

Adaptação Digital de Jogo de Coordenação Bimanual: Uma Abordagem Ciberfísica

Camila Rossignatti Deumontie
dos Santos
camila.rossignatti@grad.ufsc.br
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Hebert Alan Kubis
hebertkubis15@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Lucas Tavares
lucas.tavares21@gmail.com
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Anelize Zomkowski Salvi
anelize.salvi@ufsc.br
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Benjamin Grando Moreira
benjamin.grando@ufsc.br
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Joinville, Santa Catarina, Brasil

ABSTRACT

This work presents the development and validation of an interactive cyber-physical system aimed at stimulating bimanual motor coordination. The proposed solution digitizes a traditional manual board game in order to overcome limitations such as the absence of immediate feedback and the lack of progress metrics. The methodology was based on the prototyping of a cyber-physical system using ESP32 microcontrollers, the ESP-NOW protocol, and capacitive sensors, integrated into a gamified narrative. Experiments conducted with a convenience sample validated the prototype's operation, achieving a 90% acceptance rate in terms of engagement. However, usability challenges related to tactile and visual feedback were identified and are discussed as guidelines for future work.

KEYWORDS

Sistemas Ciberfísicos, Gamificação, Psicomotricidade, Interação Humano-Computador

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de habilidades psicomotoras na infância é fundamental para o sucesso cognitivo e escolar. Ferramentas lúdicas que estimulam a coordenação bimanual e a atenção seletiva têm sido amplamente utilizadas em terapias e salas de aula [1]. No entanto, métodos tradicionais analógicos carecem de interatividade autônoma e registro de dados.

A hipótese deste trabalho é que a transposição de um exercício motor manual para um sistema ciberfísico tangível aumenta o engajamento do usuário, reduz a dependência de mediação externa e permite a coleta sistemática de dados de desempenho.

O objetivo deste artigo é descrever a arquitetura, construção e validação de um protótipo ciberfísico funcional, que integra hardware e software gamificado. O software é executado em um computador convencional, aproveitando recursos de processamento e multimídia, enquanto o hardware é um dispositivo próprio, criado para o estudo.

O sistema é direcionado a crianças em idade de educação infantil, em contextos educacionais e terapêuticos, com foco no desenvolvimento da coordenação bimanual, atenção seletiva e associação

cognitivo-numérica. Neste artigo, entretanto, a avaliação foi apenas conduzida com adultos, com o objetivo de validar tecnicamente e heurísticamente a solução antes de sua aplicação com o público-alvo final.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta conceitos base e trabalhos relacionados. A Seção 3 detalha a solução proposta (hardware e software). A Seção 4 descreve a metodologia experimental. A Seção 5 discute os resultados obtidos e a Seção 6 apresenta as conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção contextualiza as técnicas utilizadas e analisa a solução manual que serviu de base para este projeto.

2.1 Background Teórico

A Gamificação é definida como o uso de elementos de jogos em contextos não-lúdicos para aumentar a motivação [3]. Neste projeto, ela é aplicada para transformar exercícios repetitivos de coordenação em missões narrativas.

Tecnicamente, o projeto utiliza o conceito de Computação Física, onde a interação ocorre através de objetos tangíveis. A tecnologia de sensores capacitivos é frequentemente adotada em interfaces acessíveis para substituir botões mecânicos, visando acessibilidade para crianças com baixo tônus muscular.

2.2 O Jogo Manual de Referência

A base conceitual para este trabalho fundamenta-se em uma atividade psicomotora manual popularmente utilizada na educação infantil para treino de coordenação fina e pareamento de padrões. Para fins de modelagem e comparação, utilizou-se como referência específica a demonstração realizada em [2], conforme ilustrado na Figura 1.

O jogo consiste da pessoa revelar duas cartas (uma para esquerda e outra para direita), sendo que cada carta contém uma representação numérica e uma cor. Dois tabuleiros apresentam uma matriz que correlaciona cor e valor, sendo que o jogador deve apontar na matriz o correspondente de cada carta.

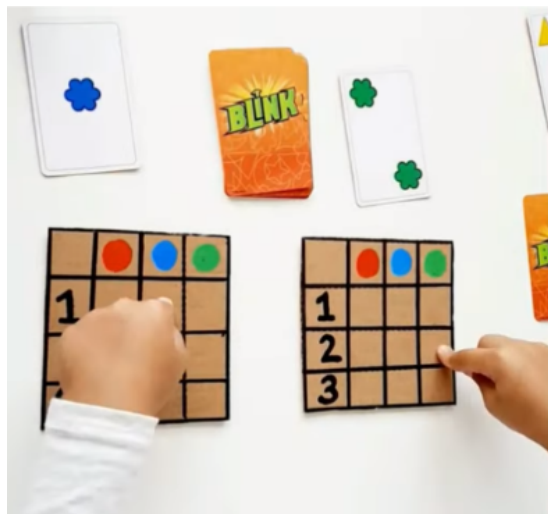


Figura 1: Jogo manual de referência: atividade de pareamento demonstrada em vídeo. Fonte: Adaptado de Coelho [2].

Embora pedagogicamente eficaz, a execução manual desta atividade pode ser potencializada, sendo identificadas as seguintes limitações que motivaram a digitalização:

- **Dependência de Mediação:** A criança não sabe se acertou sem a confirmação constante de um tutor;
- **Ausência de Métricas:** Não há registro preciso de tempo de reação ou evolução da taxa de erros ao longo das sessões; e
- **Estático:** As peças (tampinhas ou papéis) não oferecem feedback sensorial ativo (luz ou som) ao toque.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Para superar as limitações identificadas (apresentadas ao final da fundamentação teórica), propõe-se um sistema ciberfísico. A solução combina tabuleiros eletrônicos sem fio com uma aplicação desktop interativa.

3.1 Arquitetura do Sistema

O sistema adota uma topologia *Mestre-Escravo* para garantir a comunicação entre os dois tabuleiros (mão esquerda e mão direita) e o computador. Embora fisicamente idênticos, um dos tabuleiros (escravo) manda seus dados para o outro (mestre), sendo então juntadas as interações para envio único (da parte do mestre) para o computador. Sendo assim, a arquitetura do sistema é composta por:

- (1) **Camada Física:** Tabuleiros fabricados em **polímero termoplástico** via impressão 3D, contendo matrizes de sensores capacitivos (CJMCU-1010) e LEDs RGB.
- (2) **Camada de Rede:** Utiliza o protocolo **ESP-NOW** (2.4GHz) para comunicação direta entre os microcontroladores ESP32, garantindo baixa latência (<10ms) e independência de infraestrutura Wi-Fi.
- (3) **Camada de Aplicação:** Software em Python (Pygame) que gerencia a lógica do jogo, a narrativa e o feedback audiovisual.

3.2 Design e Construção do Hardware

O hardware foi projetado com foco na ergonomia e portabilidade. A Figura 2 apresenta um modelo 3D, mostrando posição de sensores de toque, LEDs e o microcontrolador (que fica na parte interna do envólucro).

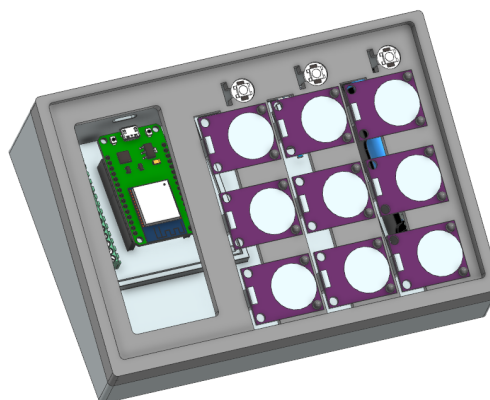


Figura 2: Projeto 3D do dispositivo desenvolvido.

Apenas para fins de entendimento da complexidade de montagem, a Figura 3 apresenta uma foto do envólucro aberto e componentes conectados.

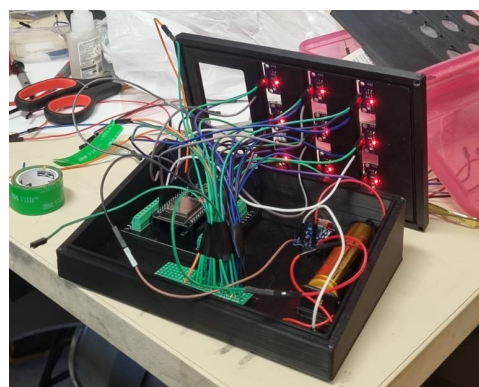


Figura 3: Parte interna do dispositivo desenvolvido, com componentes conectados.

3.3 Narrativa e Mecânica

Para engajar o jogador, os comandos abstratos do jogo de referência ("cor vermelha e número 2") foram traduzidos para uma narrativa contextualizada no jogo digital (entregar 2 maçãs para alimentar um animal). O jogo guia o usuário por fases de dificuldade progressiva, monitoradas pelos tutores virtuais Liz e Ben.

As interações realizadas pelo jogador são armazenadas para posterior análise, sendo capturado, além dos acertos e erros: o tempo decorrido para indicar a resposta do lado esquerdo e do lado direito; e também possíveis trocas de opção indicadas (por exemplo, indicou o três vermelho, mas depois trocou para o dois vermelho).

4 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para avaliar a eficácia da solução proposta, foi conduzido um experimento de validação técnica e de usabilidade em cenário real, embora não aplicado ao público-alvo. Estudos sobre design e avaliação de sistemas interativos recomendam a realização de avaliações iterativas de protótipos e testes de usabilidade preliminares como etapa fundamental do desenvolvimento, para identificar problemas de interação antes da aplicação com o público-alvo final [7].

O experimento seguiu um protocolo de três etapas consecutivas:

- (1) **Instrução (Briefing):** Apresentação breve da narrativa e dos controles básicos.
- (2) **Interação Livre:** O participante jogou o nível Tutorial seguido pelo nível “Desafio das Cores”.
- (3) **Coleta de Dados (Debriefing):** Aplicação de questionário estruturado (Google Forms) para dados quantitativos, seguida de algumas entrevistas semiestruturadas para captar percepções subjetivas.

O estudo contou com uma amostra de conveniência de 10 voluntários, composta por discentes e docentes de uma instituição de ensino universitário. A escolha deste perfil visou realizar uma validação técnica e heurística do sistema antes da aplicação futura com o público-alvo. A Figura 4 apresenta uma fotografia de uma aplicação.



Figura 4: Experimento realizado: usuário interagindo com o sistema.

4.1 Resultados e Discussão

Os dados coletados foram analisados sob as perspectivas quantitativa (aceitação) e qualitativa (usabilidade).

Na análise quantitativa, os resultados indicam uma alta aceitação da proposta de gamificação:

- **Atratividade:** 100% dos participantes avaliaram a estética e a narrativa com nota máxima (5/5).
- **Engajamento:** 90% relataram alto nível de imersão (“Flow”), esquecendo da passagem do tempo.
- **Retenção:** 70% manifestaram interesse imediato em jogar novamente.

A análise qualitativa, derivada das entrevistas semiestruturadas, revelou desafios técnicos importantes na interação humano-máquina:

- **O Paradigma da Força:** cerca de 40% dos usuários aplicaram força excessiva ao tocar nos sensores capacitivos. A análise indicou que isso ocorre devido à ausência de feedback tátil (clique) ou sonoro imediato. Em interfaces capacitivas para jogos rápidos, o feedback audiovisual deve ter latência próxima de zero para confirmar a ação ao cérebro do usuário antes que ele aplique mais força muscular.
- **Dissonância Visual (LEDs):** foi observada confusão cognitiva quando a cor do LED físico não correspondia à cor do objeto virtual (devido a uma limitação temporária de sincronia no firmware). Isso confirma a importância do princípio da Coerência Visual em sistemas ciberfísicos educacionais.
- **Visibilidade do Status:** os usuários relataram dificuldade em estimar o progresso da fase (“quanto falta?”). Isso aponta para a necessidade de implementar uma barra de progresso (HUD) mais evidente na interface gráfica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o ciclo completo de desenvolvimento de um jogo ciberfísico. A solução proposta atingiu o objetivo de modernizar a prática psicomotora, oferecendo uma ferramenta mais autônoma e engajadora que o método manual tradicional.

Os experimentos confirmaram a viabilidade técnica da arquitetura ESP-NOW e a aceitação da narrativa (90% de aprovação). Como limitações, identificou-se a necessidade de refinamento no feedback multisensorial (áudio e luz) para melhorar a usabilidade dos sensores capacitivos.

Embora os resultados não possam ser generalizados diretamente para crianças, eles fornecem evidências iniciais de viabilidade técnica e indicam ajustes necessários antes de estudos com o público-alvo final.

Trabalhos futuros incluem a implementação de um módulo de *Data Logging* para gerar relatórios de acompanhamento educacional e clínico de forma individualizada, e a migração do circuito para uma PCB industrializada.

REFERÊNCIAS

- [1] Gomes, C. M. S. (2018). A Importância da Psicometricidade na Educação Infantil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, vol. 08, pp. 91–100.
- [2] Coelho, A. B. (2023). *Atividade de Coordenação Motora e Cores*. [Vídeo]. YouTube. Disponível em: <https://youtube.com/shorts/Pn2Jv4fzSE>.
- [3] Alves, L. (2015). *Gamification: Como criar experiências de aprendizagem engajadoras*. São Paulo: DVS Editora.
- [4] Pygame Developers. (2025). *Pygame Documentation*. [Online]. Disponível em: <https://www.pygame.org/docs/>.
- [5] Espressif Systems. (2025). *ESP-NOW API Reference*. [Online]. Disponível em: <https://docs.espressif.com>.
- [6] Savi, R. et al. (2010). Proposta de um Modelo de Avaliação de Jogos Educacionais. In: *Renote: Novas Tecnologias na Educação*, vol. 8, n. 3. CINTED-UFRGS.
- [7] Y. Rogers, H. Sharp, and J. Preece. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. 6th ed. John Wiley & Sons, 2023. ISBN: 9781119901099.