

Coleta de Dados em Jogos Educacionais: Um Estudo de Caso a Partir de Três Jogos com Interfaces Físicas

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

ABSTRACT

This work investigates the unexplored potential of data collection in educational games that utilize physical interfaces. By analyzing three educational game proposals published at the Brazilian Congress on Informatics in Education (CBIE) in 2024, we explore how interaction with these devices can generate valuable information beyond their primary educational objectives. We discuss the type of data that could be captured and its potential uses for individualized pedagogical diagnoses, identification of learning difficulties, and the early detection of signs associated with neurodevelopmental and mental health conditions.

KEYWORDS

Jogos Educacionais, Interfaces Físicas, Interfaces Tangíveis, Coleta de Dados Comportamentais.

1 INTRODUÇÃO

A gamificação e o uso de tecnologias interativas têm transformado o cenário educacional, oferecendo novas abordagens para o engajamento e a aprendizagem. Em particular, jogos educacionais que integram interfaces físicas apresentam um potencial único para proporcionar experiências imersivas e multissensoriais.

Este trabalho analisa três propostas de jogos educacionais com interfaces físicas, todas publicadas no Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE) de 2024: “Uer?” [1], “Letra-a-Letra” [2] e “Ábaco encantado” [3]. A análise foca no potencial de captação de dados que essas interfaces não convencionais oferecem para investigações posteriores.

O “Uer?” é um jogo educacional para o ensino de geografia e cultura brasileira, integrando componentes físicos e digitais. Consiste em um tabuleiro físico interativo, com botões no formato dos estados brasileiros e LEDs, que se comunica via *Bluetooth* com um aplicativo para *smartphones*. Os jogadores respondem a perguntas sobre os estados pressionando o respectivo botão no tabuleiro. O aplicativo exibe perguntas, conteúdos multimídia e sinaliza acertos e erros, gerenciando uma dinâmica que inclui grupos de assuntos, fases desafio e um sistema de pontos e ranqueamento.

O “Letra-a-letra” auxilia na alfabetização infantil, promovendo o conhecimento da língua portuguesa e o trabalho em equipe. Nele, duas crianças cooperam para completar palavras, manipulando letras com um controle de *hardware* personalizado que integra *joystick*, sensor *RFID* e *encoder*. O jogo digital é executado em um computador conectado a este controle. Além da alfabetização, a experiência colaborativa visa incentivar habilidades socioemocionais.

O “Ábaco Encantado” integra um ábaco físico com tecnologia de Visão Computacional (VC). Os jogadores resolvem operações matemáticas apresentadas na tela, manipulando as peças do ábaco,

promovendo uma experiência lúdica que estimula o raciocínio e a interação física.

Embora o foco primário desses jogos seja a promoção do aprendizado de conteúdo específico, o potencial inerente à interação com suas interfaces para a coleta de dados comportamentais e cognitivos muitas vezes permanece inexplorado. A análise sistemática desses dados pode, contudo, oferecer percepções valiosas para a personalização do ensino e o diagnóstico de dificuldades de aprendizagem.

Este trabalho elenca os dados que poderiam ser capturados a partir das interfaces propostas, embora os artigos originais não demonstrem essa coleta, visto não ser seu objetivo primário. Discutem-se, ainda, possíveis usos para esses dados que extrapolam os fins educacionais originais, abrangendo diagnósticos de saúde.

É importante destacar que os jogos analisados não coletam dados pessoais ou de identificação dos jogadores. Apenas o “Uer?” permite a diferenciação entre usuários. No entanto, para os fins deste estudo, considera-se a hipótese de um acompanhamento individualizado do jogador.

Este trabalho, portanto, explora as capturas de dados potenciais, ampliando a relevância desses jogos ao agregar novos elementos analíticos. A análise demonstra a importância de se considerar a coleta de dados comportamentais e de interação como um elemento intrínseco ao *design* de jogos educacionais com interfaces físicas (embora parte das discussões se aplique a jogos puramente digitais), abrindo novas perspectivas de pesquisa.

Após esta introdução, a Seção 2 aprofunda a importância da coleta de dados em jogos educacionais. A Seção 3 apresenta a análise detalhada de cada jogo e os dados passíveis de coleta. A Seção 4 discute as barreiras práticas de implementação dessas coletas. Finalmente, a Conclusão sumariza os achados e aponta direções futuras.

2 COLETA DE DADOS POR JOGOS EDUCACIONAIS

A obtenção de dados é um aspecto central na pesquisa e desenvolvimento de jogos educacionais. Dados robustos possibilitam avaliações sistemáticas do desempenho dos estudantes e, conforme destacado por [4], a análise da interação do usuário permite adaptar conteúdos, identificar dificuldades e rastrear o progresso dinamicamente, enriquecendo o processo educacional.

Outro ponto relevante é a avaliação das múltiplas dimensões envolvidas, indo além da aprendizagem de conteúdos. Segundo [5], a análise de dados permite identificar aspectos que influenciam a experiência do usuário (*user experience*), como fatores motivacionais e emocionais, garantindo que o jogo seja não só eficaz, mas também envolvente.

Além da personalização do ensino e da avaliação de múltiplos aspectos, a obtenção de dados em jogos digitais apoia a pesquisa interdisciplinar. Tais dados podem ser utilizados para diagnósticos precoces de dificuldades de aprendizagem e identificação de perfis comportamentais [6].

Recentemente, jogos educacionais destacam-se como potentes instrumentos para a coleta de dados diagnósticos. Eles são projetados para registrar sistematicamente o desempenho, as escolhas e os padrões de comportamento dos usuários. O uso dessas plataformas é relevante em contextos educacionais, onde os dados coletados auxiliam na identificação de lacunas de aprendizagem, dificuldades cognitivas e padrões de engajamento. Esse tipo de avaliação formativa contribui para intervenções pedagógicas mais eficazes e individualizadas [7].

Além do diagnóstico educacional, jogos digitais vêm sendo utilizados para coletar dados com o objetivo de identificar condições de saúde e saúde mental. Existem, por exemplo, jogos para detecção de sintomas de Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), analisando aspectos como atenção sustentada e impulsividade. Ferramentas baseadas em Realidade Virtual (RV) e Inteligência Artificial (IA) podem coletar dados detalhados do usuário e alimentar modelos de *machine learning* capazes de diferenciar traços comportamentais típicos e atípicos [8].

Outro aspecto importante é a capacidade dos jogos de coletar dados *in loco*, em ambientes controlados e engajadores, muitas vezes sem despertar resistência por parte dos avaliados. Isso permite maior naturalidade nas respostas, fornecendo informações mais autênticas. Estudos também mostram que jogos *multiplayer* podem ser utilizados simultaneamente como intervenção e como ferramenta de monitoramento da saúde mental, coletando dados sobre colaboração, tomada de decisão e relações sociais, fatores fundamentais para diagnósticos precoces com foco em bem-estar psicológico [9].

3 ANÁLISE DOS JOGOS

Esta seção detalha as características de cada um dos jogos analisados e explora os tipos de dados que poderiam ser extraídos de suas interfaces não convencionais. O objetivo é elencar e discutir como esses dados, embora não sejam o foco primário dos projetos originais, podem ser aproveitados para análises posteriores, expandindo a utilidade dessas ferramentas.

As análises são realizadas para cada jogo, sendo apresentado inicialmente uma análise com detalhes, seguida de um resumo da análise.

3.1 Uer?

O "Uer?" combina um tabuleiro físico interativo e um aplicativo digital. O dado coletado é a resposta do jogador (estado pressionado), armazenando acertos e erros. Ao concluir um grupo de assuntos, é liberada uma "fase desafio". Esta fase possui um sistema de tempo dinâmico: erros subtraem tempo, enquanto acertos adicionam. O jogador deve responder 20 questões antes que o tempo expire. Essa dinâmica já demonstra a coleta de dados sobre tempo, acertos e erros.

A presença de um sistema de ranqueamento sugere que algum tipo de identificação de jogador (mesmo que um ID interno ou

nickname) é utilizada, embora demais dados de identificação não sejam indicados.

A seguir são elencados dados a mais que poderiam ser coletados no jogo, com a justificativa de sua utilidade:

- (1) Registrar o tempo que o jogador leva para responder a cada pergunta individualmente: revelaria quais perguntas ou tópicos são mais desafiadores, indicando áreas onde os jogadores têm mais dificuldade ou precisam de mais tempo para pensar. Um tempo de resposta muito rápido para uma pergunta errada pode sugerir um "chute", enquanto um tempo muito longo pode indicar incerteza mesmo para a resposta correta.
- (2) Registrar quais estados foram pressionados incorretamente: ajuda a identificar equívocos comuns. Por exemplo, se muitos jogadores confundem o estado de "São Paulo" com "Minas Gerais", isso pode indicar uma área específica para reforço educacional.
- (3) Rastrear o desempenho de um jogador ao longo de múltiplas sessões: permite verificar a retenção do conhecimento ao longo do tempo. Um jogador pode ter acertado uma questão em uma sessão, mas errá-la na próxima. Isso indicaria a necessidade de revisão de conceitos ou de espaçamento da repetição.
- (4) Registrar por quanto tempo um jogador mantém um botão de estado pressionado: pode indicar o nível de certeza ou hesitação do jogador. Um pressionamento rápido pode sugerir confiança na resposta, enquanto um pressionamento prolongado pode indicar dúvida, reflexão.
- (5) Medir a força com que o botão é pressionado: poderia ser um indicador emocional ou de engajamento físico. Pressionamentos muito fortes poderiam sinalizar frustração, excitação ou determinação, enquanto pressionamentos muito leves poderiam indicar falta de confiança ou desinteresse.

Os três primeiros itens poderiam ser utilizados em um jogo totalmente digital, sem a interface física apresentada. Os dois últimos itens são possíveis em decorrência da interface proposta. Para o item 4 nenhuma mudança no hardware é necessária, uma vez que o microcontrolador ESP32 pode iniciar um cronômetro quando detecta que um botão foi pressionado (evento de down) e pará-lo quando o botão é liberado (evento de up). O item 5 requer a integração de sensores de força resistivos (FSRs) ou células de carga sob cada botão, o que exige uma alteração dispositivo.

Utilizando o tempo que o jogador leva para responder a cada pergunta é possível identificar estilos de aprendizado. Alguns jogadores podem preferir refletir antes de responder (tempo médio mais longo, com alta taxa de acerto), enquanto outros tendem a agir rapidamente (respostas rápidas, com mistura de acertos e erros). Essas variações podem ajudar a personalizar a abordagem de ensino. A diminuição gradual nos tempos de resposta ao longo de uma sessão (independentemente do desempenho) pode indicar cansaço ou um declínio no nível de engajamento. Respostas muito rápidas e frequentes com alta taxa de erro podem estar associadas à impulsividade, uma característica comum em pessoas com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) [10–12]. Jogadores que consistentemente pressionam estados "aleatórios" (sem conexão

lógica com a pergunta) podem demonstrar falta de foco ou atenção. Isso pode ocorrer em quadros de TDAH ou distração extrema causada por fatores externos ou internos.

Rastrear o desempenho ao longo de múltiplas sessões é uma funcionalidade particularmente útil para avaliar o progresso do aprendizado e também verificar se há retenção ou perda do conhecimento aprendido, o que pode ter implicações tanto no domínio pedagógico quanto na saúde cognitiva. Jogadores que repetidamente falham em tópicos já respondidos corretamente em sessões anteriores podem estar enfrentando dificuldades de retenção, que podem ser afetadas por condições como sobrecarga mental, ansiedade, ou até mesmo dificuldades de memória de longo prazo.

Um jogador que alterna entre ótimo desempenho e desempenho ruim de forma inconsistente pode estar lidando com questões externas, como falta de sono, estresse diário ou dificuldades emocionais [13, 14].

Uma variação significativa no tempo de pressão entre questões de temas diferentes pode indicar maior confiança em certas áreas da geografia/cultura brasileira e menor em outras. O aumento súbito e consistente no tempo de sustentação pode indicar aumento da ansiedade (hesitação excessiva por medo de errar) [15], dificuldade de concentração [15, 16], ou lentidão psicomotora devido a estresse ou fadiga [16, 17]. Tempos de sustentação consistentemente curtos com alta taxa de erros podem ser um sinal de impulsividade ou dificuldade em manter a atenção na pergunta por tempo suficiente para uma reflexão adequada, algo que pode estar presente em quadros de TDAH [10–12].

3.1.1 Resumo da análise. A Tabela 1 sumariza dados adicionais que poderiam ser coletados, suas justificativas e os requisitos de implementação.

A análise do tempo de resposta (Item 1) permite identificar estilos de aprendizado. A diminuição gradual nos tempos de resposta ao longo de uma sessão (independentemente do desempenho) pode indicar fadiga ou declínio no engajamento. Respostas muito rápidas e frequentes com alta taxa de erro (Item 1 e 2) podem estar associadas à impulsividade, uma característica comum em quadros de TDAH [10–12].

Rastrear o desempenho ao longo de múltiplas sessões (Item 3) é uma funcionalidade útil para avaliar o progresso e a retenção do conhecimento, com implicações pedagógicas e de saúde cognitiva. Falhas repetidas em tópicos já dominados podem indicar dificuldades de retenção, afetadas por sobrecarga mental, ansiedade ou dificuldades de memória de longo prazo.

Um jogador que alterna entre ótimo desempenho e desempenho ruim de forma inconsistente pode estar lidando com questões externas, como falta de sono, estresse diário ou dificuldades emocionais [13, 14].

Uma variação significativa no tempo de sustentação do botão (Item 4) entre temas pode indicar maior ou menor confiança. O aumento súbito no tempo de sustentação pode indicar ansiedade (hesitação excessiva), dificuldade de concentração [15, 16], ou lentidão psicomotora devido à fadiga [16, 17]. Tempos de sustentação consistentemente curtos com alta taxa de erros podem ser um sinal de impulsividade (Item 5), também observado em quadros de TDAH [10–12].

3.2 Letra-a-Letra

O jogo desenvolveu um dispositivo que utiliza 3 elementos principais no controle físico: joystick, encoder rotativo e RFID (Radio Frequency Identification). Como é um jogo colaborativo, dois desses dispositivos são necessários.

O joystick coleta dados de movimento em dois eixos: horizontal (eixo X) e vertical (eixo Y). Ele também captura as ações de pressionamento de um botão. Essas informações são utilizadas para controlar a movimentação dos personagens do jogador no cenário do jogo. O encoder rotativo coleta dados de movimento rotacional de seu eixo e é utilizado para que o jogador rotacione as letras no jogo. O dispositivo possui um leitor RFID que permite fazer a leitura de tags RFID. Sua função é ler a ID personalizada da tag RFID para modificar a cor das letras do jogo.

Sobre os dados de desempenho coletados, o jogo apenas registra se a palavra solicitada é corretamente completada e o tempo transcorrido para finalização. São dados adicionais que poderiam ser coletados do jogo, com a justificativa de sua utilidade:

- (1) Registrar tentativas incorretas na formação das palavras: poderia identificar o troca de letras (por exemplo, trocar “faca” por “vaca”), bem como erros na seleção da cor apropriada ou rotação correta da letra.
- (2) Monitorar quais letras e sílabas específicas causam mais acertos ou erros: revelariam dificuldades específicas com certas grafias, fonemas ou combinações de letras.
- (3) Comparar o tempo de resposta ao longo de múltiplas sessões: poderia mostrar a evolução da aprendizagem.
- (4) Registrar mais manipulações feitas nos controladores: a manipulação de um joystick e de um encoder rotativo exigem habilidades motoras específicas.
- (5) Coletar o áudio durante o jogo: como é um jogo colaborativo, seria interessante analisar a comunicação verbal entre os jogadores, podendo contabilizar a frequência de diálogos, tipos de comunicação (orientação, sugestão, questionamento, celebração), equilíbrio na participação (quem domina a comunicação ou é equitativo). Esse recurso oferece uma visão profunda de como a colaboração se manifesta e ajuda a confirmar se o jogo está, de fato, incentivando o trabalho em equipe e o desenvolvimento de habilidades socioemocionais como a empatia e a comunicação.

Os três primeiros itens poderiam ser utilizados em um jogo educacional com controles tradicionais (sem a interface física desenvolvida). O quarto item é possível em decorrência da interface proposta, enquanto o último item requer a inclusão da captação de áudio e recursos de software avançados.

Para captação de áudio, é preciso integrar um microfone em cada controle, sendo necessário avaliar se a captação seria precisa para diferenciar vozes e o quanto a qualidade pode ser afetada pelo ruído do manuseio do controle. Embora o ESP32 tenha ADCs (Conversores Analógico-Digitais) internos, para uma melhor qualidade de áudio e processamento eficiente de sinais de áudio, um chip codec de áudio externo com interface I2S (Inter-IC Sound) seria mais adequado. Ele se encarregaria da conversão analógico-digital de alta qualidade, pré-amplificação e, possivelmente, alguma filtragem de ruído.

Tabela 1: Propostas de coleta de dados para o jogo "Uer?"

Dado Proposto	Justificativa / Potencial de Análise	Requisito
1. Tempo de resposta (por pergunta)	Revelar dificuldade de tópicos; identificar "chutes".	software
2. Estados incorretos (registros)	Identificar equívocos conceituais comuns (ex: confusão de estados).	software
3. Desempenho multissessão	Verificar a retenção de conhecimento ao longo do tempo.	software
4. Tempo de sustentação do botão	Indicar nível de certeza/hesitação (confiança na resposta).	software
5. Força do pressionamento	Indicador emocional (frustração, excitação, desinteresse).	Hardware (Sensores FSR)

Para tratamento do áudio no jogo executado no computador, é preciso desenvolver um módulo de Reconhecimento Automático de Fala (ASR, ou em inglês STT - Speech-to-Text). Seria necessário integrar uma biblioteca de ASR que convertesse o áudio gravado em texto. Bibliotecas como Vosk¹ (baseado em Kaldi) ou modelos Whisper² da OpenAI (que podem ser executados localmente) são opções e sem dependência de internet (elemento importante para não compartilhar dados dos estudantes/jogadores), embora exijam um hardware de maior capacidade computacional para o processamento (que poderia ser feito offline em análise posterior da participação).

Ainda em relação ao tratamento de áudio, é preciso de um módulo de Processamento de Linguagem Natural (PLN). Seria necessário desenvolver:

- **Diarização de Falantes:** como são dois falantes, mesmo considerando cada um ter seu microfone, é importante identificar qual jogador falou o quê.
- **Contagem de Diálogos:** Contar o número de falas por jogador e o total, a frequência das interações.
- **Equilíbrio de Participação:** Calcular a proporção de fala de cada jogador.
- **Classificação de Intenção/Tipo de Comunicação:** utilizar técnicas de PNL para classificar as frases transcritas em categorias como: "orientação"(e.g., "Vá para a direita!", "Pega a letra A"), "sugestão"(e.g., "Que tal tentarmos essa cor?", "Acho que é a letra S"), "questionamento"(e.g., "Qual letra falta?", "Está certo?"), "celebração"(e.g., "Conseguimos!", "Boa!"), "frustração"(e.g., "Ah não!", "De novo?"), "discussão ou planejamento". Isso pode ser feito com regras baseadas em palavras-chave ou, de forma mais robusta, com modelos de aprendizado de máquina treinados.
- **Análise de Sentimento:** para captar o tom emocional da comunicação.

As potencialidades associadas ao jogo com a captação e tratamento do áudio apresentados são significativas, ao mesmo tempo que bastante complexas, mas com muito potencial de aplicação. Embora isso, devido à complexidade de desenvolver esse recurso, esse não será aprofundado neste artigo.

Em relação aos três primeiros itens, dificuldades com o conhecimento e troca de letras podem prejudicar o desenvolvimento da leitura, escrita e consciência fonológica, impactando negativamente

o desempenho escolar e a alfabetização [18]. Erros na seleção de cores ou rotação de letras podem dificultar a leitura, escrita e atenção, impactando negativamente o desempenho escolar, especialmente em pessoas com dificuldades de aprendizagem ou visão de cores. Dificuldades no desenvolvimento da nomeação e categorização das cores, que podem ser observadas em crianças pequenas devido à aquisição lenta e variável do vocabulário de cores [19]. Crianças com transtornos como TDAH podem apresentar déficits específicos na percepção e nomeação de cores, especialmente na distinção entre azul e amarelo, o que pode estar relacionado a alterações neurobiológicas [20].

Em crianças com dislexia, a rotação de letras está associada a déficits no processamento visual-espacial e na rotação mental, levando a respostas mais lentas e menos precisas em tarefas que envolvem letras, em comparação com crianças sem dificuldades de leitura [21, 22]. Além disso, a persistência desses erros após a idade esperada pode ser um indicativo de transtornos de aprendizagem, como dislexia ou disgrafia, e pode ser utilizada como critério diagnóstico em avaliações clínicas e escolares [21].

Em relação às potencialidades que podem ser extraídas de dados capturados da interface física atual, a análise dos dados de utilização do joystick e do encoder pode fornecer informações sobre as habilidades motoras, o planejamento de movimentos. Ao identificar padrões de movimentos erráticos, imprecisos, lentos ou excessivamente esforçados, o jogo pode atuar como uma triagem inicial, sinalizando a necessidade de uma avaliação mais aprofundada por especialistas para verificar se há alguma dificuldade de aprendizado ou aspecto de saúde que precise de atenção e suporte.

Dificuldades motoras podem indicar dispraxia (Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação - TDC), que pode se manifestar em movimentos descoordenados, desajeitados ou imprecisos [23, 24]. Também pode ser indicar algum atraso no desenvolvimento motor se essa performance motora é significativamente inferior ao esperado para a idade cronológica do jogador.

Em casos de tremores, ataxia ou outros distúrbios de movimento que afetem a coordenação e o controle muscular, isso pode ser um indicativo associado com condições neurológicas [25, 26].

E por fim, mais uma vez, elementos podem indicar TDAH, cuja impulsividade leva a movimentos bruscos, falta de precisão por desatenção, ou dificuldade em manter o foco na tarefa motora [27, 28].

3.2.1 Resumo da análise. A Tabela 2 elenca dados adicionais que poderiam ser coletados.

As potencialidades associadas à captação e tratamento de áudio (Item 5) são significativas, porém de alta complexidade. Para a

¹Site do recurso: <https://alphacephei.com/vosk/>

²Site do recurso: <https://openai.com/index/whisper/>

Tabela 2: Propostas de coleta de dados para o jogo “Letra-a-Letra”.

Dado Proposto	Justificativa / Potencial de Análise	Requisito
1. Tentativas incorretas (palavras)	Identificar trocas de letras (ex: “faca”/“vaca”), erros de cor/rotação.	software
2. Erros por letra/sílaba	Revelar dificuldades específicas com fonemas ou grafias.	software
3. Tempo de resposta multissessão	Mostrar a evolução da aprendizagem e fluência.	software
4. Padrões de manipulação (controles)	Analisar habilidades motoras, planejamento e coordenação.	software (Interface existente)
5. Coleta de áudio (diálogo)	Analisar a comunicação verbal, colaboração, equilíbrio de participação.	Hardware (Microfone) + software (ASR/PLN)

captação, seria preciso integrar um microfone em cada controle, possivelmente com um *chip codec* de áudio externo (via I2S) para garantir qualidade e filtragem de ruído.

Para o tratamento do áudio no computador, seria necessário um módulo de Reconhecimento Automático de Fala (ASR), como *Vosk*³ ou modelos *Whisper*⁴, que operam *offline* (preservando a privacidade), mas exigem *hardware* computacional mais robusto.

Adicionalmente, um módulo de Processamento de Linguagem Natural (PLN) seria necessário para desenvolver: diarização de falantes (identificar quem falou), contagem de diálogos, equilíbrio de participação e classificação de intenção (orientação, sugestão, frustração). Dada a complexidade, essa análise não será aprofundada neste artigo.

No que tange aos itens 1-3, dificuldades com a troca de letras podem prejudicar o desenvolvimento da leitura, escrita e consciência fonológica, impactando o desempenho escolar [18]. Erros na seleção de cores ou na rotação de letras podem dificultar a atenção e a leitura. Dificuldades na nomeação de cores podem ser observadas na aquisição lenta do vocabulário [19]. Crianças com TDAH, por exemplo, podem apresentar déficits específicos na percepção de cores [20].

Em crianças com dislexia, a rotação de letras está associada a déficits no processamento visual-espacial e na rotação mental [21, 22]. A persistência desses erros pode ser um indicativo de transtornos de aprendizagem, como dislexia ou disgrafia [21].

Quanto à interface física (Item 4), a análise dos dados do *joystick* e do *encoder* pode fornecer informações sobre habilidades motoras. Padrões erráticos, imprecisos ou lentos podem atuar como uma triagem inicial, sinalizando a necessidade de avaliação especializada. Dificuldades motoras podem indicar dispraxia (TDC) [23, 24], atraso no desenvolvimento motor, ou condições neurológicas [25, 26]. Adicionalmente, a impulsividade associada ao TDAH pode levar a movimentos bruscos e falta de precisão [27, 28].

3.3 Ábaco Encantado

O jogo “Ábaco Encantado” coleta principalmente dados visuais por meio de uma webcam para interpretar as respostas dos jogadores. A principal forma de coleta de dados no jogo ocorre quando o jogador finaliza a montagem da resposta no ábaco físico, ou quando o tempo

limite de 60 segundos se esgota. Para validar uma resolução feita pelo usuário no ábaco, o jogo captura uma imagem da webcam apontada para o ábaco e salva no computador. Esta imagem é então processada com Visão Computacional (VC) para identificar a configuração das peças no ábaco, retornando o valor representado no ábaco. Esses valores numéricos são comparados com a resposta correta da operação matemática apresentada para determinar se o jogador acertou ou errou. Em resumo, os dados coletados são as representações visuais das respostas dos usuários no ábaco, transformadas em dados numéricos para a validação do jogo (indicar acerto ou erro na operação solicitada).

A seguir são elencados dados a mais que poderiam ser coletados no jogo, com a justificativa de sua utilidade:

- (1) Registrar o tempo que o jogador leva para responder a cada operação: ajuda a identificar se o jogador está ficando mais rápido com a prática, ou se certas operações.
- (2) Registrar qual foi a resposta incorreta fornecida: permite identificar erros comuns, por exemplo, confusão entre dezenas e unidades.
- (3) Rastrear mudanças no ábaco antes da submissão final: registrar quantas vezes o jogador rearranja as peças antes de confirmar a resposta ou antes do tempo esgotar. Isso indicaria o nível de incerteza ou o processo de tentativa e erro do jogador.

Os dois primeiros itens são similares aos apresentados para o jogo “Uer” e poderiam ser utilizados sem a interface física do jogo. O terceiro item exigiria a captura periódica da webcam e seu processamento, mas sem demais inclusões.

Observar a diminuição gradual do tempo de resposta para operações do mesmo tipo ao longo das sessões indica que o jogador está desenvolvendo fluência e automatizando o cálculo, o que é um sinal positivo de aprendizado eficaz. Por outro lado, tempos consistentemente muito longos para certas operações podem indicar que o jogador ainda está em um estágio de contagem manual ou que tem dificuldade em acessar rapidamente os fatos matemáticos. Tempos de resposta excessivamente longos, acompanhados de sinais de hesitação ou múltiplas tentativas visíveis no ábaco (como discutido mais adiante), podem indicar ansiedade relacionada ao desempenho, onde o medo de errar paralisa o jogador.

Em relação ao item 2, registrar qual foi a resposta incorreta fornecida permite identificar padrões de erros. Por exemplo, se em

³Site do recurso: <https://alphacephei.com/vosk/>

⁴Site do recurso: <https://openai.com/index/whisper/>

somas ou subtrações envolvendo "vai um" ou "empresta", o jogador consistentemente erra a operação da casa adjacente, isso indica uma falha na compreensão do sistema de valor posicional ou da operação em si. A confusão entre dezenas e unidades é um erro clássico que este dado revelaria.

Se o jogador constantemente inverte números (ex: 6 em vez de 9) [29], ou aplica a operação errada (soma em vez de subtração), ou confunde a ordem de operações (em problemas complexos com parênteses, etc.) [30], isso mostra onde as intervenções pedagógicas devem ser direcionadas.

Erros persistentes e atípicos, como dificuldades severas com o senso numérico, recuperação de fatos matemáticos básicos ou problemas com o raciocínio numérico, que não melhoram significativamente com a instrução, poderiam (em conjunto com outras avaliações) ser sinais de discalculia, um transtorno específico de aprendizagem da matemática.

É importante destacar que estudos sugerem que a discalculia está associada a dificuldades persistentes em matemática e a um risco aumentado de outros transtornos mentais, como dislexia, TDAH, ansiedade e depressão [31, 32].

Se as respostas incorretas são consistentemente dadas muito rapidamente e sem aparente reflexão, isso pode indicar impulsividade, o que pode ser um sintoma de algumas condições de saúde mental ou neurodesenvolvimento.

Por fim, com o recurso do item 3, um número moderado de mudanças pode indicar que o jogador está explorando diferentes abordagens, verificando seus cálculos ou utilizando o ábaco como uma ferramenta de rascunho. Isso pode ser um sinal de pensamento crítico e estratégico. Um grande número de rearranjos antes da submissão final pode indicar incerteza, baixa autoconfiança na resposta, ou dificuldades em consolidar a solução. O jogador pode estar realizando múltiplas tentativas e erros.

Um número exagerado de rearranjos, mesmo para operações simples que o jogador deveria saber, pode indicar perfeccionismo ou ansiedade excessiva, onde o medo de errar leva a uma verificação compulsiva ou à incapacidade de finalizar a tarefa [33, 34]. Se o jogador realiza muitas mudanças sem um padrão lógico aparente e ainda assim chega a uma resposta incorreta, isso poderia levantar questões sobre habilidades de planejamento, organização ou funções executivas.

3.3.1 Resumo da análise. A Tabela 3 elenca dados adicionais que poderiam ser coletados e suas justificativas.

A diminuição gradual do tempo de resposta (Item 1) indica desenvolvimento de fluência. Tempos consistentemente longos podem indicar que o jogador ainda está em um estágio de contagem manual ou possui ansiedade relacionada ao desempenho.

O registro de respostas incorretas (Item 2) permite identificar padrões de erros. Falhas consistentes em operações que envolvem "vai um" ou "empresta" indicam dificuldades com o sistema de valor posicional. A confusão entre dezenas e unidades, a inversão de números [29], ou a aplicação da operação errada [30] direcionam as intervenções pedagógicas.

Erros persistentes e atípicos podem ser sinais de discalculia, um transtorno específico da matemática. Estudos sugerem que a discalculia está associada a um risco aumentado de outros transtornos,

como dislexia, TDAH, ansiedade e depressão [31, 32]. Respostas incorretas dadas muito rapidamente podem indicar impulsividade.

Com o recurso do item 3, um número moderado de mudanças no ábaco pode indicar exploração e pensamento estratégico. Um grande número de rearranjos, no entanto, pode sinalizar incerteza ou baixa autoconfiança. Um número exagerado de rearranjos, mesmo para operações simples, pode indicar perfeccionismo ou ansiedade excessiva [33, 34]. Mudanças sem padrão lógico aparente podem levantar questões sobre habilidades de planejamento ou funções executivas.

4 DISCUSSÃO: BARREIRAS DE IMPLEMENTAÇÃO E ALTERNATIVAS

É fundamental reconhecer que as propostas de coleta de dados detalhadas na Seção 3, embora ricas em potencial analítico, implicam barreiras técnicas e financeiras. A transição de um protótipo funcional para um produto educacional escalável e de baixo custo é um desafio significativo.

No aspecto financeiro, a integração de *hardware* adicional — como os sensores de força (FSRs) para o "Uer?" ou microfones e *codecs* de áudio de qualidade para o "Letra-a-Letra" — eleva o custo unitário. Isso pode ser um impeditivo para a adoção em larga escala, especialmente em instituições de ensino públicas.

Tecnicamente, as sugestões mais avançadas exigem considerável expertise. O processamento contínuo de vídeo no "Ábaco Encantado" (item 3) ou, de forma mais complexa, a implementação de módulos de Reconhecimento de Fala (ASR) e Processamento de Linguagem Natural (PLN) no "Letra-a-Letra", demandam alto poder computacional. Isso pode exigir computadores anfitriões mais potentes, além de aumentar drasticamente o tempo de desenvolvimento de software.

Além disso, a coleta de dados tão granulares, especialmente áudio, impõe desafios éticos e de privacidade (em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados - LGPD, no Brasil) que exigem uma infraestrutura segura de armazenamento e processamento.

4.1 Alternativas Simplificadas (*Low-Cost*)

Diante dessas barreiras, abordagens simplificadas ou "boas o suficiente" (*good enough*) podem ser consideradas como um ponto de partida pragmático:

- (1) **Priorizar Dados de software:** Focar nos dados que não exigem *hardware* novo. No "Uer?", priorizar a análise do "tempo de sustentação do botão" (item 4), que já oferece *insights* sobre hesitação sem custo adicional, em vez de implementar sensores de força (item 5).
- (2) **Processamento de Baixa Complexidade:** No "Letra-a-Letra", em vez de um complexo módulo de PLN, um sistema inicial poderia apenas usar Detecção de Atividade de Voz (VAD) para medir *quando* e *por quanto tempo* os jogadores falam, verificando o equilíbrio da comunicação sem analisar *o quê* é dito.
- (3) **Processamento por Evento (*Event-Driven*):** No "Ábaco Encantado", em vez de processamento de vídeo contínuo, a análise da *webcam* poderia ser disparada apenas em eventos chave (estado inicial, primeiro movimento e submissão final), reduzindo a carga computacional.

Tabela 3: Propostas de coleta de dados para o jogo “Ábaco Encantado”.

Dado Proposto	Justificativa / Potencial de Análise	Requisito
1. Tempo de resposta (por operação)	Identificar fluência; verificar operações de maior dificuldade.	software
2. Resposta incorreta (valor)	Identificar erros conceituais (ex: valor posicional, "vai um").	software
3. Rastrear mudanças (tentativas)	Registrar rearranjos das peças antes da submissão final; indicar nível de incerteza ou tentativa e erro.	software (Captura periódica/contínua da webcam)

Essas alternativas representam um equilíbrio entre a riqueza dos dados e a viabilidade de implementação, alinhando a inovação com a realidade prática do contexto educacional.

5 CONCLUSÃO

A análise dos jogos “Uer?”, “Letra-a-Letra” e “Ábaco Encantado”, publicados no CBIE 2024, revelou que suas interfaces físicas não convencionais representam um recurso diagnóstico amplamente subutilizado. Este trabalho investigou o potencial de coleta de dados de interação que, embora não explorado pelos autores originais, é intrínseco a esses dispositivos.

Demonstrou-se que métricas de interação, como o tempo de sustentação de um botão, a força do pressionamento, os padrões de manipulação de um *joystick* ou o rastreamento do processo de tentativa e erro em um ábaco físico, vão muito além da simples validação de acerto ou erro. Esses dados comportamentais podem servir como indicadores valiosos para diagnósticos educacionais aprofundados, auxiliando na identificação de perfis de aprendizagem e, potencialmente, na detecção precoce de dificuldades de aprendizagem (como dislexia e discalculia) ou de condições de neurodesenvolvimento (como o TDAH).

Contudo, como ponderado na Seção 4, a implementação dessas coletas avançadas não é trivial. Barreiras técnicas e financeiras, como a integração de sensores adicionais ou o desenvolvimento de complexos módulos de software (ex: PLN), são desafios reais para a adoção em larga escala. No entanto, este trabalho também destacou que alternativas pragmáticas e de baixo custo, focadas em dados já acessíveis via software, podem representar um primeiro passo viável e de alto impacto.

Este estudo conclui com um apelo ao *design* de futuros jogos educacionais. Propõe-se que a instrumentação para coleta de dados de interação não seja mais vista como um adendo opcional, mas como um componente intrínseco ao desenvolvimento. Ao transformar esses jogos em ferramentas que simultaneamente ensinam e “escutam” o comportamento do usuário, abrimos uma fronteira valiosa para a pesquisa interdisciplinar em Educação e Saúde, apoiando de forma mais holística o desenvolvimento individual dos estudantes.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

A plataforma Consensus⁵ foi utilizada como ferramenta auxiliar na etapa de busca bibliográfica para identificação inicial de artigos potencialmente relevantes. A seleção final dos trabalhos incluídos

⁵Site: <https://consensus.app>

no estudo foi realizada manualmente, com base em critérios de relevância e rigor científico.

Adicionalmente, foi utilizado o Google NotebookLM⁶ como ferramenta de revisão das citações, com o objetivo de conferir se os artigos citados efetivamente continham as informações e interpretações que lhes foram atribuídas no texto.

REFERÊNCIAS

- [1] Carlos Beckert, Jeiel Oliveria, Larissa Baquião, Bernardo Rocha, Maria Eduarda Razia, Tiago Dopke, Benjamin Moreira, and Lucas Nesi. Uer?: Um jogo educativo para o ensino de geografia e cultura brasileira integrando componentes físicos e digitais. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 2729–2736, Porto Alegre, RS, Brasil, 2024. SBC. doi: 10.5753/sbie.2024.244642. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31434>.
- [2] Fernando Peixer, Arthur Cipriani, Marcos Rocha, Renan Rodrigues, Thomas Heitmann, Benjamin Moreira, and Lucas Nesi. Letra-a-letra: Jogo colaborativo para alfabetização. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 2721–2728, Porto Alegre, RS, Brasil, 2024. SBC. doi: 10.5753/sbie.2024.244618. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31433>.
- [3] Caio Roberto Gripp, Elisa Maria Silva, João Vitor Ávila, Maria Luísa Bornhausen, Valdomiro Botelho Junior, Vitor Gabriel Noga, Benjamin Moreira, and Lucas Nesi. Jogo para auxílio ao aprendizado de operações matemáticas utilizando ábaco e visão computacional. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 2713–2720, Porto Alegre, RS, Brasil, 2024. SBC. doi: 10.5753/sbie.2024.244611. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31432>.
- [4] Domna Chiotaki, Vassilis Pouloupoulos, and Kostas Karpouzis. Adaptive game-based learning in education: a systematic review. *Frontiers in Computer Science*, 5:1062350, 2023. doi: 10.3389/fcomp.2023.1062350. URL <https://www.frontiersin.org/journals/computer-science/articles/10.3389/fcomp.2023.1062350/full>.
- [5] Juvane Nunes Marciano, Leonardo Cunha de Miranda, and Erica Esteves Cunha de Miranda. Evaluating multiple aspects of educational computer games: Literature review and case study. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014:139205, 2014. doi: 10.1155/2014/139205. URL <https://www.hindawi.com/journals/ijcgt/2014/139205/>.
- [6] Anya S. Evmenova, Kelley Regan, Reagan Mergen, and Roba Hrisseh. Educational games and the potential of ai to transform writing across the curriculum. *Education Sciences*, 15:567, 2023. doi: 10.3390/educsci15050567. URL <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/5/567>.
- [7] Benő Csapó and Gyöngyvér Molnár. Online diagnostic assessment in support of personalized teaching and learning: The edia system. *Frontiers in Psychology*, 10:1522, 2019. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01522. URL <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01522/pdf>.
- [8] Tjhin Wiguna, Ngurah Agung Wigantara, Raden Irawati Ismail, Fransiska Kaligis, Kusuma Minayati, Raymond Bahana, and Bayu Dirgantoro. A four-step method for the development of an adhd-vr digital game diagnostic tool prototype for children using a dl model. *Frontiers in Psychiatry*, 11:829, 2020. doi: 10.3389/fpsy.2020.00829. URL <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsy.2020.00829/full>.
- [9] Dmitriy Babichenko, Ana Radovic, Ravi Patel, Alexis Hester, Koehler Powell, Nicholas Eggers, and David Happe. Evaluating the feasibility of a multiplayer role-playing game as a behavioral health intervention in adolescent patients with chronic physical or mental conditions: Protocol for a cohort study. *JMIR Research Protocols*, 12, 2023. doi: 10.2196/43987. URL <https://www.proquest.com/scholarly-journals/evaluating-feasibility-multiplayer-role-playing/docview/2918517877/se-2>.

⁶Site: <https://notebooklm.google.com>

- [10] Catharina S. van Meel, Dirk J. Heslenfeld, Jaap Oosterlaan, and Joseph A. Sergeant. Adaptive control deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (adhd): The role of error processing. *Psychiatry Research*, 151(3):211–220, 2007. ISSN 0165-1781. doi: 10.1016/j.psychres.2006.05.011. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165178106001302>.
- [11] Johan E Acosta-Lopez, Isabel Suarez, David A Pineda, Martha L Cervantes-Henriquez, Martha L Martinez-Banfi, Semiramis G Lozano-Gutierrez, Mostapha Ahmad, Wilmar Pineda-Alhucema, Luz M Noguera-Machacon, Moisés De La Hoz, et al. Impulsive and omission errors: Potential temporal processing endophenotypes in adhd. *Brain Sciences*, 11(9):1218, 2021. doi: 10.3390/brainsci11091218.
- [12] Jonna Kuntsi and Christoph Klein. Intraindividual variability in adhd and its implications for research of causal links. *Behavioral neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder and its treatment*, pages 67–91, 2011. doi: 10.1007/7854_2011_145.
- [13] Kosha J. Mehta. Effect of sleep and mood on academic performance—at interface of physiology, psychology, and education. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9:1–13, 2022. doi: 10.1057/s41599-021-01031-1.
- [14] Hararia Ijaz, Dr. Naveed Gani, Benish Usman, Muhammad Sameen Akhtar, Kiran Arooje, and Iqra Baig. The role of sleep quality in academic performance: A multivariate analysis of stress, screen time, and physical activity. *South Eastern European Journal of Public Health*, 2025. doi: 10.70135/seejph.vi.6179.
- [15] Almkhtar Adwas, J. Jbireal, and Azab Azab. Anxiety: Insights into signs, symptoms, etiology, pathophysiology, and treatment. *East African Scholars Journal of Medical Sciences*, 2:80–91, 10 2019.
- [16] Kaveena Kunasegaran, Brinnell A Caszo, J. Gnanou, Ahamed Miflah Hussain Ismail, Po Ling Chen, and S. Ramasamy. Understanding mental fatigue and its detection: a comparative analysis of assessments and tools. *PeerJ*, 11, 2023. doi: 10.7717/peerj.15744.
- [17] Kanav Kahol, Mario J. Leyba, Mary Deka, Vikram Deka, Stephanie Mayes, Marshall Smith, John J. Ferrara, and Sethuraman Panchanathan. Effect of fatigue on psychomotor and cognitive skills. *The American Journal of Surgery*, 195(2):195–204, 2008. ISSN 0002-9610. doi: 10.1016/j.amjsurg.2007.10.004. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961007009178>.
- [18] M. Lerner and C. Lonigan. Bidirectional relations between phonological awareness and letter knowledge in preschool revisited: A growth curve analysis of the relation between two code-related skills. *Journal of experimental child psychology*, 144:166–83, 2016. doi: 10.1016/j.jecp.2015.09.023.
- [19] Marc H. Bornstein. Colour-name versus shape-name learning in young children. *Journal of Child Language*, 12:387–393, 1985. doi: 10.1017/S030500090006498.
- [20] Tobias Banaschewski, Sinje Ruppert, Rosemary Tannock, Björn Albrecht, Andreas Becker, Henrik Uebel, Joseph A Sergeant, and Aribert Rothenberger. Colour perception in adhd. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 47(6):568–72, 2006. doi: 10.1111/J.1469-7610.2005.01540.X.
- [21] Smail Layes, Robert Lalonde, and Mohamed Rebai. Mental rotation of pictures, letters and symbols in children with dyslexia: Evidence for stimulus type effect. *International Journal of Disability, Development and Education*, 67(4):437–451, 2020. doi: 10.1080/1034912X.2019.1596227. URL <https://doi.org/10.1080/1034912X.2019.1596227>.
- [22] Gunjan Khara. Visual processing in reading and dyslexia. 2015.
- [23] M A Dziuk, J C Gidley Larson, A Apostu, E M Mahone, M B Denckla, and S H Mostofsky. Dyspraxia in autism: association with motor, social, and communicative deficits. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(10):734–739, 2007. doi: 10.1111/j.1469-8749.2007.00734.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8749.2007.00734.x>.
- [24] Giannis Altanis, S. Retalis, Nikos Nikou, and Michalis Boloudakis. Children with motor impairments play a kinect learning game: First findings from a pilot case in an authentic classroom environment. *Interaction Design and Architecture(s)*, 2013. doi: 10.55612/s-5002-019-007.
- [25] Paul E. Youssef. Childhood neurologic conditions: Movement disorders. *FP essentials*, 523:20–26, 2022.
- [26] Christine M Ghadery, Carolina Gorodetsky, and Anthony E Lang. Tremor in pediatric populations: Clinical characteristics, differential diagnosis, and management challenges. *Movement Disorders Clinical Practice*, 12(6):734–750. doi: 10.1002/mdc3.70008. URL <https://movementdisorders.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mdc3.70008>.
- [27] Alexandros Pino, Nikolaos Papatheodorou, Georgios Kouroupetroglou, Panagiotis-Alexios Giannopoulos, Gerasimos Makris, and Charalambos Papageorgiou. Hand dexterity evaluation grounded on cursor trajectory investigation in children with adhd using a mouse and a joystick. *Technologies*, 2025. doi: 10.3390/technologies13030099.
- [28] Emily J Meachon, Julian P Schaidt, and Georg W Alpers. Motor skills in children with adhd: overlap with developmental coordination disorder. *BMC Psychology*, 13, 2025. doi: 10.1186/s40359-024-02282-8.
- [29] Thomas Lachmann and Cees van Leeuwen. Reading as functional coordination: not recycling but a novel synthesis. *Frontiers in psychology*, 5:1046, 2014.
- [30] P. Glidden. Prospective elementary teachers’ understanding of order of operations. *School Science and Mathematics*, 108:130–136, 2008. doi: 10.1111/J.1949-8594.2008.TB17819.X.
- [31] Stefan Haberstroh and G. Schulte-Körne. The diagnosis and treatment of dyscalculia. *Deutsches Arzteblatt international*, 116 7:107–114, 2019. doi: 10.3238/arztebl.2019.0107.
- [32] I. Rapin. Dyscalculia and the calculating brain. *Pediatric neurology*, 61:11–20, 2016. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.02.007.
- [33] Maria-Victoria Urruzola and Elena Bernaras. Music performance anxiety in 8- to 12-year-old children. *Revista de Psicodidáctica (English ed.)*, 25(1):76–83, 2020. ISSN 2530-3805. doi: 10.1016/j.psicoe.2019.10.003. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530380519300267>.
- [34] Elizabeth R. Peterson, Tanvi Sharma, Amy Bird, Annette M. E. Henderson, Varun Ramgopal, Elaine Reese, and Susan M. B. Morton. How mothers talk to their children about failure, mistakes and setbacks is related to their children’s fear of failure. *British Journal of Educational Psychology*, 95(1):124–142, 2025. doi: 10.1111/bjep.12685. URL <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/bjep.12685>.