

DISPOSITIVO TANGÍVEL MULTISSENSORIAL PARA SUPORTE A ALFABETIZAÇÃO: ZEPHYR COMO FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO

JOÃO PEDRO CASSEL VALENTE¹; ANTONIO GABRIEL MAIA FICKEL²;
LAURA QUEVEDO JURGINA³;
LEOMAR SOARES DA ROSA JUNIOR⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – jpcvalente@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – agmfickel@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – lqjurgina@inf.ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – leomarjr@inf.ufpel.edu.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

O Alfaba é um dispositivo tangível voltado à alfabetização infantil, pensado para atender crianças com dificuldades de aprendizagem. Seu funcionamento se baseia na manipulação de peças físicas representando letras, que a criança organiza sobre uma base própria para formar palavras, recebendo indicações luminosas e sonoras conforme constroi a composição de uma palavra (Jurgina, Sanchoene e Primo, 2024).

Estruturalmente, o dispositivo reúne três partes principais: o conjunto de letras, um invólucro responsável pelas interações (contendo todo o conjunto de componentes encarregados pela entrada e saída de respostas de maneira tangível e multisensorial, como por exemplo: botões, tela e slots de letra) e um módulo eletrônico interno dedicado ao processamento das informações correspondentes. É esse módulo eletrônico, e o firmware que o controla, que sustenta toda a lógica de reconhecimento e resposta do sistema.

Durante o período coberto por este trabalho, esse módulo eletrônico passou por uma reformulação expressiva. O *firmware* anterior do dispositivo, herdado desde as primeiras versões do projeto, foi substituído por uma nova base construída sobre o *Zephyr*, um sistema operacional de tempo real usado em projetos embarcados de diversas áreas (The Zephyr Project, 2026).

Diante de soluções educacionais tradicionais, que costumam se limitar a aplicativos de tela, o Alfaba destaca-se por fazer uso de manipulação física e por reunir múltiplos estímulos sensoriais num único objeto. O uso pretendido é escolar, tanto em atendimentos individuais quanto em atividades conduzidas por professores. Atualmente, o protótipo funciona em ambiente controlado de laboratório, o que o torna, por definição, um projeto de TRL 4 (NASA, 2023), com a nova base de firmware operacional sobre o hardware atualizado.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O Alfaba se destina a estudantes em fase de alfabetização de escolas da rede pública e privada, bem como a profissionais da educação que atuam com crianças em processo de alfabetização. O público final é composto por crianças em idade escolar, enquanto professores e membros das equipes pedagógicas atuam como mediadores no uso do dispositivo em sala de aula ou em casos de atendimentos individuais.

A necessidade que o dispositivo busca atender está ligada à escassez, no mercado brasileiro, de ferramentas tangíveis e sensoriais voltadas ao processo de alfabetização, especialmente formuladas para crianças que enfrentam dificuldades de aprendizagem. O uso pretendido ocorre em ambiente escolar, seja em salas de recursos ou em atividades conduzidas por professores durante o período regular de ensino.

Hoje, o problema é parcialmente atendido por duas categorias distintas de solução. A primeira reúne aplicativos e softwares educacionais voltados à alfabetização, geralmente baseados em telas e sem componente físico manipulável. A segunda reúne iniciativas internacionais que exploram interfaces tangíveis para ensino de leitura, como o PhonoBlocks (Fan et al., 2018), sistema canadense que usa letras físicas conectadas a componentes eletrônicos para reforçar a associação entre som e escrita, voltado ao ensino de inglês para crianças falantes de mandarim. Não há uma solução nacional equivalente que combine interface tangível e estímulos sensoriais em um único produto com foco no processo de alfabetização.

Em relação a essa segunda categoria, a diferença percebida está no fato de o Alfaba ter sido concebido e desenvolvido dentro do contexto educacional brasileiro, com atenção às particularidades do idioma português e à realidade de escolas públicas nacionais (Jurgina et al, 2024), enquanto projetos como o PhonoBlocks foram criados para outro idioma e contexto escolar que difere de maneira notável do que se possui em países em desenvolvimento.

O projeto se encontra em estágio de desenvolvimento, ainda demonstrando necessidade de validação técnica mais extensiva. Da mesma forma, ainda não foi estruturado um plano de licenciamento, mas essa possibilidade é considerada como direção futura do projeto, caso o protótipo avance para estágios mais próximos da comercialização.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Nas versões anteriores do Alfaba, incluindo o primeiro protótipo do projeto, o dispositivo era construído sobre placas de desenvolvimento Arduino, com firmware escrito de forma direta seguindo o modelo de programação "*bare-metal*". Na versão mais recente do hardware, houve a substituição da placa por um microcontrolador ESP32-S3, mas o código embarcado manteve, inicialmente, a mesma base herdada das versões anteriores. Essa manutenção do código legado sobre um novo hardware gerava um menor aproveitamento do potencial de processamento oferecido pelo novo microcontrolador.

Diante disso, cogitou-se inicialmente migrar o firmware para um framework de desenvolvimento dedicado ao próprio fabricante do microcontrolador. Optou-se, no entanto, por uma reformulação mais profunda da arquitetura de software, adotando o Zephyr como novo sistema operacional de tempo real para o projeto. Essa escolha envolve abandonar o modelo de programação usado anteriormente em favor de um modelo mais estruturado e abstraido, característico da forma como o Zephyr organiza o acesso a hardware.

A urgência dessa reformulação foi reforçada por um problema identificado nas placas mais recentes do Alfaba, elas não funcionavam corretamente com o código legado, ao contrário das placas de versões anteriores, que operavam normalmente com essa mesma base de código antiga. Essa incompatibilidade tornou a modernização do firmware uma condição necessária para que as novas placas do dispositivo pudessem ser utilizadas.

O trabalho conduzido durante este período consistiu principalmente na migração, refatoração e reimplementação de funcionalidades do firmware dentro da nova arquitetura baseada em Zephyr, convertendo a lógica do código legado para o paradigma desse novo sistema operacional. Paralelamente a esse processo, foram identificadas e corrigidas falhas de hardware presentes nos sistemas mais novos, que não haviam sido percebidas anteriormente porque o código legado nunca havia explorado o hardware em seu potencial completo.

Como parte da nova arquitetura, foi desenvolvido o suporte funcional aos leitores de identificação por radiofrequência, permitindo que o firmware reconhecesse as letras posicionadas pela criança na plataforma do dispositivo.

Os testes conduzidos nesta etapa confirmaram que a comunicação com os dispositivos leitores foi verificada, a inicialização dos leitores foi validada, e a identificação das etiquetas de radiofrequência foi testada com sucesso dentro da nova base de firmware. Tornando-se assim um marco notável no desenvolvimento com uso do Zephyr.

A próxima etapa do pipeline de desenvolvimento previsto é a consolidação de um conjunto de unidades Alfaba operando de forma sólida e uniforme sob a nova arquitetura de firmware, condição considerada necessária antes do início de testes com usuários. Um risco técnico geral identificado nesta fase é a necessidade de validação mais ampla do consumo de energia e da estabilidade do sistema sob uso prolongado em múltiplas unidades, algo ainda não testado extensivamente.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Entre os resultados já alcançados neste período, destaca-se a conclusão da migração do firmware do Alfaba para a arquitetura baseada em Zephyr, superando a limitação anterior de incompatibilidade entre o código legado e as placas mais recentes do dispositivo. Também foi estruturada, dentro dessa nova base, a camada de suporte aos leitores de identificação por radiofrequência, com comunicação, inicialização e reconhecimento de etiquetas já validados em ambiente de bancada. Como consequência direta desse trabalho, o protótipo avançou de um estágio em que o hardware atual do dispositivo não operava de forma confiável para um estágio em que essa operação já ocorre de maneira estável.

Como resultados esperados para as próximas etapas, projeta-se a consolidação de um conjunto de unidades Alfaba operando de forma sólida e uniforme sob essa nova arquitetura, condição necessária antes do avanço para testes com usuários em ambientes escolares, servindo como validação da aplicação prática da nova arquitetura.

Em termos de impacto, o Alfaba busca ser uma ferramenta de suporte para educadores na busca de ampliar o acesso de crianças em processo de alfabetização, a uma ferramenta de apoio pedagógico que combine estímulos físicos e sensoriais, algo pouco disponível em soluções nacionais equivalentes. A modernização da base tecnológica do dispositivo, realizada nesta etapa, contribui diretamente para a viabilidade de longo prazo do projeto, tornando possível sustentar e expandir suas funcionalidades sobre um hardware atualizado. Espera-se, ainda, que essa reformulação técnica sirva de base para eventuais parcerias institucionais e para a continuidade do desenvolvimento do Alfaba em direção a versões voltadas ao uso em maior escala nas escolas.

5. CONCLUSÕES

No início desta etapa de desenvolvimento o Alfaba enfrentava uma limitação concreta: seu firmware, herdado de versões anteriores do projeto, não era compatível com a geração mais recente de hardware do dispositivo, o que impedia o funcionamento pleno das unidades já montadas. Diante desse cenário, a estratégia adotada foi abandonar a base de código legada e reconstruir a arquitetura de firmware sobre o *Zephyr*, um sistema operacional de tempo real, acompanhando essa mudança da integração dos leitores de identificação por radiofrequência ao sistema.

Como próxima etapa, o projeto seguirá em direção à consolidação de um conjunto de unidades Alfaba operando de maneira uniforme sob essa nova arquitetura, condição considerada necessária antes do início de testes com usuários. A continuidade do projeto nesta direção reforça seu potencial de amadurecimento técnico e sua trajetória rumo a etapas futuras de validação e, eventualmente, de transferência tecnológica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAN, M.; ANTLE, A. N.; HOSKYN, M.; NEUSTAEDTER, C. A design case study of a tangible system supporting young English language learners. **International Journal of Child-Computer Interaction**, Amsterdam, v.18, p.67-78, 2018.

JURGINA, L. Q.; SANCHOTENE DE AGUIAR, M.; THOMPSEN PRIMO, T. Alfaba: desenvolvimento de uma ferramenta multissensorial com interface tangível para o suporte à alfabetização de crianças com dislexia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**, 13., 2024, Rio de Janeiro. **Anais Estendidos do XIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2024)**. p.46-57.

JURGINA, L. Q.; AQUINI, L. G.; SANCHOTENE DE AGUIAR, M.; SOARES DA ROSA, L.; LOPES, J. P.; MACKEDANZ, T. D.; KLEIN, A. I.; THOMPSEN PRIMO, T.; IANKOWSKI SOARES, R. Neuroplasticity-based literacy rescue: a multisensory and tangible learning methodology for children at risk. In: **IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE**, 2024, Kos Island, Grécia. **Anais EDUCON 2024**. p.1-10.

THE ZEPHYR PROJECT. Zephyr Project Documentation. The Linux Foundation. Acessado em [27 mar.2026]. Online. Disponível em: <https://docs.zephyrproject.org>

NASA. Technology Readiness Levels. Space Communications and Navigation Program. Acessado em [08 set.2026]. Online. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>