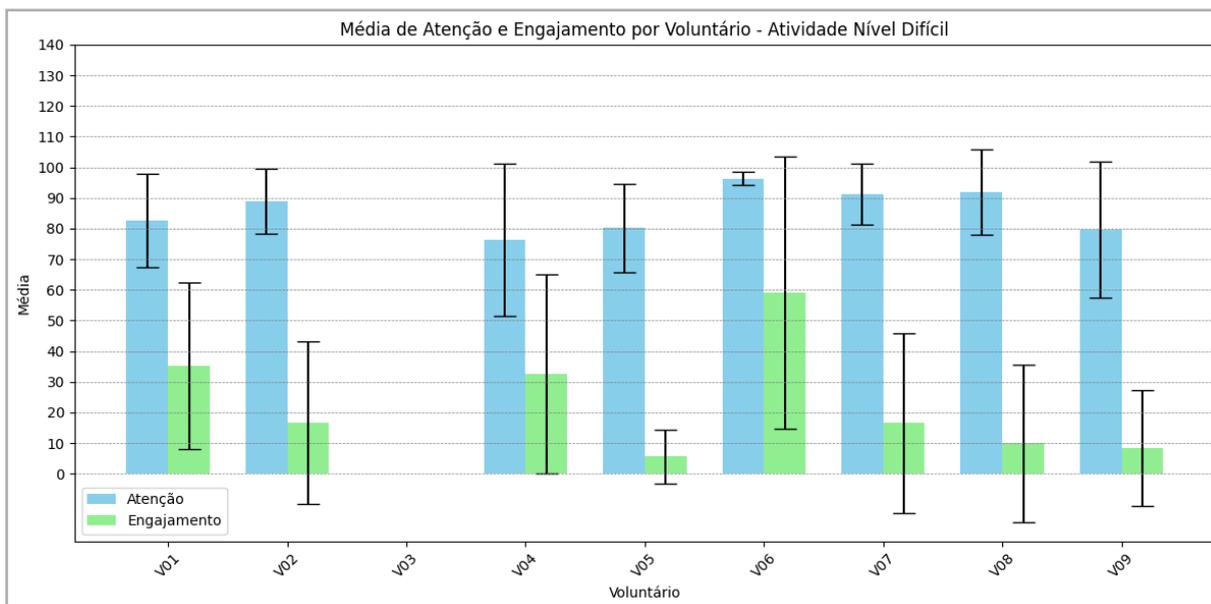
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 29 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade Intermediária.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 30 - Média e desvio padrão de Atenção e Engajamento (EmoLab) – Atividade Difícil.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As tabelas contendo os dados brutos utilizados na construção dos gráficos estão disponíveis no Apêndice B.

4.5.2.3 Cruzamento e comparação de dados – Questionário e EmoLab

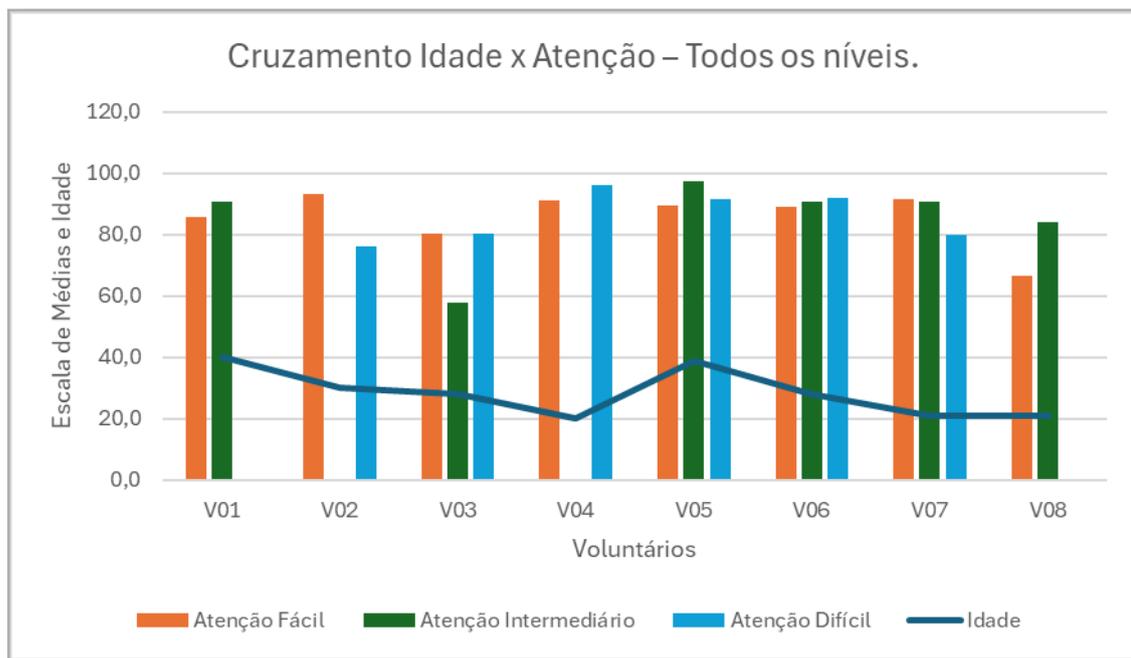
O cruzamento dos dados coletados por meio dos formulários de observação com os dados obtidos pelo software EmoLab permite avaliar de forma mais robusta a relação entre a percepção subjetiva (observada) e os dados objetivos (expressões faciais) dos participantes nas atividades.

A análise do cruzamento entre idade dos participantes e os níveis de atenção, revelando que a idade não foi um fator determinante para a atenção em nenhuma das atividades.

Os dados indicados na figura 31 mostram que tanto os participantes mais jovens quanto os mais velhos mantiveram altos níveis de atenção, sem apresentar quedas significativas associadas à idade. Isso demonstra que, independentemente da faixa etária, a estrutura da atividade foi capaz de manter o foco de todos os voluntários.

Portanto, conclui-se que a atenção esteve mais relacionada ao desenho da atividade e aos estímulos oferecidos do que às características individuais como idade.

Figura 31 - Cruzamento Idade x Atenção – Todos os níveis.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5.3 Discussão dos resultados

Os resultados obtidos a partir dos formulários de observação e da análise automatizada via EmoLab demonstram que a proposta das atividades interativas foi bem-sucedida em promover altos níveis de atenção e engajamento comportamental.

De forma geral, os participantes mantiveram altos índices de atenção em todos os níveis de atividade, tanto segundo a percepção observacional quanto de acordo com os dados objetivos do EmoLab. Esse comportamento reflete a efetividade do modelo de atividade, que, ao combinar elementos visuais, sonoros e táteis, favoreceu o foco e a concentração dos voluntários durante as tarefas.

Os dados também indicam uma leve tendência de que os participantes mais jovens apresentaram maior autonomia, percebida na pontuação mais alta na variável de ajuda externa, principalmente nas atividades fácil e intermediária. Contudo, é importante destacar que essa diferença não se refletiu nos índices de atenção, indicando que, independentemente da necessidade de suporte operacional, todos os participantes foram capazes de manter altos níveis de concentração.

De modo geral, os resultados demonstram que o uso de ferramentas interativas, associadas a estímulos multissensoriais, tem potencial para promover atenção sustentada e

engajamento, ajudando nos processos de aprendizagem, especialmente para públicos com deficiência intelectual, como pessoas com Síndrome de Down.

Esses dados batem com pesquisas anteriores (HODGES et al., 2019; LIU; ZHANG, 2021), que apontam que metodologias que combinam elementos visuais, táteis e sonoros são mais eficazes para promover o foco, o interesse e o prazer em contextos educacionais inclusivos.

Portanto, os dados coletados e analisados neste estudo não apenas validam a proposta metodológica adotada, como também reforçam a importância de estratégias pedagógicas que priorizem a acessibilidade, a interatividade e a ludicidade como elementos centrais no desenvolvimento de materiais e atividades voltadas para esse público.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver e aplicar um protótipo de atividades interativas utilizando Circuit Sticker, com foco no ensino de noções básicas de aritmética para pessoas com Síndrome de Down (SD). A proposta buscou avaliar se o uso de estímulos visuais, táteis e auditivos poderia contribuir para aumentar os níveis de atenção, engajamento e compreensão dos participantes durante as tarefas.

O desenvolvimento das atividades considerou a construção de desafios com níveis progressivos de dificuldade, organizados em três etapas: fácil, intermediário e difícil. As atividades foram elaboradas para trabalhar conceitos como contagem, associação de quantidades e realização de somas e subtrações simples, utilizando representações de valores numéricos por meio de cédulas, moedas e produtos.

Os resultados obtidos, tanto por meio dos registros observacionais quanto da análise realizada com o software EmoLab, demonstraram que os participantes se mantiveram com altos níveis de atenção e bom nível de engajamento nas atividades. A interação com os elementos físicos, como botões, LED e reprodução de áudios, contribuiu para tornar o aprendizado mais concreto, lúdico e acessível, facilitando a compreensão dos conceitos trabalhados.

Além disso, a estratégia de fornecer retorno imediato por meio de sinais sonoros e visuais se mostrou eficiente na manutenção do interesse e na correção dos erros de forma construtiva. A utilização de materiais simples, de baixo custo e com montagem intuitiva, como fita de cobre, papel Paraná, papel couché e componentes eletrônicos básicos, comprovou ser

uma alternativa viável, tanto técnica quanto pedagogicamente, para o desenvolvimento de atividades acessíveis.

Dessa forma, conclui-se que o uso de Circuit Sticker associado a atividades bem planejadas pode ser uma ferramenta eficaz no processo de ensino de aritmética para pessoas com Síndrome de Down, promovendo um ambiente de aprendizagem mais inclusivo, interativo e alinhado às necessidades desse público.

5.1 Limitações do trabalho

Entre as limitações encontradas neste trabalho, destaca-se o número reduzido de participantes, o que não permite uma generalização dos resultados para outros contextos ou populações. Além disso, o intervalo de tempo (dias) disponíveis para aplicação das atividades foram poucos, o que impossibilitou uma avaliação mais aprofundada sobre a retenção do conhecimento a médio e longo prazo, por exemplo.

Por fim, o trabalho não contou com grupos de controle ou comparações com outros métodos, o que seria importante para avaliar o impacto do uso do protótipo em relação a métodos tradicionais de ensino.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como desdobramentos para pesquisas futuras, sugere-se:

- A ampliação da amostra, incluindo participantes de diferentes faixas etárias, perfis cognitivos e contextos educacionais;
- A realização de estudos comparativos entre grupos, para avaliar o impacto do uso do Circuit Sticker em relação a métodos tradicionais de ensino;
- A criação de novos tipos de atividades, incluindo desafios que envolvam multiplicação, divisão, sequência lógica e resolução de problemas contextualizados;
- A evolução do protótipo, desenvolvendo uma versão que funcione de forma autônoma, sem a necessidade de computador, utilizando microcontroladores mais compactos;
- A inclusão de outros sensores, como sensores capacitivos ou de proximidade, para diversificar as formas de interação;

- A realização de pesquisas longitudinais que avaliem não apenas a interação imediata, mas também os efeitos sobre a retenção do conhecimento e o desenvolvimento das habilidades matemáticas ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ASLANOGLU, Kalliopi; PAPAZOGLU, Theodora; KARAGIANNIDIS, Charalampos. *Educational Robotics and Down syndrome: Investigating student performance and motivation*. DSAI 2018. ACM, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3218585.3218600>.

GACEK, Michał et al. *Effects of School-Based Neurofeedback Training on Attention in Students with Autism and Intellectual Disabilities*. Journal of Autism and Developmental Disorders, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10803-024-06400-8>.

HENRIQUES, Ana et al. *Ethical concerns when working with mixed-ability groups of children*. Proceedings of the 26th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '24), 2024. DOI: <https://doi.org/10.1145/3663548.3675648>.

LAMERT, Rachel et al. *Conceptualizing political knowledges needed to teach inclusive mathematics: theorizing through counterstories*. ZDM – Mathematics Education, v. 56, p. 461–472, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01598-4>.

LIMA, D. et al. *Software with Biofeedback to Assist People with Down Syndrome*. International Journal of Computer Applications, v. 158, n. 5, p. 31-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5120/ijca2017912704>.

MIKROPOULOS, Tassos Anastasios; IATRAKI, Georgia. *Digital technology supports science education for students with disabilities: A systematic review*. Education and Information Technologies, v. 28, p. 3911–3935, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11317-9>.

PAMPLONA, Dayana Stefany Costa. *TCC_Eng-Computacao: Código-fonte do protótipo MangaSticker*. Disponível em: https://github.com/DayPamplona/TCC_Eng-Computacao. Acesso em: 20 jun. 2025.

ROSSIT, Rosana Aparecida Salvador. *Matemática para deficientes mentais: contribuições do paradigma de equivalência de estímulos para o desenvolvimento e avaliação de um currículo*. 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Educação Especial) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

SILVA, Vitor de Almeida; RIBEIRO, Lutyéllen dos Santos; BARBOSA, Talles Marcelo Gonçalves de Andrade. *MangaSticker: A Tool to Build Interactive Manga*. International Journal of Computer Applications, v. 174, n. 11, p. 31-36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5120/ijca2021920989>.

SUMARWATI; SUKARNO; ANINDYARINI, Atikah. *The Effect of Educative Comics on Traditional Ecological Knowledge Literacy about Corn Food Security in Elementary School*. Proceedings of the 4th ICLIQE, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1145/3452144.3453773>.

THOMAS, Danielle R.; LARWIN, Karen H. *A meta-analytic investigation of the impact of middle school STEM education: where are all the students of color?* International Journal of STEM Education, v. 10, n. 43, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00425-8>.

WOOD, Rachel; FENG, Jinjuan Heidi; LAZAR, Jonathan. *Health Data Visualization Literacy Skills of Young Adults with Down Syndrome and the Barriers to Inference-making*. ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS), v. 17, n. 1, Article 4, p. 1-58, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1145/3648621>.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES

A1 – Formulário utilizado na aplicação das atividades.

Aluno(a): _____

Idade: _____

Voluntário/Entrevistador: _____

Questionário para o Entrevistador (ATIVIDADES)

Marcar **apenas uma opção** por questão.

Atividade 1.

Desempenho na Atividade

- Qual o nível da atividade desse aluno.
() Fácil () Intermediário () Difícil
- Tempo gasto para concluir a atividade (minutos): _____
- Número de acertos: _____ de _____ alternativas.
- Grau de necessidade de ajuda externa:
(1) Sempre | (2) Frequentemente | (3) Às vezes | (4) Quase nunca | (5) Nenhuma ajuda

Engajamento e Comportamento

- Nível de atenção demonstrado:
(1) Nenhum | (2) Pouco | (3) Moderado | (4) Bom | (5) Excelente
- Frequência de distrações:
(1) Constante | (2) Frequente | (3) Ocasional | (4) Rara | (5) Nenhuma
- Sinais de frustração (ex.: desânimo, desistência, choro, verbalizações negativas):
(1) Nenhum | (2) Leves | (3) Moderados | (4) Intensos | (5) Constantes
- Sinais de impaciência (ex.: agitação, pressa, interrupções, respostas abruptas):
(1) Nenhum | (2) Leves | (3) Moderados | (4) Intensos | (5) Constantes
- Interesse em repetir a atividade?
(1) Nenhum | (2) Pouco | (3) Neutro | (4) Interessado | (5) Muito interessado

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE B – DADOS COLETADOS DOS TESTES COM OS VOLUNTÁRIOS

Tabela B.1 – Dados coletados na atividade de nível fácil – Questionários

Voluntário	Idade	Ajuda Externa	Atenção
V01	34	4	5
V02	40	4	5
V03	30	5	5
V04	28	3,5	5
V05	20	5	5
V06	39	3	5
V07	28	3	5
V08	21	3	4,5
V09	21	5	5

Tabela B.2 – Dados coletados na atividade de nível intermediário – Questionários

Voluntário	Idade	Ajuda Externa	Atenção
V01	34	4	5
V02	40	5	5
V03	30	4	5
V04	28	4	5
V05	20	5	5
V06	39	5	5
V07	28	3	5
V08	21	4	5
V09	21	5	5

Tabela B.3 – Dados coletados na atividade de nível difícil – Questionários

Voluntário	Idade	Ajuda Externa	Atenção
V01	34	4	5
V02	40	5	5
V03	30	4	5
V04	28	4	5
V05	20	4	5
V06	39	4	5
V07	28	4	5
V08	21	4	5
V09	21	5	5

Tabela B.4 – Dados de engajamento e atenção com desvio padrão – Nível Fácil

voluntario	Média Atenção	Desvio padrão - Atenção	Média Engajamento	Desvio padrão - engajamento
V01	8638396624	1191518079	5510126582	3024927194
V02	8582156134	10755671	2292193309	3196788037
V03	9336111111	2205872393	4944444444	3496483494
V04	8021756374	2307004585	4653597734	3387857608
V05	9111661808	5752023615	2264723032	3245213817
V06	8957389635	1039483691	460275112	400808068
V07	8910143043	1569036695	1448504551	3057129811
V08	9153625473	1302140041	2695586381	3747783039
V09	6639307129	2693995902	3972018654	1332043104

Tabela B.5 – Dados de engajamento e atenção com desvio padrão – Nível Intermediário

voluntario	attention_mean	attention_std	engagement_mean	engagement_std
V01	8.338.049.451	111.927.568	5.194.574.176	245.928.036
V02	9.047.455.867	1.505.630.896	2.351.713.396	3.232.006.752
V03				
V04	5.775.179.153	3.046.592.164	2.517.980.456	2.916.831.046
V05				
V06	9.715.265.201	2.002.584.814	6.243.984.476	4.295.702.837
V07	9.080.905.512	1.869.270.224	1.617.125.984	3.172.260.502
V08	9.077.340.426	1.248.678.684	1.944.255.319	3.633.482.178
V09	8.404.651.163	2.360.393.358	4.520.930.233	1.766.156.496

Tabela B.6 – Dados de engajamento e atenção com desvio padrão – Nível Difícil

voluntario	attention_mean	attention_std	engagement_mean	engagement_std
V01	8.255.154.639	1.531.773.678	3.518.427.835	2.705.651.482
V02	8.888.917.862	105.549.402	1.663.494.133	2.651.537.274
V03				
V04	7.629.102.668	2.498.788.105	3.257.316.087	3.253.642.008
V05	8.022.807.018	144.346.032	5.596.491.228	8.756.343.923
V06	9.622.751.323	217.476.215	5.909.297.052	4.453.446.849
V07	9.131.174.089	9.889.428.525	1.655.465.587	2.926.310.506
V08	920.249.066	1.390.042.478	9.859.277.709	2.578.910.631
V09	7.966.466.346	2.210.138.114	8.362.980.769	1.879.102.827

APÊNDICE C – CÓDIGO FONTE DOS PROTÓTIPOS

O código-fonte completo desenvolvido para este trabalho, assim como toda documentação, está disponível publicamente no repositório GitHub da autora, no seguinte endereço:

 https://github.com/DayPamplona/TCC_Eng-Computacao

APÊNDICE D – TODAS AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PROJETO

Imagem D1 – Atividade 1 – Nível Fácil

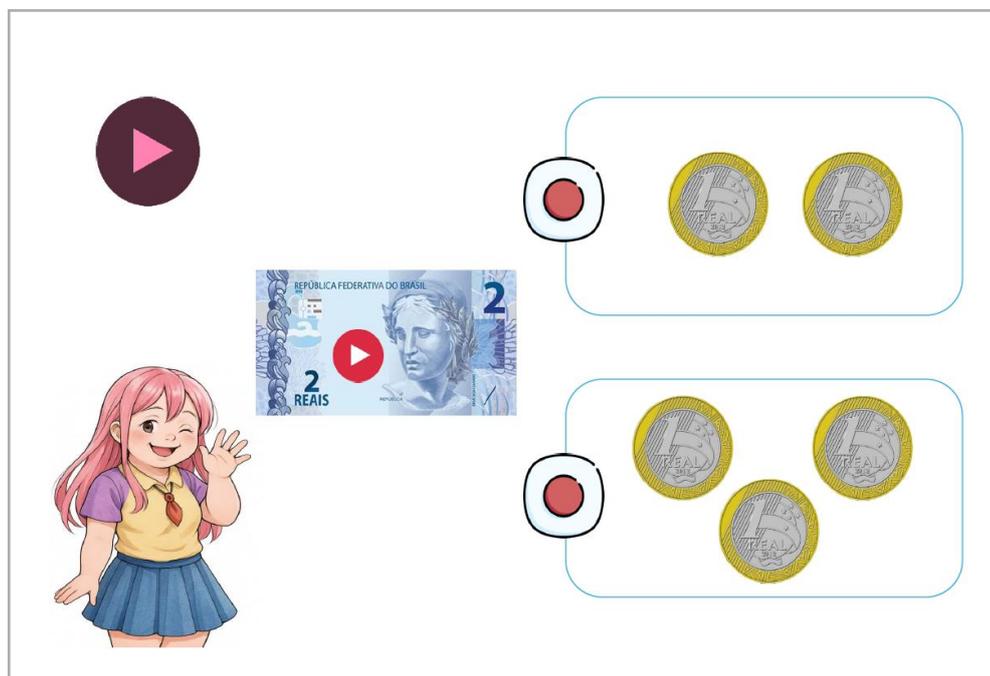


Imagem D2 – Atividade 2 – Nível Fácil

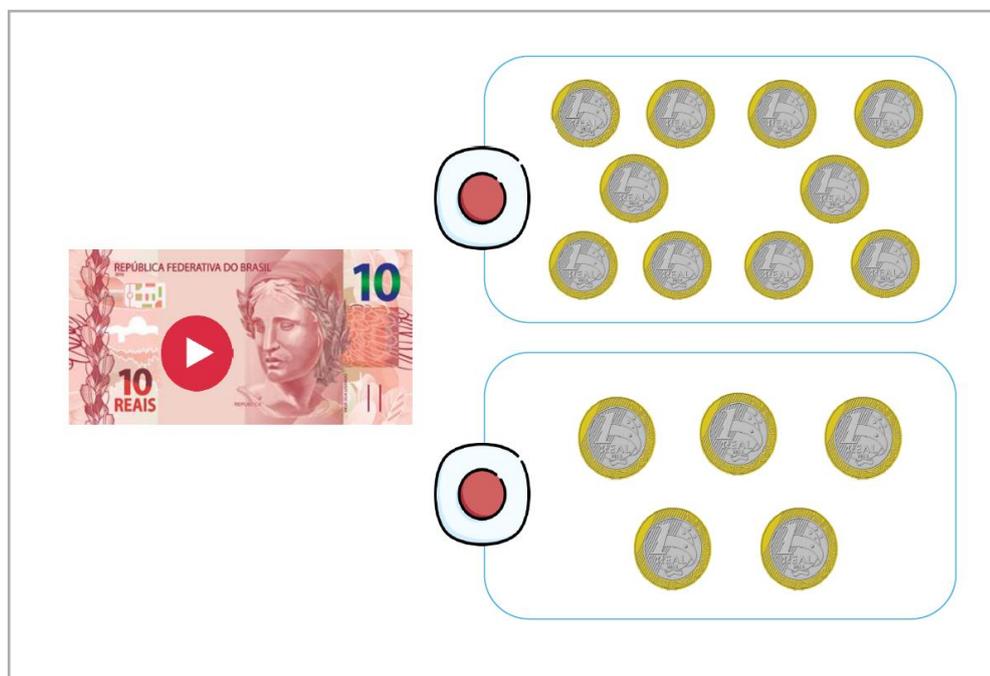


Imagem D3 – Atividade 3 – Nível Fácil

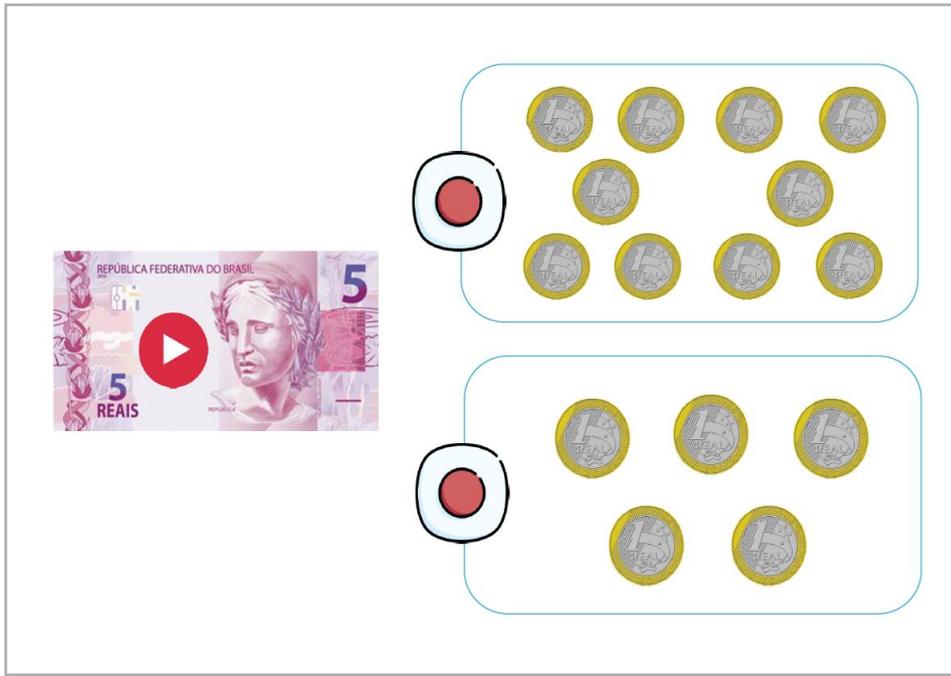


Imagem D4 – Atividade 1 – Nível Intermediário

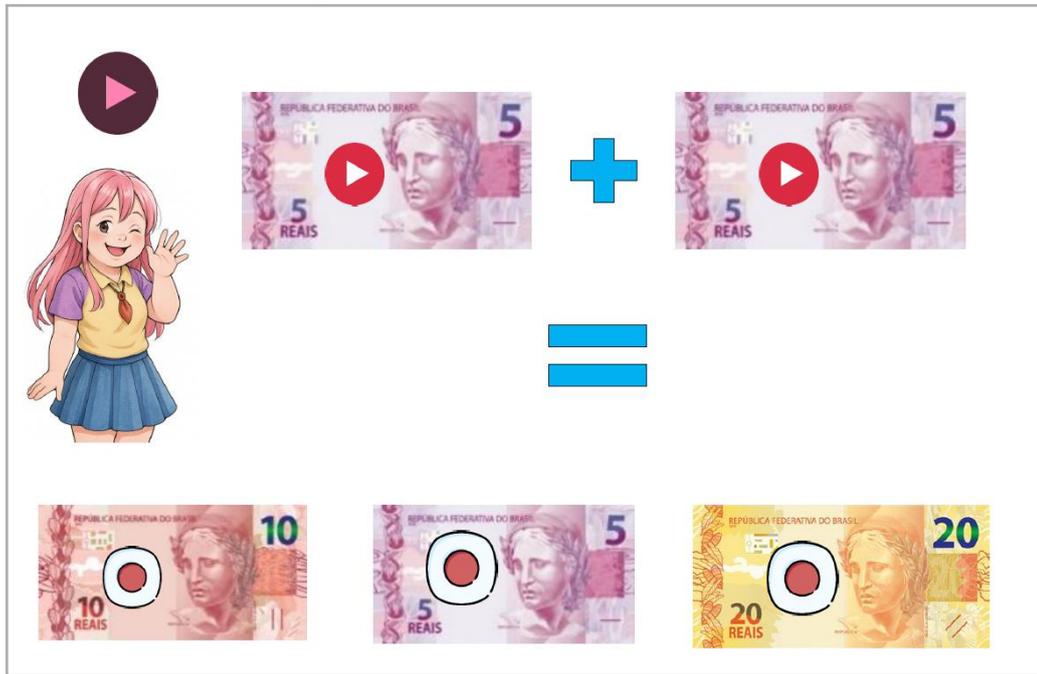


Imagem D5 – Atividade 2 – Nível Intermediário

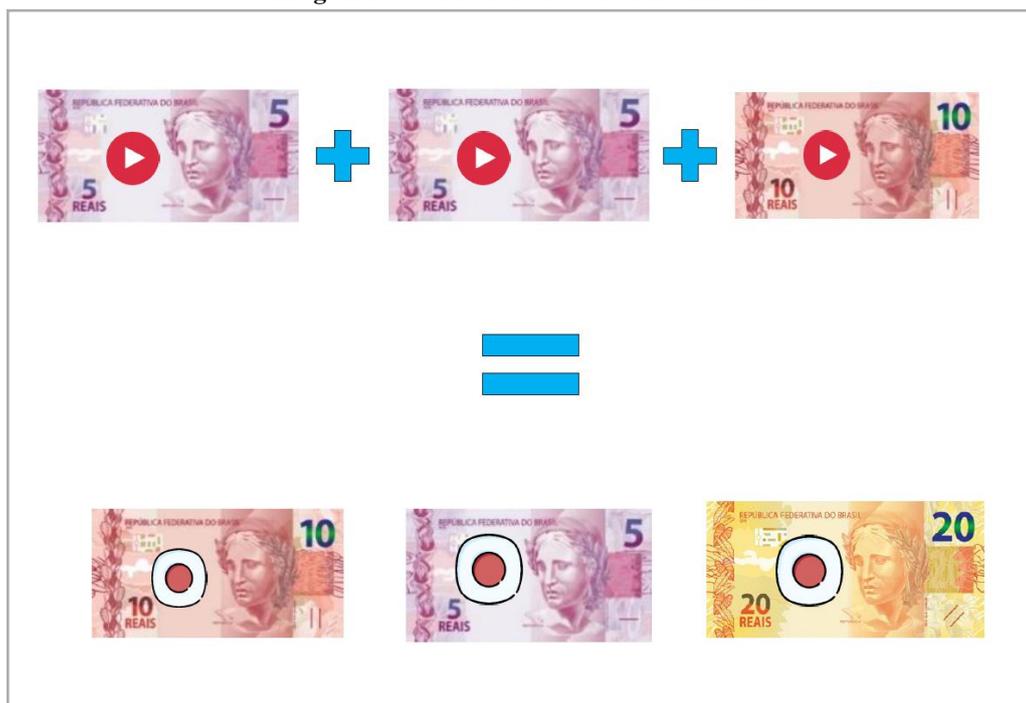


Imagem D6 – Atividade 3 – Nível Intermediário

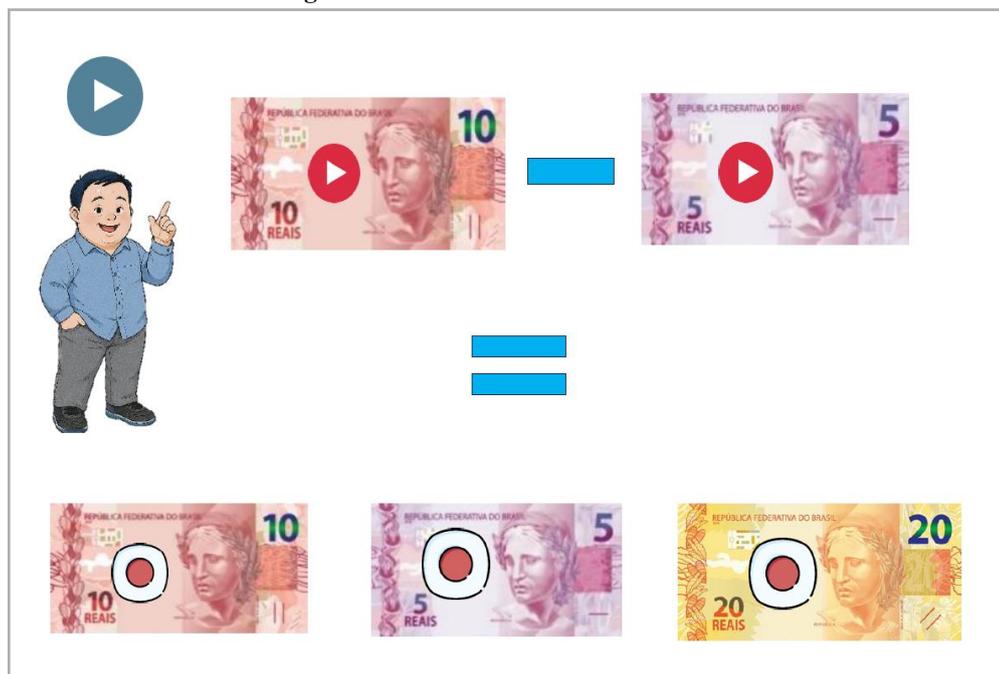


Imagem D7 – Atividade 1 – Nível Difícil

Imagem D7 – Atividade 1 – Nível Difícil

Imagem de um menino apontando para cima.

Imagem de um sanduíche e uma barra de chocolate.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 2 reais.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 2 reais.

Imagem de uma moeda de 5 reais e uma moeda de 5 reais.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 5 reais.

Imagem D8 – Atividade 2 – Nível Difícil

Imagem D8 – Atividade 2 – Nível Difícil

Imagem de um sanduíche e um copo de suco de laranja.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 5 reais.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 2 reais.

Imagem de uma moeda de 5 reais e uma moeda de 5 reais.

Imagem de uma moeda de 10 reais e uma moeda de 5 reais.

Imagem D9 – Atividade 3 – Nível Difícil

The image illustrates a visual math problem. At the top, three items are shown with red play button icons: a sandwich, a glass of orange juice with lemons, and an ice cream bar. Below each item is a blue plus sign and a Brazilian banknote: a 10 Real note for the sandwich, a 5 Real note for the juice, and a 2 Real note for the ice cream. Below these are two rounded rectangular boxes, each with a red dot in a circle at the top, representing possible combinations of banknotes to pay for the items. The first box contains one 10 Real note, two 2 Real notes, and one 5 Real note. The second box contains one 10 Real note, one 5 Real note, and two 2 Real notes.

ANEXO A – MANUAL DO FABRICANTE DE CADA COMPONENTE

Nesta seção são apresentados todos os datasheets (manuais) dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo, organizados de acordo com os itens descritos no Capítulo 4.

- **Arduino Uno:**
ARDUINO. Arduino Uno Rev3, 2015. Disponível em:
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1943446/ARDUINO/ARDUINOUNO.html>. Acesso em: jun. 2024.
- **DFPlayer Mini:**
DFROBOT. DFPlayer Mini MP3 Player, 2021. Disponível em:
<https://picaxe.com/docs/spe033.pdf>. Acesso em: jan. 2025.
- **Push Button SMD 4x4 mm:**
Disponível em:
<https://cdn.soselectronic.com/productdata/f4/94/44a0b902/08628101.pdf>. Acesso em: jun. 2024.
- **LED SMD 3528:**
Disponível em: <https://cromatek.com.br/datasheet/optoeletronicos/led-smd-plcc-verde-3528.pdf>. Acesso em: set. 2024.



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1009 - Setor Universitário
Caixa Postal 00 - CEP 74005-010
Goiânia - Goiás - Brasil
Fone: (02) 3246-1000
www.pucgoias.edu.br - reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

A estudante Dayana Stefany Costa Pamplona do Curso de Engenharia de Computação, matrícula 2014.2.0033.0014-6, telefone: 62 9.9913-5802, e-mail daystefany.pamplona@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado UTILIZAÇÃO DO MANGASTICKER PARA ENSINO DE MATEMÁTICA EM POPULAÇÃO COM SÍNDROME DE DOWN, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 24 de Março de 2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br
DAYANA STEFANY COSTA PAMPLONA
Data: 23/03/2025 17:04:00 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Assinatura do autor: _____
Nome completo do autor: Dayana Stefany Costa Pamplona

Documento assinado digitalmente
gov.br
TALLES MARCELO GONÇALVES DE ANDRADE DA
Barbosa
Data: 27/03/2025 08:49:56 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Assinatura do professor-orientador: _____
Nome completo do professor-orientador: Talles Marcelo Gonçalves de Andrade
Barbosa