

Estudo de Usabilidade de uma Solução Tangível no Processo de Alfabetização de Crianças com Síndrome de Down

Title: Usability Study of a Tangible Solution in the Literacy Process of Children with Down Syndrome

Título: Estudio de Usabilidad de una Solución Tangible en el Proceso de Alfabetización de Niños con Síndrome de Down

Laura Quevedo Jurgina
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0002-3050-8855](https://orcid.org/0000-0002-3050-8855)
lqjurgina@inf.ufpel.edu.br

Eduarda Pereira Medeiros
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0009-0001-1603-9503](https://orcid.org/0009-0001-1603-9503)
epmedeiros@inf.ufpel.edu.br

Tiago Duarte Mackedanz
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0009-0004-3770-5570](https://orcid.org/0009-0004-3770-5570)
tdmackedanz@inf.ufpel.edu.br

Lui Gill Aquini
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0009-0009-8852-2498](https://orcid.org/0009-0009-8852-2498)
lgquini@inf.ufpel.edu.br

Leomar Soares da Rosa Júnior
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0002-7150-5685](https://orcid.org/0000-0002-7150-5685)
leomarjr@inf.ufpel.edu.br

Fernando Moreira
Universidade Portucalense
ORCID: [0000-0002-0816-1445](https://orcid.org/0000-0002-0816-1445)
fmoreira@upt.pt

Tiago Thompsen Primo
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: [0000-0003-3870-097X](https://orcid.org/0000-0003-3870-097X)
tiago.primo@inf.ufpel.edu.br

Resumo

Este artigo apresenta uma avaliação de usabilidade do Alfaba, um dispositivo educacional tangível e multissensorial originalmente concebido para apoiar o processo de alfabetização em contextos gerais. Este estudo investiga sua adequação específica ao público de crianças e jovens com Síndrome de Down. A análise envolveu sete participantes, entre 7 e 17 anos, avaliados em sessões individuais realizadas em ambiente terapêutico. As interações foram registradas por meio de anotações diretas, gravações audiovisuais e relatos espontâneos, sendo analisadas com base em um protocolo estruturado e codificadas de forma independente por dois avaliadores. A concordância entre avaliadores foi verificada pelo coeficiente Kappa de Cohen. Os resultados indicam que a integração de estímulos táteis, visuais e auditivos apresentou indícios de contribuição para o reconhecimento de letras, estratégias de autocorreção e engajamento inicial, embora tenham sido observadas oscilações de atenção e influência de fatores ambientais. Com base nesses dados, foram propostas e implementadas modificações no dispositivo, resultando em uma nova versão cuja efetividade será avaliada em estudos futuros. O estudo contribui para o campo da Informática na Educação ao documentar como princípios de usabilidade e acessibilidade podem orientar o aperfeiçoamento iterativo de tecnologias educacionais inclusivas.

Palavras-chave: Usabilidade; Interação Tangível; Alfabetização; Inclusão; Síndrome de Down; Neuroplasticidade; Tecnologias Educacionais

Abstract

This paper presents a usability evaluation of Alfaba, a tangible and multisensory educational device originally designed to support literacy development in general contexts. The study investigates its specific applicability to children

Cite as: Quevedo Jurgina, L., Medeiros, E. P., Mackedanz, T. D., Aquili, L. G., Rosa Júnior, L. S., Moreira, F. & Primo, T. T. (2025). Estudo de Usabilidade de uma Solução Tangível no Processo de Alfabetização de Crianças com Síndrome de Down. Revista Brasileira de Informática na Educação, 33, 1406-1427. <https://doi.org/10.5753/rbie.2025.6000>.

and adolescents with Down Syndrome. Seven participants aged 7 to 17 took part in individual sessions conducted in a therapeutic setting. Interactions were recorded through direct annotations, audiovisual recordings, and spontaneous verbal reports, and analyzed using a structured observation protocol. Coding was performed independently by two evaluators, with inter-rater agreement assessed via Cohen's Kappa coefficient. Results suggest that the integration of tactile, visual, and auditory stimuli may support letter recognition, autonomous error correction, and initial engagement, although attention declined over time and environmental distractions were noted. Based on these findings, design improvements were proposed and implemented, resulting in a new version of Alfaba, whose effectiveness will be investigated in future studies. The study contributes to the field of Educational Computing by documenting how usability and accessibility principles can inform the iterative refinement of inclusive educational technologies.

Keywords: Usability; Tangible Interaction; Literacy; Inclusion; Down Syndrome; Neuroplasticity; Educational Technologies

Resumen

Este artículo presenta una evaluación de usabilidad del Alfaba, un dispositivo educativo tangible y multisensorial concebido originalmente para apoyar el proceso de alfabetización en contextos generales. El estudio investiga su aplicabilidad específica para niños y jóvenes con Síndrome de Down. Participaron siete estudiantes, entre 7 y 17 años, en sesiones individuales realizadas en un entorno terapéutico. Las interacciones fueron registradas mediante anotaciones directas, grabaciones audiovisuales y relatos espontáneos, y analizadas a partir de un protocolo estructurado. La codificación fue realizada de forma independiente por dos evaluadores, y la concordancia fue verificada mediante el coeficiente Kappa de Cohen. Los resultados sugieren que la integración de estímulos táctiles, visuales y auditivos puede facilitar el reconocimiento de letras, la corrección autónoma de errores y el compromiso inicial, aunque se observaron fluctuaciones de atención e influencia de factores ambientales. A partir de estas observaciones, se propusieron e implementaron mejoras en el diseño, resultando en una nueva versión del Alfaba, cuya efectividad será evaluada en estudios posteriores. El estudio contribuye al campo de la Informática Educativa al documentar cómo los principios de usabilidad y accesibilidad pueden orientar el perfeccionamiento iterativo de tecnologías educativas inclusivas.

Palabras clave: Usabilidad; Interacción Tangible; Alfabetización; Inclusión; Síndrome de Down; Neuroplasticidad; Tecnologías Educativas

1 Introdução

A alfabetização é uma das fases mais determinantes da trajetória educacional, marcando o início do contato sistemático com a linguagem escrita e suas múltiplas funções sociais (Soares, 2004). Embora muitos estudantes percorram esse processo dentro de padrões considerados esperados, há crianças que vivenciam formas distintas de aprender, refletindo uma variedade de perfis cognitivos, sensoriais, motores e comunicacionais. Entre esses perfis estão aqueles que compõem o espectro da neurodiversidade, conceito que reconhece diferentes formas de funcionamento neurológico como parte da variabilidade humana, e não como desvios a serem corrigidos (Beyer, 2013; Oliveira et al., 2025).

A Síndrome de Down (SD), condição genética caracterizada pela trissomia do cromossomo 21, influencia o desenvolvimento cognitivo, linguístico e motor, impactando diretamente o percurso de alfabetização (Fidler et al., 2009; Næss et al., 2011). Alterações na memória de trabalho, na atenção sustentada e na discriminação fonológica são comuns, exigindo abordagens pedagógicas que integrem repetição estruturada, previsibilidade e múltiplos canais sensoriais (Byrne & Fielding-Barnsley, 2010). Esses fatores interferem tanto na manipulação de sons e palavras quanto em atividades que requerem coordenação motora fina, como o uso do lápis (Pinheiro et al., 2020). Quando desconsideradas no planejamento pedagógico, essas necessidades ampliam a distância entre as exigências escolares e as possibilidades reais de aprendizagem.

Experiências educacionais que incorporam práticas multissensoriais — como o uso de canções, imagens e materiais manipuláveis — têm demonstrado benefícios para a alfabetização de crianças com SD (Buckley & Bird, 2001; Kay-Raining Bird et al., 2008). A aprendizagem tangível, baseada na manipulação direta de objetos físicos, integra estímulos táteis, visuais e auditivos, favorecendo o desenvolvimento de habilidades fonológicas, visuais e motoras. Revisões sistemáticas indicam que tais tecnologias promovem exploração ativa, reconhecimento de padrões e maior permanência na tarefa, especialmente entre estudantes com diferentes perfis de desenvolvimento (Medeiros et al., 2024). Em contextos inclusivos, a avaliação de usabilidade dessas soluções deve considerar não apenas a operação técnica, mas também a adequação às condições cognitivas, motoras e atencionais dos usuários.

Apesar dos avanços legais na promoção da educação inclusiva no Brasil (Brasil, 2015; Ministério da Educação, 2008), persistem desafios relacionados à formação de professores, à disponibilidade de materiais adaptados e à integração efetiva de tecnologias assistivas nas práticas pedagógicas. Pesquisas recentes apontam que, embora haja aumento no número de soluções digitais voltadas à inclusão, estudos que investigam seu uso efetivo por crianças com SD em contextos reais de aprendizagem ainda são relativamente limitados (Fernández-Batanero et al., 2022).

O *Alfaba* é um dispositivo tangível que combina som, imagem e manipulação física de letras, buscando apoiar o desenvolvimento da consciência fonológica e do reconhecimento de padrões linguísticos. Para crianças com SD, que se beneficiam de experiências concretas e multisensoriais, essa abordagem pode contribuir para maior engajamento e permanência em atividades de leitura e escrita. A partir das lacunas identificadas e da importância da usabilidade em contextos inclusivos, este estudo investiga: *o dispositivo Alfaba apresenta usabilidade adequada para crianças e jovens com síndrome de Down em processo de alfabetização?*

Para responder a essa questão, foi conduzida uma avaliação empírica em ambiente terapêu-

tico, com foco na observação das interações entre participantes e o dispositivo, buscando identificar facilidades e barreiras de uso relacionadas a aspectos motores, atencionais e comunicacionais. Este artigo apresenta uma versão estendida de um estudo previamente publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024) (Jurgina, Medeiros et al., 2024), incorporando modificações no dispositivo com base nas evidências coletadas, a adoção de novos critérios de codificação e um protocolo sistematizado de observação, além de uma discussão ampliada com base em princípios de neuroplasticidade e acessibilidade.

2 Desafios Cognitivos, Motores e Neurológicos para a Alfabetização de Crianças com Síndrome de Down

A alfabetização de crianças com síndrome de Down apresenta especificidades que demandam a compreensão de fatores cognitivos, motores e neurológicos que influenciam esse processo. A trissomia do cromossomo 21 afeta o desenvolvimento de estruturas cerebrais relacionadas à linguagem, à memória de curto prazo e à coordenação motora fina, o que impõe barreiras que devem ser consideradas no planejamento de intervenções pedagógicas (Chapman, 2000; Jarrold & Baddeley, 2001).

Entre os principais desafios está o comprometimento da memória de trabalho, especialmente no domínio fonológico. Estudos demonstram que crianças com SD apresentam limitações na capacidade de reter e manipular informações auditivas de curto prazo, o que interfere diretamente na aquisição da leitura (Jarrold & Baddeley, 2001). A memória fonológica reduzida dificulta a associação entre fonemas e grafemas, etapa fundamental para a decodificação de palavras (Chapman, 2006).

Pesquisas de neuroimagem indicam que regiões como o giro supramarginal e o giro angular, responsáveis pela integração auditivo-visual necessária à leitura, apresentam desenvolvimento atípico em indivíduos com SD (Eickhoff et al., 2005). Há também evidências de alterações no funcionamento do hipocampo, área envolvida na consolidação de novas aprendizagens, o que pode impactar a aquisição de vocabulário e a recuperação de informações durante a leitura (Krasniqi et al., 2022).

O desenvolvimento motor, frequentemente afetado pela hipotonia muscular e pela coordenação motora fina limitada, representa outra dimensão de desafio (Jobling, 1998). Essas características dificultam a realização de tarefas como segurar lápis, formar letras e realizar movimentos oculares coordenados, atividades essenciais no processo de alfabetização. No domínio da linguagem, atrasos na produção da fala, dificuldades articulatórias e limitações na compreensão auditiva são amplamente documentados (Chapman, 2000). Tais fatores comprometem o desenvolvimento da consciência fonológica, habilidade necessária para a segmentação de sílabas, manipulação de fonemas e formação de palavras.

A capacidade de atenção sustentada, frequentemente reduzida em crianças com SD, também impacta o engajamento em atividades que exigem concentração prolongada (Ekstein et al., 2011). Essa limitação interfere tanto no processo de leitura e escrita quanto no aproveitamento de práticas multissensoriais que poderiam favorecer a aprendizagem.

As limitações cognitivas, motoras e atencionais observadas em crianças com SD tornam in-

suficientes os métodos tradicionais de alfabetização. Para atender a essas necessidades, estratégias baseadas em repetição controlada, estímulos visuais e táteis que reforcem a associação fonema-grafema, e dispositivos que minimizem demandas de motricidade fina se mostram adequadas.

A proposta do *Alfaba* articula esses elementos por meio de uma interface tangível que combina manipulação física de letras, retroalimentação sonora e reforço visual. Trabalhos anteriores apontam que esse tipo de integração favorece o reconhecimento de padrões linguísticos, sustenta o engajamento por períodos curtos e apoia a construção de correspondências fonológicas em crianças com SD (Carreño-León et al., 2022; Fletcher & Buckley, 2002; Krasniqi et al., 2022). O alinhamento entre as características do dispositivo e os perfis neurofuncionais dos usuários é condição para que intervenções tecnológicas tenham aplicabilidade pedagógica real.

3 Trabalhos Relacionados

O desenvolvimento de tecnologias educacionais voltadas à alfabetização de crianças com SD tem explorado diferentes abordagens, envolvendo interfaces tangíveis, dispositivos *multi-touch* e ambientes digitais multissensoriais. Esta seção revisa estudos que investigam o impacto dessas tecnologias no processo de leitura e escrita, com foco nas implicações para o design de interfaces, na experiência de usabilidade e nas limitações identificadas nos trabalhos anteriores.

3.1 Tecnologias Tangíveis e Multissensoriais na Alfabetização

A literatura na área de tecnologias educacionais para estudantes com SD tem explorado diferentes abordagens tangíveis e multissensoriais, com ênfase na manipulação de objetos físicos associados à linguagem. Haro et al. (2012), utilizam materiais concretos e telas sensíveis ao toque na implementação da metodologia “Down Syndrome: Reading and Writing” (DSRW). O sistema permite a construção de palavras por meio de peças físicas, associadas a estímulos visuais e auditivos. O foco do estudo esteve na permanência na tarefa e na adesão dos alunos, mas não foram conduzidas análises detalhadas sobre o tipo de resposta gerada ou a autonomia no uso do sistema.

De forma semelhante, o kit *Kiteracy* descrito por Jadan-Guerrero et al. (2015) combinava cartões físicos, símbolos visuais e um sistema digital com reconhecimento de letras. O kit priorizava a associação entre grafemas e fonemas, estimulando a construção de palavras por meio de manipulação direta. Os autores compararam diferentes modos de interação, como cartolina, tela sensível e objetos físicos. As interações tangíveis mostraram maior frequência de respostas corretas e engajamento, embora o controle sobre as formas de mediação e os critérios de análise tenham sido limitados.

Já em Cruz et al. (2023), avaliou-se o uso da realidade aumentada (RA) como recurso complementar para atividades de alfabetização. A aplicação combinava figuras tridimensionais com instruções sonoras e reconhecimento de marcadores visuais. Os resultados indicaram aumento no tempo de permanência na atividade, embora o foco não tenha sido a avaliação de aspectos cognitivos específicos relacionados à leitura e escrita.

O *Alfaba* diferencia-se dessas propostas ao integrar, em um único dispositivo físico, três modalidades sensoriais simultâneas (visual, tátil e auditiva), com retorno imediato por cores e sons.

Ainda, sua avaliação considerou observações sistemáticas em contexto educacional real, com triangulação de fontes, categorização padronizada e controle de mediação. A Tabela 1 sintetiza as principais características desses estudos.

Tabela 1: Comparação entre tecnologias aplicadas à alfabetização de crianças com Síndrome de Down.

Trabalho	Tecnologia Utilizada	Modalidades Sensoriais	Observações
Haro et al. (2012)	Objetos físicos + tela sensível ao toque	Tátil, visual, auditiva	Ênfase em permanência e engajamento; sem controle sistemático de mediação
Jadan-Guerrero et al. (2015)	Kit Kiteracy (cartões físicos + sistema digital)	Tátil, visual, auditiva	Comparação entre modos de interação; interações físicas mais eficazes, mas sem análise estruturada
Da Cruz et al. (2023)	Aplicativo com realidade aumentada	Visual, auditiva	Estímulos imersivos aumentaram engajamento; foco em motivação, sem métricas cognitivas específicas
Alfaba	Dispositivo tangível com luzes, sons e peças físicas	Tátil, visual, auditiva	Retorno sensorial imediato; análise qualitativa sistemática; ambiente real de aplicação; categorização comportamental padronizada

3.2 Aspectos de Usabilidade em Tecnologias para Crianças com SD

O projeto de tecnologias para crianças com SD demanda atenção especial à usabilidade, uma vez que limitações motoras, cognitivas e de atenção podem interferir na interação com os dispositivos.

Kumin et al. (2012) avaliaram o uso de tablets por adultos com SD em atividades ocupacionais e observaram dificuldades relacionadas à utilização de senhas e à exigência de respostas rápidas. Os resultados sugerem que interfaces simples e comandos previsíveis são preferíveis para esse público.

Pöttker e Camargo (2023) aplicaram heurísticas de usabilidade em aplicativos voltados à educação de crianças com SD. A pesquisa enfatizou a necessidade de organização visual clara, linguagem acessível e baixa complexidade de navegação para favorecer o engajamento e a autonomia dos usuários.

Entretanto, é importante destacar que a maioria desses estudos avaliou o uso da tecnologia em situações controladas, o que pode não representar integralmente os desafios enfrentados em ambientes escolares cotidianos. A falta de avaliações longitudinalmente acompanhadas dificulta a compreensão dos efeitos sobre a autonomia e a permanência dos estudantes nas atividades ao longo do tempo. A Tabela 2 apresenta um resumo das avaliações.

Tabela 2: Aspectos de usabilidade em tecnologias para crianças com síndrome de Down.

Autores e Ano	Foco da Avaliação	Principais Recomendações de Usabilidade
Kumin et al. (2012)	Uso de tablets por adultos com SD	Interfaces sem necessidade de memorização de senhas; comandos simples e respostas não imediatas
Pöttker et al. (2023)	Aplicativos educativos para crianças com SD	Organização visual clara; instruções em linguagem acessível; redução de sobrecarga cognitiva

3.3 Considerações para o Desenvolvimento de Tecnologias Tangíveis

A revisão dos trabalhos relacionados evidencia que tecnologias que combinam manipulação física e estímulos multissensoriais oferecem vantagens importantes para o público com SD. Contudo, a simples presença desses estímulos não assegura a efetividade na aprendizagem. O alinhamento entre o design dos dispositivos e as necessidades cognitivas, motoras e sensoriais dos usuários é essencial para garantir experiências educativas mais acessíveis e funcionais.

Diferentemente dos estudos anteriores, o presente trabalho busca integrar observação de uso real em contexto educativo e análise sistemática das interações, oferecendo uma contribuição prática para o refinamento de tecnologias tangíveis aplicadas à alfabetização de estudantes com SD.

No presente estudo, essa integração foi operacionalizada por meio da realização de sessões de observação em ambiente terapêutico com mediação especializada, seguidas de análise qualitativa baseada em protocolo estruturado e codificação independente dos registros. Essa abordagem permitiu documentar com rigor aspectos do uso espontâneo do dispositivo, bem como identificar padrões recorrentes de interação. Ao combinar observação em contexto real com critérios de análise replicáveis, o trabalho contribui para preencher a lacuna metodológica evidenciada nos estudos anteriores, estabelecendo uma ponte entre o uso situado da tecnologia e seu aperfeiçoamento técnico-pedagógico.

4 Metodologia

Este estudo dá continuidade à investigação iniciada em Jurgina, Medeiros et al. (2024), que apresentou uma análise preliminar da usabilidade do *Alfaba*, ferramenta educacional multissensorial voltada ao apoio na alfabetização de crianças e jovens com Síndrome de Down. A presente etapa aprofunda essa análise, incorporando categorias específicas de observação, detalhamento do protocolo metodológico e discussão das implicações para o redesign do dispositivo. Com base nos resultados anteriores, uma nova versão do *Alfaba* foi desenvolvida, com melhorias na qualidade da tela, no vocabulário disponível, nos sinais de retroalimentação sonora e na disposição física da interface.

A realização da análise de usabilidade foi escolhida como etapa inicial da pesquisa, com o objetivo de verificar se os usuários conseguem utilizar o dispositivo de maneira autônoma. Confirmada essa etapa, será possível planejar experimentos controlados destinados a avaliar o impacto do *Alfaba* no processo de aprendizagem da leitura e da escrita.

O foco desta fase consistiu em compreender como as propostas de interação do dispositivo dialogam com as características motoras, cognitivas e atencionais típicas do público com SD. A intenção foi observar comportamentos de uso, identificar necessidades de ajustes e gerar subsídios para o aperfeiçoamento do dispositivo antes de sua aplicação em contextos escolares mais amplos.

O projeto do *Alfaba* considerou evidências da neurociência cognitiva que associam a ativação simultânea de múltiplas vias sensoriais à formação e reforço de circuitos neurais implicados na leitura e na escrita (Dehaene, 2010). A estrutura do dispositivo explora estímulos táteis, visuais e auditivos como forma de potencializar a codificação fonológica e o reconhecimento ortográfico,

especialmente em crianças com desenvolvimento atípico. A escolha por uma interface tangível responde a resultados que relacionam manipulação física à ativação de regiões motoras e visuais integradas, contribuindo para o processamento fonema-grafema em contextos de alfabetização inicial (Jurgina, Aquini et al., 2024).

4.1 Descrição do Dispositivo

O *Alfaba* é um dispositivo educacional multissensorial, projetado para apoiar a alfabetização por meio da combinação entre manipulação física de letras, estímulos visuais e retroalimentação auditiva. Seu projeto foi desenvolvido com base nos princípios da neurociência do aprendizado e do desenho universal para a aprendizagem, oferecendo múltiplos caminhos de acesso à linguagem escrita.

A estrutura física do *Alfaba* é composta por:

- **Base interativa:** Equipada com sensores RFID (Identificação por Radiofrequência), a base reconhece a inserção correta de peças tridimensionais que representam as letras do alfabeto.
- **Slots iluminados:** A área destinada à montagem de palavras contém espaços delimitados para inserção das letras, cada um com iluminação LED RGB. As cores indicam a análise do sistema: verde para letras corretas, vermelho para letras incorretas e azul para letras corretas, porém inseridas de forma invertida.
- **Tela de exibição:** Um *display* integrado apresenta imagens relacionadas às palavras sorteadas, funcionando como suporte visual para a atividade de construção da palavra.
- **Sistema de áudio:** O dispositivo emite a reprodução sonora da palavra-alvo, permitindo que o participante associe o estímulo visual à representação fonológica.

As peças tridimensionais foram projetadas com dimensões compatíveis com o manuseio de crianças que apresentam dificuldades de coordenação motora fina. As letras possuem contornos bem definidos e textura diferenciada para estimular a percepção tátil, favorecendo o reconhecimento visual e sensorial simultaneamente.

O conjunto de palavras disponível no *Alfaba* foi organizado em seis níveis de dificuldade fonológica progressiva, respeitando critérios de aquisição da leitura no português brasileiro. Cada grupo contém dez palavras, iniciando com fonemas simples e avançando para estruturas mais complexas, como encontros consonantais e dígrafos. Essa progressão permite que o educador ou terapeuta selecione desafios adequados ao estágio de alfabetização da criança, respeitando seu ritmo individual. A interação multissensorial proposta pelo *Alfaba* tem como objetivo ativar simultaneamente vias visuais, auditivas e táteis, favorecendo a formação de redes neurais mais robustas associadas ao reconhecimento de palavras. A resposta imediata oferecida pelo sistema, tanto visual quanto sonora, possibilita a autorregulação durante a aprendizagem, ao permitir que o próprio usuário reconheça seus acertos e erros.

Na Figura 1, é possível visualizar uma criança durante a interação com o *Alfaba*, manipulando as letras tangíveis para a formação de palavras, ilustrando a proposta de integração entre motricidade, percepção visual e estímulos auditivos.

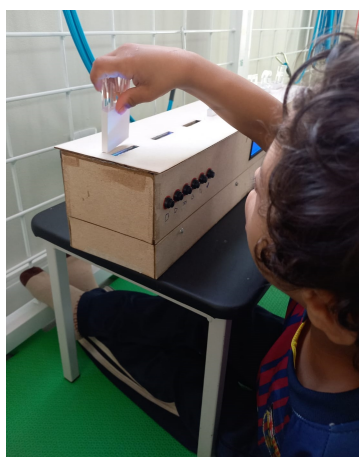


Figura 1: Criança interagindo com as letras tangíveis do *Alfaba*.

4.2 O *Alfaba* e a Síndrome de Down

O *Alfaba* foi desenvolvido como uma ferramenta educacional multissensorial, concebida para estimular a neuroplasticidade e apoiar o processo de alfabetização de crianças em diferentes fases do desenvolvimento. Sua proposta baseia-se na integração coordenada de estímulos táteis, visuais e auditivos, favorecendo a construção de associações fonológicas e gráficas a partir de experiências concretas de manipulação e observação.

Embora não tenha sido projetado especificamente para estudantes com Síndrome de Down, suas características de design sugerem que pode atender, de forma compatível, a barreiras cognitivas, motoras e atencionais descritas para esse grupo. A avaliação de usabilidade conduzida neste estudo busca verificar essa compatibilidade no uso prático.

Autores como Fidler et al. (2009) e Næss et al. (2011) descrevem que crianças com SD apresentam dificuldades na memória auditiva de curto prazo, na coordenação motora fina, na manutenção da atenção e no processamento de informações linguísticas, fatores que impactam diretamente a aquisição da leitura e da escrita. Tais condições demandam abordagens pedagógicas que combinem repetição estruturada, manipulação concreta de conteúdos e estímulos multissensoriais para promover melhores condições de aprendizagem.

O *Alfaba* incorpora elementos que podem dialogar positivamente com essas necessidades. A possibilidade de repetição sonora ilimitada, a utilização de peças tridimensionais de grandes dimensões, o respeito ao tempo de processamento individual e a associação simultânea de imagens e sons são características que favorecem a construção de vínculos entre grafema, fonema e significado.

A Tabela 3 apresenta a relação entre as barreiras observadas em estudantes com SD e os recursos do dispositivo, indicando seu potencial de acessibilidade para este público.

Tabela 3: Recursos do *Alfaba* e sua relação com características de crianças com síndrome de Down.

Característica Observada	Recurso do Dispositivo
Limitação de memória auditiva de curto prazo	Repetição sonora ilimitada e associação entre imagem e som
Hipotonia e dificuldade motora fina	Peças tridimensionais de grande dimensão e contornos táteis
Tempo ampliado de processamento de informações	Interface pausada, sem exigência de resposta imediata
Oscilação de atenção sustentada	Estímulos visuais claros, <i>feedback</i> imediato e estruturação de atividades breves
Necessidade de apoio visual para a linguagem escrita	Apresentação simultânea de imagens ilustrativas e áudio de palavras

A análise de usabilidade, portanto, busca compreender se esses recursos, embora desenvolvidos para a alfabetização de forma geral, mostram-se acessíveis e apropriados para estudantes com SD em contextos reais de aprendizagem.

4.3 Participantes e Contexto de Aplicação

Participaram da pesquisa sete crianças e jovens com síndrome de Down, com idades entre 7 e 17 anos, em fase de escolarização e acompanhamento terapêutico. Os participantes foram selecionados entre os atendidos pela Associação de Pais de Down de Pelotas (APADPEL), respeitando os seguintes critérios de inclusão:

- Vínculo contínuo com a instituição;
- Capacidade de compreender instruções básicas;
- Disponibilidade para participar das sessões;
- Consentimento livre e esclarecido dos responsáveis legais.

A decisão de trabalhar com essa amostra está alinhada com estudos sobre testes de usabilidade. Nielsen e Landauer (1993) argumentaram que é possível identificar uma proporção relevante dos problemas de usabilidade — em torno de 85% — com apenas cinco usuários. Essa estimativa baseia-se em um modelo de curva de descoberta, no qual a probabilidade de encontrar novos problemas diminui a cada usuário adicional. Embora essa abordagem tenha sido posteriormente discutida e complementada, continua sendo adotada em testes com públicos específicos.

Ainda assim, reconhece-se a necessidade de realizar testes adicionais com uma amostra ampliada, com o objetivo de ajustar o protótipo às características do público-alvo.

As sessões ocorreram nas instalações da própria APADPEL, em ambiente já conhecido pelos participantes. O espaço utilizado era multifuncional, equipado com brinquedos, espelhos e materiais terapêuticos. Para a realização da atividade, foi feita uma organização prévia do ambiente a fim de reduzir estímulos visuais dispersivos e favorecer o foco na tarefa.

A variação etária dos participantes reflete a diversidade encontrada no processo de alfabetização de pessoas com síndrome de Down. Diferentemente do que ocorre no desenvolvimento

típico, a trajetória de aquisição da leitura e da escrita em indivíduos com SD é mais prolongada, tanto pelas barreiras cognitivas e sensoriais intrínsecas quanto pela insuficiência de práticas escolares inclusivas e adaptadas (Buckley & Bird, 2001). Assim, é comum que jovens em idade adolescente ainda estejam em estágios iniciais de alfabetização. Essa característica, longe de ser um viés, representa uma condição real dos contextos educacionais frequentados por essa população, conferindo maior validade ecológica aos resultados deste estudo.

4.4 Procedimentos de Coleta e Observação

Cada sessão teve duração aproximada de vinte minutos e foi conduzida individualmente, com a mediação de uma terapeuta ocupacional. A mediação teve como objetivo garantir a compreensão das instruções iniciais e incentivar a continuidade das interações, sem interferência direta nas escolhas dos participantes. A condução seguiu os seguintes passos:

1. Apresentação do dispositivo e dos componentes físicos;
2. Reconhecimento das letras disponíveis;
3. Realização da atividade de formação de palavras;
4. Utilização do botão de repetição sonora conforme a preferência do participante.

As observações focalizaram comportamentos relacionados à interação com o dispositivo, incluindo compreensão das instruções, manipulação das letras, resposta aos *feedbacks* visuais e auditivos, e estratégias de autorregulação. Para garantir diversidade de evidências, os dados foram coletados por meio de três fontes complementares:

- Anotações diretas feitas por dois avaliadores independentes, os mesmos responsáveis pela codificação descrita na subseção 4.5, registrando comportamentos observados durante as sessões;
- Gravações audiovisuais (mediante consentimento formal), com ângulo fixo da área de trabalho;
- Relatos espontâneos dos participantes e comentários emitidos durante a atividade.

As gravações foram analisadas posteriormente com apoio de software de codificação qualitativa, seguindo um protocolo estruturado previamente definido. Esse protocolo contemplava categorias descritivas relacionadas à interação com o dispositivo, como manipulação das peças (por exemplo, segurar e encaixar as letras), compreensão das instruções verbais, tempo de resposta entre estímulo e ação, uso do botão de repetição sonora, reações ao *feedback* visual e auditivo, incluindo correções espontâneas, e engajamento durante a atividade, considerando permanência na tarefa, expressões faciais e comentários verbais. As categorias foram acompanhadas por descritores comportamentais definidos previamente e aplicados por dois avaliadores de forma independente. A triangulação entre as três fontes buscou aumentar a confiabilidade das inferências, articulando observações diretas, registros audiovisuais e expressões verbais ou não verbais dos participantes.

A Tabela 4 sintetiza as categorias utilizadas na análise comportamental.

Tabela 4: Dimensões observadas e critérios comportamentais utilizados na análise.

Dimensão Observada	Exemplos de Comportamento
Manipulação das peças	Segurar, posicionar e encaixar letras nos <i>slots</i> do dispositivo
Compreensão das instruções	Realizar ações após explicação verbal ou demonstração
Tempo de resposta	Intervalo entre estímulo (áudio ou imagem) e ação de montagem
Uso do botão de repetição sonora	Frequência e autonomia no uso do recurso auditivo disponível
Reação ao <i>feedback</i> visual e sonoro	Correção espontânea de erros, ajustes de estratégia
Engajamento durante a atividade	Tempo de permanência, expressões de satisfação ou frustração

A categorização foi realizada por dois observadores independentes, cuja concordância foi verificada por meio do coeficiente Kappa de Cohen (Miot, 2016), conforme descrito na subseção 4.5. Essa abordagem buscou garantir rigor na identificação dos padrões de uso, considerando a variação interindividual típica do público-alvo.

4.5 Análise da Confiabilidade dos Dados

Para verificar a consistência e a confiabilidade dos registros observacionais, foi calculado o coeficiente Kappa de Cohen como medida de concordância entre observadores independentes. Esse coeficiente quantifica o grau de concordância além do que seria esperado por acaso, sendo amplamente utilizado em estudos qualitativos que envolvem categorização de comportamentos.

Cada sessão de observação contou com a presença de um mediador e dois observadores, que avaliaram as interações dos participantes a partir de um protocolo estruturado. As observações abrangeram seis dimensões: manipulação das peças, compreensão das instruções, tempo de resposta, uso do botão de repetição sonora, reação ao *feedback* visual e sonoro e engajamento durante a atividade. Para cada dimensão, os comportamentos foram classificados em três níveis — alto, médio ou baixo — com base em descritores comportamentais definidos previamente. Considerou-se *alto* desempenho quando o participante executava a ação de forma autônoma, com precisão e no tempo esperado; *médio*, quando havia necessidade de pequenas correções, repetição de instruções ou lapsos breves de atenção; e *baixo*, quando a execução dependia de auxílio frequente, apresentava erros persistentes ou tempos de resposta excessivos. Especificamente para o tempo de resposta, adotou-se como critério: até cinco segundos para nível alto, entre seis e dez segundos para médio e acima de dez segundos ou ausência de resposta para baixo.

A Tabela 5 apresenta um exemplo de matriz de contingência resultante da comparação entre as classificações de dois observadores independentes para as dimensões analisadas. Com base nessa matriz, a proporção de concordância observada (P_o) foi de 0,87 e a proporção de concordância esperada pelo acaso (P_e) foi de 0,28. Aplicando a fórmula

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} = \frac{0,87 - 0,28}{1 - 0,28} = \frac{0,59}{0,72} \approx 0,82,$$

o valor obtido de κ corresponde a uma “concordância quase perfeita”, conforme a classificação de Landis e Koch (1977). Esse resultado reforça a confiabilidade dos registros e sustenta a validade da interpretação dos padrões de interação com o *Alfaba*.

Tabela 5: Exemplo de matriz de contingência entre dois observadores.

	Alto	Médio	Baixo
Alto	30	2	1
Médio	3	25	2
Baixo	2	1	18

4.6 Aspectos Éticos

O estudo respeitou todos os princípios éticos estabelecidos pelas normas brasileiras de pesquisa com seres humanos (Resolução CNS n.º 466/2012, Norma Operacional 001/2013, Resolução CNS n.º 510/2016 e Resolução CNS n.º 674/2022).

A participação foi voluntária, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelos responsáveis. O sigilo e a privacidade dos participantes foram preservados em todas as etapas. As sessões foram conduzidas com a presença de profissionais qualificados, garantindo a segurança e o bem-estar dos envolvidos.

5 Resultados e Discussões

A avaliação de usabilidade do *Alfaba* possibilitou identificar padrões de interação de crianças e jovens com Síndrome de Down com o dispositivo, além de levantar aspectos críticos para seu aprimoramento. Este estudo permitiu também refletir sobre as condições ambientais e cognitivas que interferem na adoção de tecnologias tangíveis em contextos inclusivos.

5.1 Interação com o Dispositivo

Após uma breve mediação introdutória, todos os participantes foram capazes de compreender e operar os botões e funcionalidades do *Alfaba*. O uso recorrente do botão de repetição sonora destacou a importância de disponibilizar recursos que favoreçam o reforço auditivo de forma acessível e não intrusiva. A ativação espontânea desse botão demonstra que a autonomia na busca de apoio fonológico é favorecida quando a interface é intuitiva, aspecto essencial para estudantes com SD, cuja memória auditiva de curto prazo pode apresentar limitações.

A manipulação das peças tangíveis ocorreu sem dificuldades motoras relevantes. O dimensionamento das letras (0,8cm x 4cm x 8,5cm) mostrou-se apropriado, apoiando a motricidade fina sem gerar fadiga ou frustração, fatores determinantes para a manutenção do engajamento em crianças com hipotonia muscular, condição comum em indivíduos com SD (Pinheiro et al., 2020). A interação tátil também favoreceu a construção concreta da associação grafema-fonema, elemento-chave no processo de alfabetização.

O sistema de *feedback* visual imediato por cores (verde, vermelho e azul) foi compreendido com rapidez e funcionou como um guia de autorregulação. A presença da cor azul para letras

invertidas evitou penalizações negativas, orientando ajustes sutis no comportamento do usuário, conforme proposto nas práticas de ensino responsivo (Kay-Raining Bird et al., 2008).

5.2 Padrões de Engajamento e Atenção Sustentada

Observou-se que os participantes mantiveram níveis satisfatórios de atenção nos primeiros 10 a 12 minutos de atividade. Após esse intervalo, comportamentos de dispersão começaram a emergir, como desvio do olhar, manipulação de objetos externos e perda de ritmo na tarefa.

Esse fenômeno pode ser interpretado sob duas óticas complementares. Primeiramente, a literatura sobre o perfil cognitivo da SD aponta para dificuldades em atenção sustentada e seletiva, associadas à maturação mais lenta de redes neurais relacionadas a esses processos (Fidler et al., 2009). Em segundo lugar, é necessário considerar o impacto cultural contemporâneo da hiperestimulação digital, que vem modificando padrões de atenção infantil em geral, encurtando o tempo médio de foco em atividades que exigem continuidade cognitiva.

A combinação desses fatores sugere que o design de atividades com o *Alfaba* deve incluir estratégias de alternância de tarefas e pausas estruturadas, a fim de preservar a motivação sem sobrecarregar a capacidade atencional.

5.3 Perfis de Uso e Interação com o Dispositivo

A análise qualitativa das interações permitiu a identificação de três padrões distintos de engajamento com o *Alfaba*. Esses perfis refletem diferentes modos de uso do dispositivo, mesmo em uma amostra reduzida, e contribuem para orientar ajustes de design e mediação.

O primeiro perfil, denominado *exploratório-autônomo*, foi observado em uma participante que iniciou o uso do dispositivo antes do término das instruções e demonstrou domínio imediato das funcionalidades. Esse comportamento também foi evidenciado por uma dupla que solicitou espontaneamente realizar a atividade em conjunto, organizando-se de forma colaborativa para dividir tarefas e discutir estratégias de montagem de palavras.

O segundo perfil, *dependente-orientado*, incluiu participantes que, apesar de compreenderem as instruções, buscaram aprovação verbal para cada ação realizada. A solicitação constante de validação não foi motivada por dificuldade de operação do dispositivo, mas por um padrão de interação que sugere necessidade de reforço social ou insegurança na execução autônoma.

Um terceiro perfil, identificado como *engajamento oscilante*, foi associado a participantes que iniciaram a tarefa com foco, mas demonstraram dispersão após os primeiros minutos. A atenção foi desviada por estímulos visuais no ambiente, como brinquedos e espelhos, o que interrompeu a continuidade da tarefa sem impedir a retomada quando redirecionados verbalmente.

O reconhecimento desses perfis contribui para compreender como diferentes estratégias de mediação e organização do ambiente podem favorecer a interação com o *Alfaba*, respeitando a variabilidade individual comum em crianças e jovens com SD.

5.4 Ambiente de Uso e Influência no Desempenho

A realização do teste em ambiente multifuncional, rico em estímulos visuais e sonoros, revelou a importância do controle ambiental para o uso eficaz de tecnologias tangíveis. Em situações de maior poluição sensorial, foi mais difícil manter o foco dos participantes, conforme já relatado em estudos sobre carga cognitiva extrínseca (Sweller, 2020).

As sessões descritas neste artigo foram realizadas com a mesma versão do *Alfaba* apresentada em Jurgina, Medeiros et al. (2024), anterior às modificações estruturais implementadas com base nos resultados preliminares. As análises aqui relatadas, portanto, dizem respeito à versão inicial do dispositivo.

Idealmente, o *Alfaba* deve ser utilizado em locais com estímulos visuais moderados, iluminação confortável e ruídos controlados. Quando isso não for possível, a mediação humana torna-se ainda mais relevante, com estratégias como redirecionamento verbal, reforço positivo e alternância de atividades para recuperar a atenção dos estudantes.

5.5 Ação Espontânea e Colaborativa

Uma observação relevante durante as sessões foi a ocorrência espontânea de interações colaborativas entre os participantes. Em uma das atividades, duas crianças solicitaram utilizar o *Alfaba* em conjunto e organizaram-se para compartilhar a montagem de palavras, alternando funções e auxiliando-se mutuamente na escolha das letras. Essa dinâmica indica o potencial do dispositivo para favorecer práticas de aprendizagem em pares, apoiando tanto o engajamento individual quanto a construção de relações de ajuda no contexto educativo.

Essa ação espontânea de colaboração demonstra que o *Alfaba* não apenas favorece aprendizagens individuais, mas também potencializa dinâmicas sociais fundamentais para o desenvolvimento linguístico e cognitivo em crianças com SD (Guralnick, 2010). A interação em pares amplia as oportunidades de escuta ativa, negociação de sentidos e construção compartilhada do conhecimento, aspectos muitas vezes subexplorados em abordagens educativas convencionais.

5.6 Atualização do Dispositivo: Nova Versão do *Alfaba*

Com base nas observações qualitativas da etapa de usabilidade, foi realizada a atualização do *Alfaba*, incorporando modificações fundamentadas nos comportamentos identificados durante as sessões. Para complementar essas observações, algumas métricas descritivas foram extraídas retrospectivamente das gravações e anotações, com o objetivo de sustentar as decisões de redesign.

Durante as sessões, verificou-se uma média de 4,1 ativações do botão de repetição sonora por participante, com variação em função do perfil de engajamento. O tempo médio de montagem de palavras oscilou entre 45 segundos e 1 minuto e 10 segundos, dependendo do nível fonológico e da autonomia apresentada. Em 86% das interações registradas, os participantes realizaram ao menos uma correção espontânea após *feedback* visual, o que indica compreensão do sistema de cores.

As modificações implementadas incluem:

- Substituição da tela por modelo maior, com definição visual aprimorada, favorecendo a

associação entre imagem e palavra;

- Redesenho dos botões de controle, com dimensões ampliadas, textura sensorial e organização visual mais acessível;
- Reforço estrutural na base e nos encaixes, considerando a força aplicada por alguns usuários e o uso compartilhado do dispositivo;
- Inclusão das letras k, w e y no conjunto físico, conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa;
- Ajuste no tempo de transição entre tentativas, oferecendo breves pausas automáticas para favorecer o processamento atencional.

A Tabela 6 apresenta um resumo das alterações realizadas, com base nas interações observadas.

Tabela 6: Comparativo entre versões do *Alfabá* com base em observações de usabilidade.

Elemento	Versão Inicial	Versão Revisada
Tela de exibição	Pequena, baixa definição	Ampliada, com contraste e nitidez aumentados
Botões	Pequenos, visuais neutros	Maiores, com texturas e cores destacadas
<i>feedback</i> por cor	RGB com função básica	Mantido, com reforço na iluminação dos <i>slots</i>
Controle de tempo	Execução contínua	Inserção de pausas entre tentativas
Conjunto de letras	23 letras (sem k, w, y)	Inclusão de k, w e y
Estrutura física	Acabamento leve	Reforço estrutural para maior resistência

Ainda que o estudo qualitativo tenha fornecido suporte inicial para essas modificações, reconhece-se que a ausência de métricas registradas automaticamente limita a robustez da análise. Trabalhos futuros deverão incluir registro digitalizado das ações, como tempo por tarefa, frequência de erros e padrão de uso dos comandos, viabilizando análises mais detalhadas e replicáveis.



Figura 2: Nova versão do *Alfabá*: tela ampliada, botões redesenhados e estrutura reforçada, desenvolvida a partir de observações em teste de usabilidade.

5.7 Síntese das Observações de Usabilidade

A análise dos dados coletados durante o teste de usabilidade permitiu organizar as principais observações em categorias específicas, conforme apresentado na Tabela 7. Essa síntese organiza os resultados segundo as dimensões estabelecidas no protocolo de análise, já apresentadas na Tabela 6, o que garante consistência entre os critérios adotados e as observações. Cada dimensão observada reflete aspectos fundamentais do uso do *Alfaba*, indicando pontos fortes e aspectos que requerem atenção para o planejamento de intervenções pedagógicas.

Tabela 7: Resumo das observações sobre a usabilidade do *Alfaba*.

Dimensão Observada	Contribuição do <i>Alfaba</i>
Compreensão de Funcionalidades	Operação intuitiva dos botões; uso autônomo da repetição sonora
Manipulação das Letras	Preensão adequada; apoio à associação grafema-fonema
<i>Feedback</i> Visual	Apoio à autorregulação e ajuste de erros por meio de cores distintas
Atenção e Engajamento	Dispersão após 10–12 minutos; necessidade de alternância de atividades
Influência Ambiental	Estímulos visuais e ruídos afetaram o foco; ambiente deve ser controlado
Colaboração Espontânea	Uso em duplas favoreceu engajamento e construção conjunta de respostas
Perfis de Interação	Três padrões identificados: autônomo-exploratório, dependente-orientado e engajamento oscilante

A análise sugere que parte dos participantes compreendeu a funcionalidade dos botões sem mediação direta e utilizou de forma autônoma o recurso de repetição sonora, o que aponta para um grau inicial de familiaridade com os elementos interativos. A manipulação física das letras foi bem-sucedida na maioria dos casos, favorecendo tentativas de associação entre estímulo visual e representação sonora, ainda que com variações conforme o perfil do participante.

O *feedback* visual, baseado em cores, foi interpretado como sinal de erro ou acerto por diferentes participantes, funcionando como indício de autorregulação. No entanto, a manutenção da atenção mostrou-se limitada a intervalos de aproximadamente dez minutos, exigindo alternância de atividades para evitar dispersão. A presença de ruídos e estímulos visuais externos interferiu negativamente no foco atencional, reforçando a importância de ambientes controlados. Observou-se também colaboração espontânea em interações em duplas, com trocas verbais e ajustes compartilhados.

Por fim, a identificação de três perfis de interação recorrentes — autônomo-exploratório, dependente-orientado e engajamento oscilante — sugere que a usabilidade do dispositivo é modulada por características individuais e pelo nível de apoio disponível. Essas evidências permitem afirmar que o *Alfaba*, na versão testada, é funcional para parte dos usuários, mas requer ajustes específicos para ampliar sua acessibilidade e estabilidade em contextos de uso prolongado. Esses resultados reforçam a importância de processos iterativos de redesign, nos quais dados empíricos alimentam a melhoria contínua do dispositivo.

5.8 Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas na análise dos resultados. A amostra, composta por sete participantes com idades entre 7 e 17 anos, é pequena e heterogênea, o que reduz a possibilidade de generalização. A opção metodológica, no entanto, está alinhada a abordagens iterativas em testes de usabilidade, como a de Nielsen e Landauer (1993), que indicam que pequenos grupos podem revelar um número representativo de problemas nas fases iniciais de avaliação. Ainda assim, estudos com grupos maiores e maior homogeneidade etária e funcional são recomendados para verificar a consistência dos padrões observados.

Em relação aos objetivos — verificar a adequação da usabilidade do *Alfaba* e identificar elementos que favorecem ou dificultam sua utilização —, os resultados permitem uma resposta parcial. Observou-se que o dispositivo foi compreendido e manipulado de forma autônoma por parte dos participantes, especialmente nas interações iniciais e nas tarefas de repetição sonora. Entretanto, a necessidade de mediação frequente, a dispersão atencional e a variabilidade nos perfis de engajamento indicam que o uso autônomo não se sustenta de forma contínua ou uniforme. Quanto à identificação de elementos facilitadores e limitantes, o estudo foi capaz de mapear com clareza aspectos positivos, como o *feedback* visual e a ergonomia das peças, e fatores restritivos, como a interferência ambiental e a dependência da mediação.

Esses resultados devem ser interpretados com atenção a potenciais ameaças à validade. Do ponto de vista da validade interna, a triangulação entre fontes de dados — observação direta, registros audiovisuais e codificação independente — contribuiu para mitigar vieses de interpretação. Por outro lado, a ausência de registros automatizados limitou a precisão na aferição de padrões de uso. Quanto à validade externa, o reduzido número de participantes e a heterogeneidade funcional dificultam a extrapolação dos resultados para outros contextos. O fato de todos os testes terem sido realizados em um mesmo espaço institucional, com características ambientais específicas, pode ter influenciado os desempenhos observados.

O ambiente de aplicação, uma sala multifuncional com estímulos visuais e sonoros diversos, impactou negativamente o desempenho atencional de parte dos participantes. Apesar da familiaridade com o espaço, o excesso de objetos, ruídos intermitentes e movimentações exigiu, em alguns casos, intervenções diretas para retomada do foco. Estudos futuros devem considerar ambientes com menor carga sensorial, como salas adaptadas para mediação individual ou laboratórios com controle ambiental.

A mediação humana revelou-se um fator relevante. Ainda que os mediadores não tenham interferido diretamente nas respostas dos participantes, seu papel foi decisivo para a continuidade das interações. Recomenda-se que pesquisas posteriores explorem a relação entre diferentes níveis de mediação (mínima, moderada, intensa) e os desempenhos obtidos, com definição clara de protocolos para esse controle.

Sugere-se também a adoção de métricas registradas automaticamente pelo sistema, como tempo de resposta, número de ativações de botões e sequência de tentativas. Esses dados permitiriam análises mais detalhadas, replicáveis e com menor interferência subjetiva. A combinação entre métricas automatizadas e avaliações longitudinais possibilitaria examinar impactos sobre habilidades acadêmicas, desde que se estabeleçam critérios mínimos de proficiência em leitura e escrita para a seleção do público.

Por fim, propõe-se a inclusão de grupos controle com perfil semelhante, sem acesso ao dispositivo, bem como a ampliação da amostra para participantes com diferentes comorbidades associadas à SD. Essas estratégias podem contribuir para explorar variáveis adicionais relacionadas à aprendizagem e à interação com tecnologias tangíveis.

6 Considerações Finais

Este artigo apresentou uma avaliação de usabilidade do *Alfaba*, um dispositivo educacional tangível e multissensorial voltado à alfabetização de crianças e jovens com Síndrome de Down. A investigação buscou compreender se os usuários-alvo conseguiam operar o dispositivo de forma autônoma e significativa, bem como identificar elementos do design que favorecem ou dificultam a interação. A análise foi conduzida em sessões individuais mediadas em ambiente terapêutico, com registros descritivos triangulados a partir de diferentes fontes.

Os resultados indicam que o dispositivo, em sua configuração atual, possibilita a execução de tarefas simples e promove engajamento inicial, sobretudo por meio da repetição sonora e do suporte visual à autocorreção. A identificação de perfis diferenciados de uso evidencia, no entanto, a necessidade de ajustes que permitam maior adaptação a ritmos e estratégias cognitivas heterogêneas. As limitações atencionais observadas em parte dos participantes, associadas à influência do ambiente e ao papel da mediação humana, sugerem que a efetividade da ferramenta depende de múltiplas variáveis que extrapolam a interface em si.

Em relação ao trabalho anterior (Jurgina, Medeiros et al., 2024), este estudo amplia a abordagem metodológica ao introduzir categorias interpretativas baseadas em padrões de engajamento, discutir a relação entre ambiente e desempenho e propor ajustes orientados pela análise qualitativa de situações de uso. Com isso, contribui para consolidar um ciclo iterativo de desenvolvimento centrado na experiência do usuário em contextos inclusivos.

Como continuidade da investigação, recomenda-se a incorporação de métricas automatizadas que permitam rastrear variáveis relevantes à análise de usabilidade, como tempo de resposta, número de ativações, hesitações entre tentativas e padrões de exploração. A análise desses dados, combinada a observações longitudinais, poderá oferecer evidências sobre progressão individual e estabilidade de uso ao longo do tempo. Estudos com grupos controle, pareados por faixa etária e perfil cognitivo, são indicados para avaliar com maior precisão os efeitos específicos do uso do *Alfaba*. A aplicação da ferramenta em ambientes escolares, com diferentes níveis de mediação pedagógica e organização física, permitirá examinar sua viabilidade em situações educacionais cotidianas. Recomenda-se ainda a adaptação do dispositivo para usuários com comorbidades associadas à SD, como TDAH, apraxia de fala ou dificuldades sensoriais, ampliando sua aplicabilidade em cenários educacionais diversos.

Esses desdobramentos visam aprofundar a compreensão sobre o papel das interfaces tangíveis no apoio à alfabetização de públicos neurodiversos, articulando critérios de usabilidade com princípios pedagógicos e demandas concretas de inclusão.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio da CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e da FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul. Os autores agradecem, também, à Associação de Pais de Down de Pelotas (APADPEL) pela valiosa participação e apoio durante a realização deste estudo.

Referências

- Beyer, H. O. (2013). *Inclusão e avaliação na escola: de alunos com necessidades educacionais especiais* (4ª ed.) [GS Search]. Mediação.
- Brasil. (2015). Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência – Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) [Acesso em: 15 abr. 2025]. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm
- Buckley, S., & Bird, G. (2001). Memory development for individuals with Down syndrome. *Down Syndrome Research and Practice*, 7(2), 67–70.
- Byrne, B., & Fielding-Barnsley, R. (2010). Reading and phonological awareness in children with Down syndrome: A longitudinal study [GS]. *Journal of Research in Reading*, 33(4), 389–404. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2010.01438.x>
- Carreño-León, M. A., Sandoval-Bringas, J. A., Estrada-Cota, I., Alvarez-Robles, T., Leyva-Carrillo, A., & Cosío-Castro, R. (2022). Tangible Interfaces Applied in the Development of Literacy in Children with Down Syndrome [GS Search]. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 321–331. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05563-1_23
- Chapman, R. S. (2000). Language development in children and adolescents with Down syndrome [GS Search]. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(1), 84–95. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:1<84::AID-MRDD10>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:1<84::AID-MRDD10>3.0.CO;2-K)
- Chapman, R. S. (2006). Language learning in Down syndrome: The speech and language profile compared to adolescents with cognitive impairment of unknown origin [GS Search]. *Down Syndrome Research and Practice*, 10(2), 61–66. <https://doi.org/10.3104/reports.306>
- Cruz, A. K. B. S. d., Aquino Júnior, M. A. d., Costa Neto, G. d. O., Soares Neto, C. d. S., Teixeira, M. M., Cruz, P. T. M. B. d., Barbosa, K. B., & Brito, C. P. L. (2023). Aplicação de jogos educativos baseados em realidade aumentada como estratégia de auxílio na alfabetização de crianças com Síndrome de Down [GS Search]. *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, 509–520. <https://doi.org/10.5753/sbie.2023.233212>
- Dehaene, S. (2010). *Reading in the Brain: The Science and Evolution of a Human Invention* [GS Search]. Penguin.
- Eickhoff, S. B., Stephan, K. E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G. R., Amunts, K., & Zilles, K. (2005). Assignment of functional activations to probabilistic cytoarchitectonic areas revisited [GS Search]. *NeuroImage*, 25(3), 1325–1335. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.034>
- Ekstein, S., Glick, B., Weill, M., Kay, B., & Berger, I. (2011). Down Syndrome and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) [GS Search]. *Journal of Child Neurology*, 26(10), 1290–1295. <https://doi.org/10.1177/0883073811405201>

- Fernández-Batanero, J. M., Montenegro-Rueda, M., Fernández-Cerero, J., & García-Martínez, I. (2022). Assistive technology for the inclusion of students with disabilities: a systematic review [GS Search]. *Educational Technology Research and Development*, 70(5), 1911–1930. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10161-6>
- Fidler, D. J., Most, D. E., & Philofsky, A. (2009). The Down syndrome behavioural phenotype: Taking a developmental approach [GS Search]. *Down Syndrome Research and Practice*, 12(1), 37–44. <https://doi.org/10.3104/reviews.2069>
- Fletcher, H., & Buckley, S. (2002). Phonological awareness in children with Down syndrome [GS Search]. *Down Syndrome Research and Practice*, 8(1), 11–18. <https://doi.org/10.3104/reports.124>
- Guralnick, M. J. (2010). Early intervention approaches to enhance the peer-related social competence of young children with developmental delays: A historical perspective [GS Search]. *Infants & Young Children*, 23(2), 73–83. <https://doi.org/10.1097/IYC.0b013e3181d22e14>
- Haro, B. P. M., Santana, P. C., & Magaña, M. A. (2012). Developing reading skills in children with Down syndrome through tangible interfaces [GS Search]. *Proceedings of the 4th Mexican Conference on Human-Computer Interaction*, 28–34. <https://doi.org/10.1145/2382176.2382183>
- Jadan-Guerrero, J., Jaen, J., Carpio, M. A., & Guerrero, L. A. (2015). Kiteracy: a kit of tangible objects to strengthen literacy skills in children with Down syndrome [GS Search]. *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*, 315–318. <https://doi.org/10.1145/2771839.2771905>
- Jarrold, C., & Baddeley, A. D. (2001). Short-term memory in Down syndrome: Applying the working memory model [GS Search]. *Down Syndrome Research and Practice*, 7(1), 17–23. <https://library.down-syndrome.org/en-gb/research-practice/07/1/short-term-memory-down-syndrome-applying-working-memory-model/>
- Jobling, A. (1998). Motor Development in School-Aged Children With Down Syndrome: a longitudinal perspective [GS Search]. *International Journal of Disability, Development and Education*, 45(3), 283–293. <https://doi.org/10.1080/1034912980450304>
- Jurgina, L. Q., Aquini, L. G., de Aguiar, M. S., da Rosa, L. S., Lopes, J. P., Mackedanz, T. D., Klein, A. I., Primo, T. T., & Iankowski, R. S. (2024). Neuroplasticity-based literacy rescue: a multisensory and tangible learning methodology for children at risk [GS Search]. *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/EDUCON58779.2024.10579404>
- Jurgina, L. Q., Medeiros, E. P., Mackedanz, T. D., Lopes, J. P., Aquini, L. G., Moreira, F., da Rosa Júnior, L. S., & Primo, T. T. (2024). Interação tangível: avaliação da usabilidade de uma ferramenta educacional tangível sob a perspectiva de crianças e jovens com síndrome de Down [GS Search]. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 1181–1192. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.242259>
- Kay-Raining Bird, E., Cleave, P. L., White, D., Pike, H., & Helmkey, A. (2008). Written and Oral Narratives of Children and Adolescents With Down Syndrome [GS Search]. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(2), 436–450. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/032\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/032))
- Krasniqi, V., Zdravkova, K., & Dalipi, F. (2022). Impact of assistive technologies to inclusive education and independent life of Down syndrome persons: a systematic literature review and research agenda. *Sustainability*, 14(8), 4630. <https://doi.org/10.3390/su14084630>

- Kumin, L., Lazar, J., Feng, J. H., Wentz, B., & Ekedebe, N. (2012). A usability evaluation of workplace-related tasks on a multi-touch tablet computer by adults with Down syndrome [GS Search]. *Journal of Usability Studies*, 7(4), 118–142.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data [GS Search]. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Medeiros, E. P., Mackedanz, T. D., Aquini, L. G., Jurgina, L. Q., Primo, T. T., & da Rosa Júnior, L. S. (2024). Explorando interfaces tangíveis no processo de alfabetização: uma revisão sistemática da literatura [GS Search]. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, 1222–1233. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.242413>
- Ministério da Educação. (2008). Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva [Acesso em: 15 abr. 2025]. <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducspecial.pdf>
- Miot, H. A. (2016). Análise de concordância em estudos clínicos e experimentais [GS Search]. *Jornal Vascular Brasileiro*, 15(2), 89–92. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.004216>
- Næss, K.-A. B., Lyster, S.-A. H., Hulme, C., & Melby-Lervåg, M. (2011). Language and verbal short-term memory skills in children with Down syndrome: A meta-analytic review [GS Search]. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2225–2234. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.05.014>
- Oliveira, L. N. d. S. d., Oliveira, M. E. S. d., Campos de Carvalho, M. B., Ferreira da Silva, J., & Oliveira, R. S. (2025). A (neuro)diversidade na escola contemporânea: reflexões sobre práticas pedagógicas inclusivas e seus desafios [GS Search]. *Revista Semiárido De Visu*, 13(1), 58–70. <https://doi.org/10.31416/rsdv.v13i1.1351>
- Pinheiro, A. G. P., Sousa, R. R. d., & Segundo, F. C. G. d. S. (2020). Um jogo sério para auxiliar pessoas com síndrome de Down no desenvolvimento da motricidade fina das mãos / A serious game to help people with Down syndrome in the development of fine hand motricity [GS Search]. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 30630–30649. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-501>
- Pöttker, L. M. V., & Camargo, E. S. (2023). Usabilidade de uma tecnologia assistiva para crianças com Síndrome de Down: análise baseada nas heurísticas de Nielsen [GS Search]. *Anais do IV Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET)*.
- Soares, M. (2004). Letramento e alfabetização: as muitas facetas [GS Search]. *Revista Brasileira de Educação*, 9(25), 5–17. Recuperado março 28, 2025, de https://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782004000100002
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology [GS Search]. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>