

Jogo digital acessível para crianças com TEA: aprendizagem de matemática com interface tangível e inclusiva

Edward Eric Von Osterroht
Escola Politécnica
Universidade do Vale do Itajaí - Univali
Itajaí, SC, Brasil
edwarderic@univali.edu.br

Adriana Gomes Alves
Escola Politécnica
Universidade do Vale do Itajaí - Univali
Itajaí, SC, Brasil
adriana.alves@univali.br

ABSTRACT

This article discusses the development of an accessible digital game for children with ASD, aimed at learning mathematics through a natural interface and computer vision. The methodology adopted is Design Science Research, which allows problems to be solved through the creation of artifacts. The game was designed, developed and empirically analyzed by a teacher and 11 students with ASD and one student without disabilities, aged between 8 and 10, from an elementary school in the municipality of Itajaí, considering accessibility criteria for digital games. The results showed the students' interest and involvement, favored by the game's tangible approach, and contributed to research into digital educational games, promoting discussion about differentiated interfaces for the target audience of inclusive education.

RESUMO

Este artigo aborda o desenvolvimento de um jogo digital acessível para crianças com TEA, visando à aprendizagem de matemática por meio de uma interface natural e visão computacional. A metodologia adotada é a Design Science Research, que permite a resolução de problemas por meio da criação de artefatos. O jogo foi concebido, desenvolvido e analisado empiricamente por uma professora e 11 alunos com TEA e um aluno sem deficiência, com idades entre 8 e 10 anos, do ensino fundamental do município de Itajaí, considerando critérios de acessibilidade em jogos digitais. Os resultados demonstraram o interesse e o envolvimento dos estudantes, favorecidos pela abordagem tangível do jogo, e colaboraram para a pesquisa em jogos educativos digitais, promovendo a discussão acerca de interfaces diferenciadas para o público-alvo da educação inclusiva.

PALAVRAS-CHAVE

Interfaces Naturais, Visão computacional, Jogos digitais, Educação Especial

1 Introdução

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um distúrbio do neurodesenvolvimento caracterizado por desenvolvimento atípico, manifestações comportamentais, déficits na comunicação e na interação social, padrões de comportamentos repetitivos e estereotipados, no qual indivíduos afetados podem apresentar um

repertório restrito de interesses e atividades [1]. A pessoa com TEA enfrenta diversos desafios, como dificuldade no diagnóstico, preconceitos e falta de inclusão nas escolas. Diante disso, políticas públicas foram definidas para assegurar às pessoas com TEA os mesmos direitos daquelas com deficiência, por meio da Lei nº 12.764/2012 [2].

A inclusão dos estudantes com TEA e sua aprendizagem podem ser favorecidas pelo uso das tecnologias. De acordo com Souza [3], pessoas no espectro apresentam grande afinidade e interesse por recursos tecnológicos, como jogos digitais. A utilização de jogos no contexto educacional é garantida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que afirmam que os jogos podem contribuir para a formação de atitudes, o enfrentamento de desafios e a busca de soluções. [4].

Para que a tecnologia favoreça pessoas com deficiência ou transtornos do neurodesenvolvimento, deve-se considerar o conceito de tecnologia assistiva (TA), que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a participação de pessoas com deficiência visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social dessas pessoas [5].

No desenvolvimento de habilidades matemáticas, as tecnologias assistivas na forma de jogos digitais podem favorecer a aprendizagem do estudante. Para isso, a aplicação de uma interface natural e tangível promove a acessibilidade, pois a Interface Natural do Usuário (NUI) é uma forma de interação com computadores que foca nas habilidades humanas, como voz, visão, tato, movimento e funções cognitivas, como percepção [7]. O uso dessa abordagem proporciona uma experiência de uso da tecnologia mais intuitiva, visando facilitar o acesso do usuário por meio de uma experiência fluida e convidativa [8].

Neste contexto, o artigo apresenta a pesquisa em interfaces tangíveis como forma de oferecer a estudantes, em particular àqueles com TEA, uma interface natural para interagir com um jogo digital de aprendizagem de matemática, utilizando como recurso a visão computacional e a interface natural para adaptar um jogo analógico ao digital. Apresenta-se o jogo desenvolvido e sua análise de acessibilidade, com vistas a ampliar as pesquisas no campo do desenvolvimento de jogos educativos acessíveis. A metodologia empregada na pesquisa é apresentada na seção 2, os conceitos básicos e trabalhos similares estão na seção 3, os resultados e discussões da pesquisa estão na seção 4 e as considerações finais estão na seção 5.

2. Metodologia

A pesquisa de caráter qualitativo e exploratório, baseia-se no Design Science Research [9], o qual é um método “orientado à solução de problemas específicos, não necessariamente buscando a solução ótima, mas a solução satisfatória para a situação”, gerando “soluções passíveis de generalização para uma determinada classe de problemas”. A metodologia da pesquisa consiste em várias etapas, conforme sumarizado na Figura 1 e descrito a seguir:

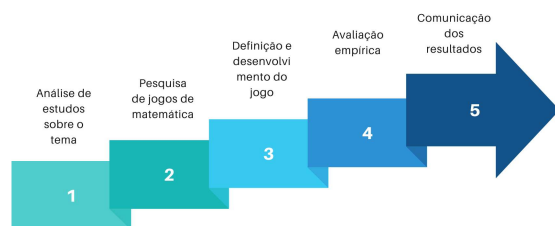


Figura 1: Etapas da pesquisa

A etapa “Análise de estudos sobre o tema” refere-se à problemática da aprendizagem de matemática e ao uso de interfaces naturais e tangíveis para esse fim. Consistiu em pesquisa bibliográfica, estudos sobre interfaces naturais e o levantamento das recomendações de acessibilidade, com foco em jogos digitais educativos.

A etapa “Pesquisa de jogos de matemática” consistiu em um estudo de jogos aplicados a estudantes com TEA, com o objetivo de identificar possibilidades de transposição da versão analógica para a versão digital. Na terceira etapa, “Definição e desenvolvimento do jogo”, o jogo “Babi e a balança” foi desenvolvido com base na abordagem de NUI e visão computacional, tendo como referência o jogo “Macaco-Maluco” [10]. Foi desenvolvido o GDD (Game Design Document), que reúne todas as informações criadas durante a fase de concepção do jogo, incluindo os textos do enredo, as imagens dos cenários, os esboços dos personagens, os dados sobre as mecânicas e jogabilidade, bem como os demais conceitos definidos pelo criador.

A etapa “Avaliação empírica” consistiu em uma avaliação com estudantes de uma escola municipal de Itajaí, com o objetivo de compreender o contexto de experiência do jogo. A pesquisa de campo, realizada em maio de 2024, foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Univali (protocolo CAEE 12097919.0.0000.0120). Participaram do estudo 12 estudantes, sendo que 11 deles eram atendidos pelo Atendimento Educacional Especializado (AEE), dos quais nove apresentavam nível 1 de autismo, dois apresentavam nível 2 e um estudante não apresentava deficiência ou TEA. As idades dos participantes variaram entre 8 e 10 anos, e eles apresentavam diferentes níveis de aprendizagem. Os dados produzidos foram analisados para observar a interação dos usuários com o jogo, o tempo de interação, as dificuldades apresentadas na compreensão do jogo ou na resolução dos desafios matemáticos e a identificação de possíveis melhorias para o projeto.

Por fim, a etapa “Comunicação dos resultados” consistiu na elaboração de toda a documentação do projeto, na defesa do

trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Computação, e na elaboração de artigo científico.

3. NUI e jogos matemáticos

A interface natural de usuário (Natural User Interface — NUI) é uma das diversas formas atualmente existentes de interação entre seres humanos e computadores. O termo “natural” é utilizado, pois a interface natural difere da maioria das interfaces computacionais, que utilizam dispositivos de controle artificiais e possuem operações não intuitivas, exigindo estudo para sua utilização. A interface natural depende da compreensão do usuário, que pode rapidamente passar de iniciante a especialista. Embora exija aprendizagem, é considerada fácil e intuitiva, graças ao design que dá ao usuário a sensação de que está constantemente alcançando o sucesso.[13].

As diretrizes fornecidas por Wigdor [18] apresentam como deve ser pensada a criação da utilização da NUI, seguindo os seguintes passos:

- a) Criar uma experiência que, para usuários experientes, possa parecer uma extensão de seus corpos;
- b) Criar uma experiência que pareça tão natural para um usuário iniciante quanto para um experiente;
- c) Criar uma experiência autêntica para o meio, evitando começar tentando imitar o mundo real ou qualquer outra coisa.
- d) Construir uma interface de usuário que considere o contexto, incluindo as metáforas corretas, os recursos visuais, o feedback e os métodos de entrada/saída pertinentes.

Para implementar uma interface natural, um dos recursos viáveis é a visão computacional, que consiste na extração automatizada de informações de imagens. Essas informações podem incluir modelos 3D, a posição da câmera, a detecção e o reconhecimento de objetos, o agrupamento e a pesquisa de conteúdo de imagem, entre outros. Por vezes, a visão computacional tenta imitar a visão humana; em outras ocasiões, utiliza dados e abordagens estatísticas; e, em algumas, recorre à geometria para resolver problemas [17].

Durante a pesquisa exploratória, foram analisados alguns jogos matemáticos (digitais com NUI e analógicos), com o objetivo de estabelecer uma comparação para o desenvolvimento do jogo “Babi e a balança”. Dentre eles, destacamos o jogo digital do Material Dourado[12], que propõe quebra-cabeças interativos nos quais o jogador deve resolver as operações apresentadas na tela com o auxílio de materiais tangíveis. O jogo visa o desenvolvimento cognitivo e o ensino de operações básicas da matemática, como soma, subtração, multiplicação e divisão. Com uma interface tátil, o jogo se enquadra na categoria NUI, auxiliando alunos com deficiência visual e visando incluir diversos estudantes, proporcionando uma jogabilidade igualitária.

Nos estudos sobre jogos para crianças com TEA, o trabalho de Bernardino [10] apresentou um catálogo com dezenas de propostas de jogos para a aprendizagem de matemática. Entre os jogos analógicos catalogados, destaca-se o “Macaco-Maluco”, cujo objetivo central é desenvolver o senso numérico, estabelecer a relação entre quantidade e número, estimular a interação social e

ensinar sobre regras e ordem. Espera-se que os alunos melhorem as suas capacidades matemáticas, como sequenciamento, compreensão dos números naturais, contagem e equilíbrio.



Figura 2 – Jogo “Macaco-Maluco” [10]

No jogo "Macaco-Maluco", a atividade é realizada por meio da manipulação das peças. Primeiro, a criança deve contar os macaquinhos. Em seguida, coloca o número de um lado da balança que seja equivalente ao número de macaquinhos. A figura 2 ilustra o jogo. O jogo foi eleito como referência para a criação do jogo digital, pois oferece uma interação com os números de forma palpável. Isso é importante para os alunos com TEA, pois os números e, consequentemente, a matemática, se tornam abstratos. Na seção a seguir, descrevemos os resultados do desenvolvimento do jogo e sua avaliação com estudantes.

4. Resultados e discussões

Os jogos digitais educacionais podem ter um efeito motivador no processo de aprendizagem, pois têm a capacidade de entreter os alunos ao mesmo tempo que incentivam a aprendizagem através de ambientes interativos e dinâmicos [14]. É importante incluir componentes de diversão nos processos de estudo, pois os alunos, quando mais relaxados, tendem a ser mais receptivos e dispostos a aprender [14][16]. Além disso, os jogos digitais têm a capacidade de facilitar a aprendizagem em vários domínios, colocando o aluno no papel de tomador de decisão e expondo-o a níveis crescentes de desafios, possibilitando uma aprendizagem por meio de tentativa e erro [15].

Para Amaral [11], “o ensino da matemática nos anos iniciais da alfabetização, quase sempre foi pensado a partir do uso de materiais concretos, com a intenção de facilitar a compreensão.” No que se refere ao ensino de crianças autistas, a autora acrescenta que os jogos, quando utilizados como recursos pedagógicos, contribuem para o desenvolvimento de habilidades cognitivas básicas, pois possibilitam a socialização, o aprimoramento da linguagem e da comunicação [11].

Com base nesses aspectos, procurou-se desenvolver um jogo digital que favorecesse a aprendizagem da matemática, combinando interfaces tangíveis e visão computacional como

recurso de interação. A adaptação do jogo "Macaco-maluco" para o meio digital foi feita considerando os critérios de interação com diferentes peças, um mecanismo chamativo que prende a atenção da criança e uma mecânica de matemática que abrange as operações básicas de forma lúdica.

4.1 Jogo “Babi e a balança”

O jogo "Babi e a balança" tem como premissa o uso de objetos físicos para resolver problemas matemáticos, mais especificamente operações básicas, auxiliando o estudante a efetuar os cálculos por meio de materiais concretos, como meio de interação com o jogo digital. Para esse efeito, utilizou-se a visão computacional para reconhecer os objetos tangíveis. A Figura 3 demonstra a arquitetura do projeto, explicando como as ferramentas se comunicam.

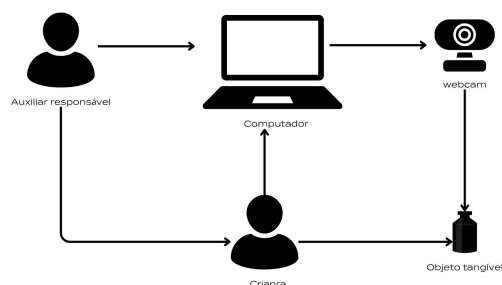


Figura 3 – Arquitetura do jogo

O jogo foi desenvolvido com base na abordagem de interfaces naturais de usuário (NUI), utilizando a visão computacional como recurso principal para interação. A arquitetura do jogo está dividida em três componentes principais:

1. **Interface do Usuário (UI):** compreende os menus interativos e os elementos visuais da plataforma.
2. **Mecanismo de Processamento:** responsável pela lógica do jogo, incluindo a geração de problemas matemáticos e a validação das respostas inseridas pelos usuários.
3. **Módulo de Visão Computacional:** processa as imagens captadas pela webcam para identificar os objetos utilizados pelos jogadores e validar a interação com a balança digital.

Essa abordagem teve como foco a utilização da NUI para gerar uma forma de assimilação mais lúdica e interativa do que aquela obtida por meio do uso apenas de mouse e teclado, pois esses instrumentos podem ser incomuns no cotidiano de algumas crianças ou até mesmo causar estranheza em seu uso.

O projeto utiliza uma webcam para capturar objetos em uma área específica. Para isso, foram escolhidos "pesos" (produzidos em impressora 3D) semelhantes aos de uma balança real, de modo a criar uma interação em que a criança consiga relacionar o objeto ao jogo. O software reconhece o objeto e conta a quantidade posicionada pelo jogador, para avaliar a resposta dada ao problema matemático apresentado.

Para a implementação do jogo, utilizou-se a biblioteca OpenCV integrada ao Unity, permitindo a identificação e contagem de

objetos em tempo real. O código principal foi estruturado em scripts distintos:

- **Controle de som e menu** para navegação.
- **Script de interação com a câmera**, processando imagens e identificando objetos.
- **Código para verificação da resposta**, comparando a quantidade de objetos detectados com a resposta correta do problema matemático gerado aleatoriamente.

No script do jogo, o código representa várias funções, incluindo a de fazer os cálculos de soma. Para selecionar um número aleatório entre 0 e 9, foi utilizada a função `Random.Range`. Dessa forma, o próximo número também será aleatório, garantindo que o resultado seja inferior ou igual a 10. A interface do usuário é atualizada para exibir o problema de adição. Além disso, é usada a variável `TesteCamera.objectCount` para a contagem de objetos realizados pela câmera, a qual é apresentada em outro script.

Outra função utilizada é a `VerificarRespostaSoma()`, que faz uma comparação entre o que o usuário colocou na câmera e o resultado, o qual pode ser observado na Figura 4. Assim, é possível chegar a três possibilidades de resposta: se o número inserido for inferior à resposta, o usuário é redirecionado para a tela de erro menos/mais; se o número inserido for igual à resposta, o usuário é redirecionado para a tela de acerto.

```
public void VerificarRespostaSoma()
{
    int valorDaVariavel = TesteCamera.objectCount;

    if (valorDaVariavel == resposta)
    {
        MenuJogo.SetActive(false);
        Acerto.SetActive(true);
    }
    else
    {
        if (valorDaVariavel > resposta)
        {
            MenuJogo.SetActive(false);
            ErrouMais.SetActive(true);
        }
        if (valorDaVariavel < resposta)
        {
            MenuJogo.SetActive(false);
            ErrouMenos.SetActive(true);
        }
    }
}
```

Figura 4 – Código verificar resposta soma

A função `ProcessTexture` é responsável pelo processamento da textura da câmera e pela contagem dos objetos detectados na imagem. Para esse efeito, foi utilizada a biblioteca OpenCV no Unity. Primeiramente, a textura da câmera é convertida em uma matriz. Em seguida, a imagem é convertida para escala de cinza, e, então, é aplicada uma operação de limiarização binária inversa por meio de `Cv2.Threshold`, que destaca os objetos de interesse. Com a imagem processada, os contornos dos objetos são identificados. Antes de iniciar a contagem dos objetos, o contador é reiniciado para zero, ficando em constante atualização para reconhecer as peças, sendo mostrado como zero até que um objeto seja identificado. A área do contorno é calculada usando `Cv2.ContourArea`.

Se a área do contorno for superior a um valor mínimo, o contorno será desenhado na imagem processada e o contador de objetos será incrementado. Após a contagem dos objetos, o número total de objetos detectados é exibido na imagem da câmera como

"resposta: x", de modo a auxiliar o jogador a identificar quantos objetos foram identificados pela visão computacional. Por fim, o valor é atualizado para que os outros scripts também o atualizem.

Foram feitas quatro operações no jogo, e todas possuem um código de implementação semelhante, sofrendo alterações nos sinais de acordo com a operação selecionada. É importante destacar que o primeiro número aleatório é sempre maior que o segundo em todas as operações.

A biblioteca utilizada para o reconhecimento de objetos foi a OpenCV (Open Source Computer Vision Library), uma biblioteca livre para o uso acadêmico na área da visão computacional. O autor a escolheu por ter mais conhecimento e familiaridade com o desenvolvimento em C/C++ nela aplicado. O hardware utilizado neste trabalho para os testes com o OpenCV foi uma webcam HD Logitech C270.

Ao acessar a opção "jogar" no menu (Figura 5), é possível selecionar o modo de jogo e escolher qual operação deseja praticar. Aconselha-se a iniciar com a soma e, à medida que o usuário for progredindo na resolução dos desafios, passar para as outras operações de maior grau de dificuldade.



Figura 5 – Menu do jogo

As operações matemáticas exibidas na tela (soma, subtração, multiplicação ou divisão) têm números aleatórios de um lado da balança, e a criança deve associar o número à quantidade de elementos que deverá colocar do outro lado (Figura 6). Se a criança colocar elementos a mais ou a menos, a balança mostrará um comentário relacionado ao erro (Figura 7). Caso contrário, apresentará o resultado correto. É importante salientar que o modo de jogo pode ser escolhido de acordo com o tipo de desafio desejado pelo usuário, que pode avançar para o modo seguinte sempre que quiser. A figura 8 mostra a aplicação do jogo e a ação de posicionamento das peças para reconhecimento pelo software.

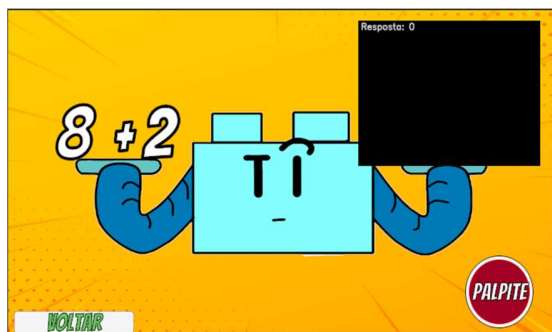


Figura 6 – Exemplo de tela do jogo na operação soma



Figura 7 – Indicação de erro no jogo

4.2 Avaliação empírica com professora e alunos

A avaliação do primeiro protótipo do jogo foi realizada em uma escola municipal de Itajaí, Santa Catarina, com a participação de 12 estudantes, com idade entre oito e dez anos. Desses, 11 eram atendidos pelo Atendimento Educacional Especializado (AEE), e uma criança não se enquadrava nas categorias de deficiência ou TEA, conforme descrito na metodologia. A figura 8 apresenta a atividade de avaliação com um dos participantes.



Figura 8 – Teste do jogo com os alunos

Os comportamentos e atitudes foram observados e registrados, considerando os critérios de concentração, persistência ao jogar, compreensão da proposta do jogo, facilidade de execução, tempo

jogado, desafios resolvidos e verbalizações durante o jogo. As observações visaram avaliar a concentração dos jogadores durante a atividade, a persistência que demonstravam ao seguirem com os desafios mesmo quando cometiam erros, se compreendiam bem a proposta do jogo e, consequentemente, se tinham facilidade para executá-lo. Além disso, foi levado em consideração quais modalidades de desafios foram resolvidas, por exemplo, se os jogadores chegaram à subtração ou só fizeram as quatro operações. Por fim, foram examinadas as verbalizações durante o jogo. Para tais observações, os pesquisadores contaram com o auxílio de outro examinador, responsável por fazer anotações e registros fotográficos da avaliação. Para cada critério, foram registrados valores de 1 a 5 na escala Likert [6]: 1 — nunca; 2 — poucas vezes; 3 — algumas vezes; 4 — quase sempre; 5 — sempre. Os quadros 1 e 2 apresentam os resultados coletados.

Quadro 1 – Ficha de Observação seguindo a Escala Likert

SUJEITO	IDADE	CONCENTRAÇÃO	COMPREENSÃO DA PROPOSTA DO JOGO	FACILIDADE DE EXECUÇÃO DO JOGO
1	10	5	5	5
2	8	5	5	5
3	8	5	4	4
4	8	5	5	5
5	8	4	2	2
6	10	4	4	3
7	8	5	5	5
8	8	5	5	5
9	10	5	3	3
10	10	5	3	3
11	8	2	3	2
12	9	3	2	2

Quadro 2 – Ficha de Observação seguindo a Escala Likert (continuação)

SUJEITO	TEMPO JOGADO	MODALIDADES DE DESAFIOS RESOLVIDOS	VERBALIZAÇÃO DURANTE O JOGO
1	5	5	5
2	5	5	5
3	4	4	4
4	5	5	5
5	5	3	2
6	4	2	2
7	5	5	5
8	5	5	5
9	3	3	2
10	5	4	3
11	3	2	2
12	2	2	2

Ao analisar o quadro, destacamos que oito crianças (66,67%) sempre mantiveram a concentração, duas (16,67%) quase sempre a mantiveram, demonstrando algumas distrações durante as resoluções, e uma (8,33%) manteve a concentração algumas vezes, demonstrando distrações com bastante frequência durante o jogo. Por fim, uma criança (8,33%) demonstrou concentração poucas vezes, apresentando um comportamento agitado.

A avaliação da persistência dos alunos mostrou que oito (66,67%) continuaram jogando, independentemente de terem errado ou acertado, solicitando jogar mais operações. Outras duas (16,66%) demonstraram interesse quase sempre, mas, quando começavam a ter mais dificuldades no decorrer do jogo e precisavam de mais auxílio para continuar, demonstravam menor persistência. Uma criança (8,33%) mostrou persistência algumas vezes, mas teve muita dificuldade em entender a matemática, o que prejudicou seu desempenho. Por fim, uma criança (8,33%) poucas vezes demonstrou persistência, sendo necessário auxílio quase o tempo todo.

Quanto à compreensão da proposta do jogo, observou-se a prática em si, como o posicionamento das peças e a verificação da contagem na câmera em relação ao esperado. Nos resultados, cinco alunos (41,67%) sempre compreenderam o jogo, não sendo necessária a intervenção do pesquisador. Dois alunos (16,66%) quase sempre compreenderam o jogo, mas demonstraram dúvida principalmente nas operações de multiplicação e divisão. Três alunos (25%) demonstraram compreender a proposta às vezes, sendo necessário retomar a explicação da proposta com mais auxílio, e outros dois alunos (16,66%) demonstraram compreendê-la poucas vezes, especialmente por causa da dificuldade em se concentrar.

Quanto à facilidade que as crianças tiveram em executar o jogo, observou-se que cinco crianças (41,67%) sempre tiveram facilidade em resolver os desafios, mesmo os de operações ainda em processo de aprendizagem. Outra criança (8,33%) quase sempre teve facilidade, mas apresentou dificuldade especialmente na divisão, pois ainda estava em processo de aprendizagem. Além disso, três crianças (25%) às vezes tiveram facilidade, e outras três (25%) tiveram poucas vezes. Essas demandaram maior auxílio para formular as respostas. Não se observou, necessariamente, facilidade de execução relacionada à concentração, pois as crianças demonstravam interesse pelo jogo, mas não conseguiam responder aos desafios matemáticos.

Foi possível analisar o tempo de jogo das crianças. Dentre os alunos participantes, sete (66,67%) jogaram de forma orgânica, sem tempo estabelecido, deixando a critério dos alunos e da professora pedagoga responsável o tempo de parada. Outras duas crianças (16,66%) quase sempre quiseram jogar de forma orgânica, mas foi observado que, com certo tempo, perdiam o interesse mais facilmente, ficando assim com um tempo médio de 20 minutos. Por fim, outras duas crianças (16,66%) tiveram um tempo médio de jogo de 10 minutos devido à falta de interesse demonstrado rapidamente após alguns desafios, e um aluno (8,33%) desistiu do jogo após aproximadamente cinco desafios na operação soma.

As modalidades de desafios resolvidos foram realizadas considerando os modos de jogo. Todas as crianças iniciavam no modo soma e, quando se sentiam confortáveis, pediam para jogar nos modos subtração, multiplicação e divisão. O modo de divisão foi visto como o mais desafiador.

Por fim, a verbalização dos participantes foi analisada de acordo com a interatividade apresentada com o pesquisador, com os colegas e com as falas e os gestos acerca do jogo. Diante disso, cinco alunos (41,66%) sempre verbalizam, fazendo perguntas,

comentários pessoais e sugestões sobre o jogo, além de prestar auxílio ao colega que teve mais dificuldade, como ocorreu entre os jogadores 4 e 5. Esses jogadores também demonstravam rapidez em resoluções e felicidade ao acertarem os desafios, não demonstrando desconforto com os erros e solicitando mais desafios para resolver. Já um jogador (8,33%) quase sempre verbalizava, ficando mais em silêncio ao observar seu colega jogando e fazendo poucos comentários durante sua vez de jogar. Um jogador (8,33%) às vezes verbalizou sobre dúvidas matemáticas e compreensão do jogo, mas não fez comentários durante o jogo do colega. Ademais, outros cinco jogadores (41,67%) poucas vezes verbalizaram, não faziam perguntas, ainda que estivessem claras as suas dúvidas, sentindo-se envergonhados para responder às perguntas de feedback do jogo e fazendo poucos gestos referentes à satisfação de acertar.

Os dados obtidos não permitem correlacioná-los com o grau de autismo, pois para tal afirmação é necessário um acompanhamento mais individualizado de cada aluno. Além disso, nove das doze crianças participantes afirmaram que o jogo era uma ferramenta fácil de usar, e foi observado bom engajamento entre elas. Por meio de entrevista com a professora, esta relatou que o jogo é criativo e que é válido para trabalhar os conceitos matemáticos básicos com os alunos de maneira diferente. Ela destacou que o software auxilia na aprendizagem de matemática, pois os alunos precisam interpretar o problema e efetuar os cálculos de maneira concreta. Vale ressaltar que o jogo digital desenvolvido não substitui a importância do professor no ensino de matemática, mas serve como um auxílio e como uma forma lúdica para a aprendizagem dos conteúdos básicos da disciplina.

Na análise das respostas subjetivas fornecidas pelos jogadores durante os testes, foram identificadas tendências comportamentais que indicam diferentes formas de interação com o jogo. As sugestões dadas pelos participantes, como a adição de fases aleatórias e novas operações matemáticas, refletem o interesse em desafios progressivos e maior variabilidade no conteúdo. Além disso, a observação das verbalizações permitiu compreender a percepção dos jogadores sobre a usabilidade do jogo, com destaque para comentários positivos sobre a intuitividade da interface.

Para aprofundar essa análise, sugere-se, em estudos futuros, a aplicação de métodos de análise de discurso para categorizar os tipos de feedback fornecidos pelas crianças, visando uma compreensão mais detalhada dos aspectos motivacionais e pedagógicos da experiência de jogo.

5. Considerações finais

Nesse artigo, nosso objetivo foi apresentar as interfaces tangíveis como forma de auxiliar a aprendizagem de matemática mediada por um jogo digital acessível para estudantes com Transtorno do Espectro Autista (TEA). Inicialmente, investigou-se o uso de interfaces naturais em softwares educacionais para esse público. Essa etapa identificou os desafios e as vantagens dessas interfaces. Constatou-se que interfaces baseadas em gestos, voz e toque podem oferecer uma interação mais intuitiva e acessível para estudantes com TEA, facilitando o processo de aprendizagem.

A interação com os números pode ser um desafio para crianças com TEA. Por isso, o jogo tem a proposta de tornar essa experiência mais acessível a elas, adotando uma abordagem mais sensorial, com elementos visuais simples e claros, para não deixar dúvidas sobre como jogar. Nesse contexto, a avaliação do jogo foi realizada com estudantes do ensino fundamental. Essa fase incluiu observações durante o jogo com estudantes diagnosticados com TEA, com o objetivo de coletar dados qualitativos sobre a experiência dos usuários. Com os testes, foi possível notar alguns problemas e melhorias necessárias no jogo, que devem ser corrigidos em uma possível nova versão a ser elaborada em trabalhos futuros, como a falha em voltar ao menu, que ocorre quando a câmera trava.

Durante os testes, alguns jogadores deram sugestões pertinentes que podem ser implementadas em trabalhos futuros, como: fases aleatórias, podendo ser qualquer operação; utilização de frações; operações novas com o uso de raiz; e modo de salvar a pontuação. Outras melhorias a serem implementadas são a tradução do jogo para outros idiomas, de modo a abranger crianças de diferentes nacionalidades. Quanto à acessibilidade, será possível desenvolver uma configuração de cores voltada a crianças com necessidades visuais especiais.

Ao contrário do jogo físico "Macaco-Maluco", que exige manipulação direta de peças, a versão digital oferece vantagens que potencializam a aprendizagem. A interação mediada por visão computacional possibilita a adaptação para diferentes perfis de alunos, incluindo ajustes automáticos de dificuldade, personalização da interface para acessibilidade e feedbacks imersivos. Além disso, a versão digital possibilita o registro e a análise de desempenho, permitindo que os professores acompanhem a evolução dos alunos de maneira mais detalhada. Assim, a digitalização do jogo não apenas reproduz a experiência analógica, mas também a amplia com recursos que promovem uma aprendizagem mais inclusiva e adaptativa.

Esse trabalho não só visa criar uma ferramenta lúdica digital para auxiliar crianças com TEA na aprendizagem de matemática, mas também busca contribuir para um entendimento mais profundo sobre o uso de interfaces naturais em softwares educativos. Ao tornar a interação com os números mais acessível e agradável, acreditamos estar promovendo uma experiência educacional mais inclusiva e eficaz para esses estudantes. Contudo, para isso, ainda é necessária uma maior exploração da ferramenta e uma constância maior nos testes, pois, neste caso, o teste foi realizado somente com o intuito de avaliar seu uso, restando avaliar o processo de aprendizagem que o jogo pode promover junto aos seus usuários. A realização de testes contínuos e abrangentes é essencial para garantir que o jogo funcione como esperado e atenda às necessidades dos usuários finais, demonstrando seu benefício.

Para melhor atender às necessidades dos estudantes, futuras versões do jogo poderão incorporar novos elementos multimodais, pois crianças com TEA têm diferentes formas de percepção sensorial. Por isso, é recomendado o uso de sinais sonoros e luminosos para capturar a atenção e reforçar os feedbacks do jogo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Educação de Itajaí, aos professores e aos estudantes participantes da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE PSIQUIATRIA (APA). Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais: DSM-5-TR. 5. ed. rev. Porto Alegre: Artmed, 2023, 1152 p.
- [2] Brasil. Lei nº 12.764, de 27 de dezembro de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista; e altera o § 3º do art. 98 da Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990. Diário Oficial da União, Brasília/DF, dez. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112764.htm. Acesso em: 01 dez 2024.
- [3] Souza, Andriara Cristina de; Silva, Guilherme Henrique Gomes da. Incluir não é Apenas Socializar: as Contribuições das Tecnologias Digitais Educacionais para a Aprendizagem Matemática de Estudantes com Transtorno do Espectro Autista. Bolema: Boletim de Educação Matemática, v. 33, n. 65, p. 1305–1330, set. 2019.
- [4] Brasil. MEC. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- [5] Brasil. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União, Brasília/DF, jul. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 02 dez. 2024.
- [6] Aguiar, Bernardo; Correia, Walter; Campos, Fábio. "Uso da escala likert na análise de jogos." Salvador: SBC-Proceedings of SBGames Anais 7.2 (2011). Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Campos-7/publication/266051378_Uso_da_Escala_Likert_na_Analise_de_Jogos/links/54b1b66e0cf28e92e18fdb/Use-da-Escala-Likert-na-Analise-de-Jogos.pdf
- [7] Liu, Weiyuan. Natural user interface-next mainstream product user interface. 2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1Doi: 10.1109/CAIDCD.2010.5681374Acesso em 28 mar 2019.
- [8] Alves, Adriana Gomes. Interfaces naturais em jogos digitais para aprendizagem de matemática em estudantes com deficiência. Revista temática, v. 17 n. 01 (2021): Janeiro. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1807-8931.2021v17n01.57152>. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/tematica/article/view/57152>. Acesso em: 3 jul. 2023.
- [9] Dresch, A.; Lacerda, D. P.; Antunes Jr, J. A. V. Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- [10] Bernardino, Sílvia Andréa do Prado. MANUAL DE ATIVIDADES MATEMÁTICAS PARA CRIANÇAS COM TRANSTORNO DO ESPECTRO AUTISTA. 2021. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/701124>.
- [11] Amaral, Máisa Allana Rabello do. Contribuições de jogos digitais na aprendizagem matemática de um aluno autista. 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/200909/001104511.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 05 dez 2023.
- [12] Chaves, Jonathan E. Jogo Digital para Aprendizagem de Matemática Utilizando Material Dourado como Interface Tangível. Itajaí, 2018. 69 f. Trabalho Técnico-científico de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Escola do Mar, Ciência e Tecnologia, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2018.
- [13] Ferronato, Ana Carolina Clivatti, SANT' ANNA, Andrew de Castro. Interfaces Naturais e Interfaces Tangíveis. 2017. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/srespo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/artigoIHC2.pdf>.
- [14] Hsiao, Hui-Chun. A Brief Review of Digital Games and Learning. DIGITEL 2007, The First IEEE International Workshop on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007. 124-129 p. Disponível em: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/DIGITEL.2007.3>. Acesso em 5 dez. 2023.
- [15] Mitchell, Alice; Savill-Smith, Carol. The use of computer and video games for learning: A review of the literature. Londres: Learning and Skills Development Agency (LSDA), 2004. Disponível em: <http://www.lsd.gov.uk/files/PDF/1529.pdf>. Acesso em 05 dez. 2023.

- [16] Prensky, M.: Digital Natives Digital Immigrants. In: PRENSKY, Marc. On the Horizon. NCB University Press, Vol. 9 No. 5, October (2001a). Disponível em <<http://www.marcprensky.com/writing/>>.
- [17] Solem, Jan Erik. Programming Computer Vision with Python: Tools and algorithms for analyzing images. " O'Reilly Media, Inc.", 2012.
- [18] Wigdor, Daniel; Wixon, Dennis. Brave NUI world: Designing Natural Interfaces for Touch and Gesture. San Francisco: Elsevier, 2010.