

O que me diz seu olhar: rastreamento ocular de crianças com e sem autismo em jogos educacionais digitais de matemática

What does your gaze tell me: eye tracking of children with and without autism in digital educational mathematics games

Lo que me dice su mirada: seguimiento ocular de niños con y sin autismo en juegos educativos digitales de matemáticas

Andiara Cristina de Souza 
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, Brasil.
ancrisou@gmail.com

João dos Santos Carmo 
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, Brasil.
joaocarmo.dpsi@gmail.com

Priscila Benitez 
Universidade Federal do ABC, Santo André – SP, Brasil.
priscila.benitez@ufabc.edu.br

Jasson Carvalho da Silva 
Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil.
jassonjcs11@gmail.com

Recebido em 22 de novembro de 2023

Aprovado em 25 de fevereiro de 2025

Publicado em 19 de março de 2025

RESUMO

Este artigo teve como objetivo comparar o comportamento ocular de crianças com e sem autismo na realização de tarefas de adição simples em Jogos Educacionais Digitais (JEDs) disponibilizadas na *web*, a fim de verificar se existe diferenças na fixação ocular dos elementos relevantes e irrelevantes das tarefas. Buscamos responder ao seguinte questionamento: Ao realizar atividades de adição simples em

JEDs de matemática, crianças com e sem autismo apresentam maior número de fixação ocular nos elementos gráficos da tarefa ou nos elementos secundários? Para atender ao objetivo proposto, realizamos uma análise do rastreamento ocular de 8 (oito) crianças durante a realização de tarefas de adição simples. Os dados obtidos por meio do rastreamento ocular geraram métricas relativas ao tempo e número de fixações dos participantes em cada uma das atividades, o que possibilitou analisar quantidade de vezes e o tempo que os participantes olharam para os elementos relevantes e irrelevantes da tarefa. Os resultados obtidos trouxeram indícios de que crianças com e sem autismo com idade e repertório de entrada matemático semelhantes, expostas às mesmas condições de ensino, não apresentam diferenças significativas de desempenho em JEDs. Interfaces gráficas do usuário com baixa acessibilidade interferem no tempo de execução das tarefas para todas as crianças participantes do estudo, uma vez que fazem com que elas passem mais tempo olhando para os elementos irrelevantes da tarefa. Para que os JEDs possam ensinar adição, é necessário que possuam interfaces amigáveis, instruções curtas, consequências diferenciais imediatas e favoreçam a personalização.

Palavras-chave: Jogos Digitais; Acessibilidade; Interface.

ABSTRACT

This article aimed to compare the eye behavior of children with and without autism in performing simple addition tasks Digital Educational Games (DEGs) available on the web to verify if there are differences between them when looking at the relevant and irrelevant elements of the tasks. We seek to respond to the following question: When performing simple addition activities in math DEGs, do children with and without autism have a higher number of ocular fixation in the graphic elements of the task or in the secondary elements? To meet the proposed objective, we performed an analysis of eye screening of 8 (eight) children while performing simple addition tasks. The data obtained through eye tracking generated metrics related to the time and number of fixations of the participants in each of the activities. What made it possible to analyze the number of times and the time participants looked at the relevant and irrelevant elements of the task. The results showed evidence that children with and without autism with similar age and mathematical input repertoire, exposed to the same teaching conditions, do not present significant differences in performance in DEG. Graphical user interfaces with low accessibility interfere with task execution time for children with and without autism, as they make them spend more time looking at the irrelevant elements of the task. For DE to be able to teach addition, they must have user-friendly interfaces, short instructions, immediate differential consequences and encourage personalization.

Keywords: Digital Games; Accessibility; Interface.

RESUMEN

Este artículo tuvo como objetivo comparar el comportamiento ocular de niños con y sin autismo en la realización de tareas de adición simple - en Juegos Educativos Digitales (JED) disponibles en la web para comprobar si existen diferencias entre ellas al examinar los elementos relevantes e irrelevantes de las tareas. Buscamos responder al siguiente cuestionamiento: Al realizar actividades de adición simple en Jeds de matemáticas, ¿los

niños con y sin autismo presentan mayor número de fijación ocular en los elementos gráficos de la tarea o en los elementos secundarios (irrelevantes)? Para cumplir con el objetivo propuesto, realizamos un análisis del rastreo ocular de ocho niños durante la realización de tareas de adición simple. Los datos obtenidos por medio del rastreo ocular generaron métricas relativas al tiempo y número de fijaciones de los participantes en cada una de las actividades. Esto permitió analizar la cantidad de veces y el tiempo que los participantes observaron los elementos relevantes e irrelevantes de la tarea. Los resultados obtenidos mostraron indicios de que niños con y sin autismo con edad y repertorio de entrada matemático similares, expuestos a las mismas condiciones de enseñanza, no presentan diferencias significativas de desempeño en JED. Las interfaces gráficas de usuario con baja accesibilidad interfieren con el tiempo de ejecución de las tareas para niños con y sin autismo, ya que les hacen pasar más tiempo mirando los elementos irrelevantes de la tarea. Para que los JED puedan enseñar la suma, deben tener interfaces fáciles de usar, instrucciones breves, consecuencias diferenciales inmediatas y fomentar la personalización.

Palabras clave: Juegos digitales; Accesibilidad; Interfaz.

Introdução

A literatura tem trazido evidências da eficácia de Jogos Educacionais Digitais (JEDs) para a aquisição de habilidades acadêmicas matemáticas por crianças com autismo (Farias et al., 2014; Guimarães, 2018; Souza, 2019). Todavia, o processo de escolha de JEDs deve ser precedido de uma avaliação de acessibilidade dos mesmos, principalmente no que diz respeito à Interface Gráfica do Usuário (IGU). Isto porque a IGU utilizada pode promover facilidades ou barreiras de usabilidade (Britto; Pizzolato, 2018).

Por meio da IGU, o usuário é capaz de manipular os dados de um determinado sistema, promovendo nele modificações (Johnson, 2001). A IGU é responsável por estabelecer a comunicação entre o sistema informático e o seu usuário, ligando-os por meio de transmissão de informações e permitindo acesso às funcionalidades disponibilizadas pelo sistema (Filatro, 2008; Lévy, 1993; Preece et al., 2005).

A IGU afeta a maneira com que o usuário compreende visualmente, acessa e interage¹ com o conteúdo apresentado, contribuindo tanto para o bom desenvolvimento das atividades ofertadas pelo sistema quanto para o contrário. Por isso, deve ser planejada de forma estratégica, visando auxiliar no entendimento das informações (Lévy, 1993; Preece et al., 2005).

Levando em consideração o crescente uso de JEDs enquanto recursos pedagógicos, compreender os elementos da IGU e adotar interfaces amigáveis² é importante para assegurar a eficácia dos mesmos (Filatro, 2008). Isto porque a qualidade da IGU interfere não apenas na usabilidade do recurso, mas também no engajamento, na experiência que o estudante terá ao manipulá-lo e, ainda, na compreensão e assimilação do conteúdo (Peters, 2013). Assim, a escolha de um JED deve ser precedida de uma avaliação minuciosa da IGU, a fim de verificar se ela é adequada ou não para o público que se pretende atingir.

A IGU representa um importante elemento na Interação Humano-Computador (IHC), podendo ser um preditor de sucesso ou insucesso para um determinado *software* ou aplicativo (Pavlov, 2014). Interfaces simples, intuitivas e fáceis de usar dão maior confiança e satisfação ao usuário. Isso porque possibilitam atingir os objetivos propostos com menos esforço, menos erros e dentro de um espaço de tempo menor (Cybus, 2010).

No campo educacional, a interface influencia no engajamento do estudante durante o desenvolvimento de determinada tarefa, em sua atenção e por quanto tempo e de que forma consegue manter a utilização do recurso. Mudanças, ainda que pequenas, na interface podem interferir na experiência do usuário, tornando o recurso eficaz ou não (Peters, 2013). Por isso, interfaces destinadas à aprendizagem devem ser centradas no aprendiz e possibilitar que seu uso se dê de forma acessível por diferentes tipos de usuários e sem impor qualquer obstáculo (Peters, 2013).

A disponibilização dos elementos gráficos na IGU pode conduzir a atenção visual do usuário a um determinado aspecto do conteúdo disponibilizado. Por esta razão, deve ser planejada cuidadosamente, visando facilitar o entendimento e clareza das informações (Preece et al., 2005). Apesar de sua importância, estudos sobre a acessibilidade da IGU e a influência de seus elementos no engajamento e processo atencional de pessoas com autismo ainda são escassos, principalmente no que diz respeito a JEDs (Aquino et al, 2021).

Aquino et al. (2021) realizaram uma revisão bibliográfica sistemática, visando analisar estudos que abordavam a relação interdigital entre as crianças com autismo e as interfaces gráficas de JEDs. Os autores efetuaram a busca junto às bases de dados *Scopus*, *EBSCO*, *PubMed* e *Web of Science*, abrangendo trabalhos tanto em inglês quanto em português, entre os anos de 2015 e 2021. Foram identificados três estudos abordando a temática, sendo dois desenvolvidos na Malásia nos anos de 2016 e 2019 e um no Canadá no ano de 2020. Com base nos resultados, os autores concluíram que estudos visando estabelecer relações entre interface gráfica e aprendizagem de crianças com autismo se encontram em fase inicial, havendo uma lacuna considerável na literatura.

Grynszpan et al. (2008) conduziram um estudo longitudinal junto a crianças com e sem autismo, visando avaliar o impacto de interfaces multimídia que incluíam texto, fala e imagens na aprendizagem destes. Participaram do estudo 10 meninos com autismo com nível de apoio 1, com idade média de 12 anos, e 10 crianças (oito meninos e duas meninas) sem autismo, com idade média de nove anos e sete meses. Ambos os grupos apresentavam as mesmas características quanto à idade de desenvolvimento e nível acadêmico. Os sujeitos participaram da testagem de um *software* de treinamento direcionado a distúrbios de comunicação com diferentes tipos de interfaces. As interfaces apresentaram elementos gráficos variados em relação a quantidade de imagens, textos e sons. Os participantes com autismo não conseguiram fazer uso da expressão facial que correspondia à resposta correta ou não conseguiram observar a presença das expressões faciais que responderiam à questão em interfaces de multimídia mais complexas, apresentando um menor desempenho em comparação com participantes sem autismo, apresentando alterações no engajamento e atenção. Sendo que a aprendizagem ocorreu quando a interface do jogo era simples.

Eraslan et al. (2018) investigaram as semelhanças e diferenças apresentadas por pessoas com e sem autismo na busca de informações em páginas da *web*. O estudo utilizou o rastreamento ocular. A amostra foi composta de 18 participantes com autismo de nível 1 de suporte e 18 participantes sem autismo. Foram apresentadas a cada participante, de forma randomizada, seis páginas da *web* com níveis de complexidade variados, e solicitado que executassem tarefas específicas em cada uma delas, tendo cada tarefa o tempo máximo de trinta segundos. Também foram distribuídos questionários solicitando que os participantes opinassem sobre o nível de dificuldade encontrado ao realizar as tarefas propostas e sua familiaridade com as páginas apresentadas. Os resultados sugeriram que pessoas com autismo tendem a ter menos sucesso em completar tarefas de busca em um curto espaço temporal e, também, a olhar mais para elementos irrelevantes em páginas da *web* e fazer mais transições entre os elementos, em comparação com pessoas sem autismo. Além disso, elas tendem a fazer fixações mais curtas, porém mais frequentes, em elementos que não estão diretamente relacionados a tarefa.

Uitdenbogerd et al. (2022) conduziram um estudo junto a 12 pessoas com autismo e 26 pessoas sem autismo, buscando analisar o impacto de elementos animados (irrelevantes) presentes na IGU em páginas de pesquisa da *web*. Os participantes foram solicitados a realizar um conjunto de seis tarefas na presença ou ausência de animações na tela. Cada uma das condições de animação consistia em um logotipo universitário rotativo – o tamanho e a velocidade rotacional variavam em cada tarefa. O experimento foi conduzido *on-line*, a partir do compartilhamento de tela via *Skype*. Os participantes também responderam a dois questionários envolvendo temáticas relacionadas à tarefa realizada: um aplicado após a execução de uma determinada tarefa e outro após a conclusão de todas as tarefas. Além dos dados coletados por meio do aplicativo da *web* e de formulários de pesquisa digital, uma reunião *on-line* foi gravada na tela para análise posterior. Os resultados do experimento revelaram pouca diferença no tempo gasto ou no sucesso da tarefa de consulta pelos dois grupos. Todavia, as estratégias utilizadas pelos participantes foram diferenciadas, sendo que mais participantes dos dois grupos utilizaram a ferramenta de colagem quando da presença de animações. Os participantes com autismo também relataram que a tarefa era mais difícil e irritante quando a animação estava presente, o que não foi relatado pelos participantes sem autismo. Os autores concluíram que, mesmo para tarefas curtas, como formular uma consulta de pesquisa, seria benéfico evitar a presença de elementos irrelevantes em interfaces *web*.

Alzahrani et al. (2022) analisaram o impacto de animações da IGU em indivíduos adultos com e sem autismo durante a realização de diferentes tipos de tarefas na *web* (enviar *e-mail*, montar quebra-cabeça, escolher um prato no menu, ler e responder a perguntas relativas ao parágrafo selecionado de um texto, realizar uma consulta em *site* de pesquisa). O estudo foi *on-line*, a partir da gravação de tela e respostas de questionários que buscaram avaliar a duração da tarefa, taxa de conclusão, número de erros e carga de trabalho percebida. Cada sessão consistia na realização das seis tarefas apresentadas em condições particulares de animação e em responder a um questionário *on-line* relacionado à execução da tarefa. Os resultados obtidos no estudo sugeriram que a presença de animações na IGU afetou significativamente o desempenho de participantes com e sem autismo na realização de tarefas na *web*. Revelaram, ainda, que pessoas com autismo se distraem em maior medida, gerando maior frustração e esforço mental para realização da

tarefa quando da presença de elementos distratores, como animações, em comparação com pessoas sem autismo.

Deering (2013), fazendo uso de rastreamento ocular analisou a existência de diferenças no processamento cognitivo de *sites* por usuários com e sem autismo. Participaram do estudo adultos com e sem autismo, na faixa etária variando entre 18 e 24 anos, sendo estudantes de graduação ou pós-graduação. De um total de 152 participantes que completaram a fase inicial da pesquisa, 144 foram eleitos para compor o grupo controle e 7 para o grupo clínico. Para a fase laboratorial com o estudo de rastreamento ocular, participaram apenas 10 (escolhidos aleatoriamente) participantes do grupo controle e 6 do grupo clínico, tendo um sido excluído em virtude de não conseguir obter a calibração do olhar. Foi solicitado aos participantes que analisassem o propósito, a autoria, a publicidade e a navegação de oito *sites* populares na *web*. Os *sites* e as questões foram apresentadas de forma randomizada para os participantes individualmente. Em um segundo momento, foi solicitado aos participantes que encontrassem informações específicas nos *sites*. A última parte do estudo foi composta de uma entrevista aberta com os participantes, acerca da pesquisa realizada. Os resultados não revelaram a existência de diferenças de processamento por ambos os grupos, trazendo evidências de que indivíduos com ou sem autismo podem enfrentar as mesmas facilidades e barreiras ao avaliar o conteúdo de *sites* da internet.

Considerando que os estudos de Grynszpan et al. (2008), Eraslan et al. (2018) e Uitdenbogerd et al. (2022) revelaram diferenças de desempenho entre pessoas com e sem autismo em atividades envolvendo diferentes tipos de interface, e os de Alzahrani et al. (2022) e Deering (2013) não apresentaram estas diferenças; e, ainda, os efeitos de estímulos distratores e secundários às tarefas, questiona-se sobre o impacto dos elementos relevantes e irrelevantes da interface para crianças com e sem autismo. O estudo descrito neste artigo teve como objetivo comparar o comportamento ocular de crianças com e sem autismo na realização de tarefas de adição simples em JEDs disponibilizados na *web*. Buscamos responder ao seguinte questionamento: Ao realizar atividades de adição simples em JEDs de matemática, crianças com e sem autismo apresentam maior número de fixação ocular nos elementos gráficos da tarefa ou nos elementos secundários (irrelevantes)?

Método

Participantes

Participaram do estudo quatro crianças com autismo de grau leve a moderado e quatro crianças com desenvolvimento típico. A idade dos participantes era sete, oito e nove anos. Todos tinham acuidade visual normal, não necessitavam de uso de qualquer tipo de órtese. Os participantes com autismo preencheram os critérios diagnósticos de TEA no DSM-5 (APA, 2014), com diagnóstico fechado, de acordo com prontuário clínico, sendo que os mesmos frequentam as salas de Atendimento Educacional Especializado (AEE) da instituição em que a primeira pesquisadora trabalha.

Para assegurar que os participantes tivessem o mesmo repertório de entrada na área da matemática, além da idade cronológica e escolarização, foi aplicado o Protocolo de

Registro e Avaliação das Habilidades Matemáticas (PRAHM) (Costa et al., 2017). A Tabela 1 apresenta as características dos participantes: idade, gênero, escolaridade e pontuação obtida no PRHAM.

Tabela 1 - Descrição dos participantes

Participante	Idade	Gênero	Escolaridade	Pontuação PRHAM
C1	8	F	3° ano Ens. Fund.	34 pts
C2	7	M	2° ano Ens. Fund.	32 pts
C3	8	F	3° ano Ens. Fund.	33 pts
C4	9	M	4° ano Ens. Fund.	30 pts
C5	8	M	3° ano Ens. Fund.	34 pts
C6	8	M	3° ano Ens. Fund.	31pts
C7	7	M	2° ano Ens. Fund.	30 pts
C8	9	M	3° ano Ens. Fund.	32 pts

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - CAAE nº 59103522.3.0000.5504. A condução da pesquisa foi realizada com a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos pais/responsáveis dos participantes, e concordância do próprio participante por meio da assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE).

Ambiente experimental

A coleta de dados dos estudantes com autismo se deu no laboratório de informática da instituição onde a primeira pesquisadora trabalha e que os participantes frequentam no contraturno da escola regular. O espaço conta com 10 computadores *desktop* disponibilizados em mesas dispostas em "L", 10 cadeiras, acesso à internet, lousa digital, projetor e um armário, iluminação e ventilação artificiais. Tendo em vista que os computadores *desktop* não possuíam *webcam*, e sendo este equipamento fundamental para a coleta de dados, optou por fazer uso de *laptop*. Quanto aos participantes sem autismo, a coleta se deu no escritório da primeira pesquisadora, a sala que conta com uma mesa, duas poltronas, uma cadeira, uma impressora, um armário, um *laptop* com acesso à internet, iluminação e ventilação artificiais. Para coleta dos dados, foi utilizado o mesmo equipamento, a fim de assegurar as mesmas condições técnicas. Ambos os ambientes são livres da presença de estímulos distratores (sons externos, presença de brinquedos ou qualquer outro objeto capaz de desviar a atenção dos participantes). Para a realização das tarefas, os participantes fizeram uso de *mouse* conectado ao *laptop* por meio de porta USB.

Estímulos

Foram utilizados, como estímulos experimentais, dois JEDs contendo tarefas de adição simples (adição até 10), selecionados do *site* Coquinhos³. A escolha por atividades contidas nessa página da *web* se deu em virtude da disponibilização gratuita, fácil acesso aos professores e por ter conteúdo que contemple o repertório de entrada matemático dos participantes. Para a seleção das tarefas, foram utilizados como critérios de inclusão: a) estar de acordo com o repertório matemático dos participantes, previamente avaliado a

partir do instrumento PRAHM; b) ser inédita aos participantes e c) atender aos critérios de acessibilidade e baixa acessibilidade.

A fim de evitar qualquer tipo de viés que pudesse prejudicar a eficácia e validade dos dados, assegurou-se de que os JEDs eram inéditos aos participantes. Para tanto, realizou-se os seguintes procedimentos: apresentou, previamente, os estímulos aos pais e professores e, também, questionou junto aos participantes, quando do início da sessão, se eles conheciam ou já haviam tido algum contato prévio com os jogos (estímulos). Sendo assegurado, portanto, que era a primeira vez que os participantes tinham contato com os estímulos, os mesmos foram selecionados para compor o estudo.

Ambos os estímulos tinham como objetivo a realização de operações de adição simples (adição até 10 com um dígito). Todavia, a IGU em cada um deles se diferenciava com relação à presença de elementos gráficos relevantes (necessários para a execução da tarefa) e elementos gráficos irrelevantes (considerados como distratores para a execução da tarefa)⁴. A Figura 6 apresenta, na cor amarela, os elementos relevantes e, na cor vermelha, os irrelevantes para cada tarefa. A execução das atividades contendo o estímulo 1 foi designada como tarefa 1, e envolvendo o estímulo 2, tarefa 2.

Figura 1 - Elementos relevantes e irrelevantes das tarefas 1 e 2



Fonte: <https://www.coquinhos.com>

Para realizar a tarefa 1, “Jogo A”, o participante deveria: 1) olhar a operação matemática disposta no centro da tela (as operações apareciam de forma randomizadas para cada participante) e apontar com o dedo qual estímulo estava sendo apresentado; 2) realizar o cálculo mental; 3) olhar e tocar os numerais dispostos abaixo da operação; 4) posicionar o cursor do *mouse* e clicar no numeral correspondente ao resultado da operação realizada.

Caso o participante selecionasse o estímulo de comparação que correspondia corretamente ao estímulo modelo apresentado, tinha como consequência imediata a emissão de um som festivo e uma nova operação era disponibilizada na tela. Se a resposta estivesse incorreta, a consequência imediata era a queda de uma parte do corpo do robô (ex.: braço direito), seguida da emissão de um ruído característico de “quebra de objeto”. A

resposta correta era apresentada na tela logo após o sinal de “=” e a resposta incorreta apresentada pelo participante era grifada em vermelho na linha de respostas.

No total, foi apresentado um bloco de 20 tentativas para cada participante. Uma tentativa é descrita como uma operação de adição de dois dígitos simples até 10 ($1+3=$) e, para cada tentativa, havia 5 estímulos de comparação (ex.: 1, 4, 5, 7, 8) (condição do próprio jogo e impossível de personalização pelos pesquisadores), dos quais apenas um correspondia à solução correta para a operação apresentada no estímulo modelo. Essas tentativas eram randomizadas tanto para o estímulo modelo, quanto para o estímulo de comparação. O tempo total concedido a cada participante para a realização da tarefa foi de 10 minutos⁵.

Na tarefa 2 “Jogo B”, o participante deveria: 1) olhar a operação matemática disposta no centro da tela e apontar com o dedo qual estímulo estava sendo apresentado; 2) realizar o cálculo mental; 3) olhar e tocar os numerais dispostos à esquerda das operações; 4) posicionar o cursor do *mouse* e clicar no numeral correspondente ao resultado da operação realizada.

Caso o participante selecionasse o estímulo de comparação que respondia corretamente ao estímulo modelo apresentado, tinha, como consequência imediata, a disponibilização de uma ração. Esta percorria todo o tubo até chegar à vasilha posicionada abaixo do cachorro, e, ao mesmo tempo, um sinal visual de acerto, na cor verde, surgia ao lado do estímulo de comparação selecionado pelo participante. Se a resposta estivesse incorreta, a consequência imediata era a permanência da operação na tela até que o participante selecionasse o estímulo de comparação considerado como resposta correta.

No total, foram apresentados nove estímulos modelos para cada participante. O número de tentativas permitidas para cada estímulo diminuía gradativamente (condição trazida pelo próprio JED e não uma programação efetuada pelos pesquisadores), sendo que o número de limite de tentativas para realização de cada operação diminuía gradativamente (Quadro 1). O tempo total concedido a cada participante, para a realização da atividade, foi de 10 (dez) minutos.

Quadro 1 - *Condição de ensino apresentada na Tarefa 2 – Jogo B*

Estímulo modelo	Quantidade de tentativas
1+1	9
1+2	8
1+3	7
1+4	6
1+5	5
1+6	4
1+7	3
1+8	2
1+9	1

Fonte: Autores (2023)

Equipamento

Para a coleta de dados, foi utilizado um *laptop* com processador *Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz*, com *web cam full hd* integrada e sistema operacional *Windows 11 Home Single Language*, como *hardware* de rastreamento ocular, e a plataforma *on-line RealEye.io*, para gerenciar o experimento e adquirir dados de comportamento do olhar.

O *RealEye.io* é uma ferramenta *on-line* de rastreamento ocular que utiliza um *laptop* comum para executar uma rede neural de inteligência artificial (IA) que analisa as imagens capturadas pela *webcam*. Esta tecnologia tem sido utilizada como uma alternativa para estudos envolvendo rastreamento ocular por apresentar menores custos do que os equipamentos infravermelhos tradicionais e pela eficácia na coleta e produção de dados em tempo real (Federico; Brandimonte, 2019; Federico et al., 2021).

Para garantir a acurácia dos resultados, foram seguidas as recomendações do desenvolvedor: a) manter o *laptop* sobre uma mesa fixa, assegurando que não houvesse movimentações do equipamento; b) posicionar os participantes a uma distância de 50 a 60 centímetros da *webcam*; c) assegurar que o rosto do participante estivesse bem iluminado e visível na *webcam*.

Foram observadas, ainda, as recomendações referentes aos requisitos de *software* e *hardware* solicitados pelo desenvolvedor⁶. Com estes cuidados, de acordo com o desenvolvedor, a precisão chega a 100 pix -(um pix corresponde a unidade básica que compõe uma imagem digital, sendo o menor ponto que pode conter uma informação de cor)

Procedimentos

Cada participante realizou cinco sessões de 30 (trinta) minutos cada, sendo as três primeiras preparatórias para a coleta de dados com uso do rastreador ocular, e nas duas últimas foram realizados os experimentos de captura do movimento ocular. As sessões se deram de forma individualizada.

Na primeira sessão, foram dadas informações básicas aos participantes: objetivos e a forma como seria realizado o experimento, coletada a assinatura dos mesmos no TALE e buscou-se estabelecer laços de confiança. Na segunda sessão, a fim de avaliar a capacidade dos participantes em compreender ordens simples e manipular o *mouse*, bem como olhar e interagir com a IGU do JED, os mesmos realizaram tarefas de memorização (jogo da memória) e pareamento digitais. Na terceira sessão, foi aplicado o instrumento PRAHM, a fim de avaliar o repertório de entrada matemático dos participantes. Na quarta e quinta sessões, foram realizados os experimentos de rastreamento ocular.

Para captura dos movimentos oculares, os participantes foram posicionados em uma cadeira postada à frente da mesa em que se encontrava o *laptop*, a uma distância de 60 cm, com iluminação artificial superior e frontal, de modo a assegurar a iluminação completa de suas faces, visando maior precisão da captura dos dados. Após o posicionamento, explicou-se para o participante os procedimentos necessários e procedeu-se à calibração do equipamento.

O processo de calibração era bastante extenso. Nele, os participantes deveriam arrastar o cursor do *mouse* sobre um ponto vermelho que aparecia sequencialmente em 40 partes da tela sobre 3 *backgrounds*, com diferentes tonalidades de cores (branco, preto e cinza), e, posteriormente, fixar o seu olhar sobre 4 pontos vermelhos, que apareciam simultaneamente na tela, até que os mesmos “estourassem” (Figura 2). Criou-se uma história de que o ponto vermelho estava fugindo do participante e ele deveria capturá-lo. Isto para manter o interesse e evitar que o participante desviasse o olhar da tela, o que poderia impossibilitar a calibragem do equipamento.

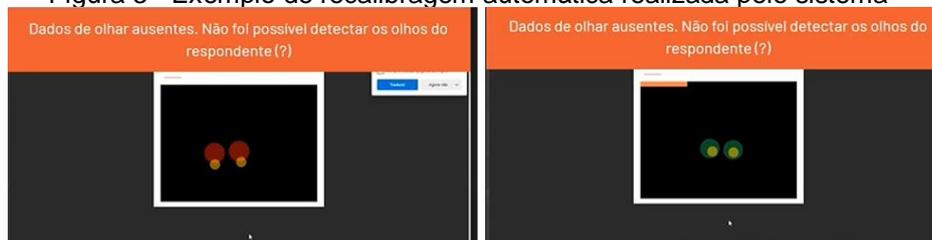
Figura 2 - Etapas de calibração do equipamento



Fonte: RealEye

O tempo despendido para calibração do equipamento variou de 6 a 10 minutos. Caso os participantes desviassem o olhar da tela, o sistema solicitava recalibragem automática (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de recalibragem automática realizada pelo sistema



Fonte: RealEye

Caso o participante ficasse mais de 30 segundos sem olhar para a tela ou não conseguisse posicionar o olhar no local determinado, a gravação era encerrada, pois a coleta dos dados poderia estar prejudicada. Em situações como esta, deveria se retornar ao processo de calibração inicial.

Finalizada a calibração, apresentou-se, oralmente, instruções gerais sobre a atividade, que consistiam nas seguintes orientações:

- a) Indicar onde o participante deveria clicar para iniciar a tarefa;
- b) Solicitar que o participante identificasse o estímulo modelo, apontando-o com o dedo;
- c) Apresentar os estímulos de comparação e pedir que os participantes os identificassem, apontando na tela com o dedo.

d) Orientar como deveria ser realizada a tarefa, de acordo com as etapas já descritas anteriormente.

Após as orientações iniciais, foi solicitado ao participante que desse início à tarefa. Tendo em vista que um dos objetivos do estudo era que a criança realizasse com autonomia a atividade, optou-se por não fornecer nenhum tipo de apoio, deixando que os participantes realizassem a tarefa de forma livre. Apoios somente seriam realizados se estritamente necessários.

A tarefa deveria ser realizada no tempo máximo de 10 minutos – (tempo estabelecido por tratar-se de jogos que possuíam diversos estímulos modelos - 20 na tarefa 1 e 9 na tarefa 2). Findo o tempo, concluída ou não em sua integralidade, a tarefa era encerrada, e a sessão finalizada.

Importante destacar que a primeira autora se posicionou em uma cadeira ao lado do participante e um pouco atrás deste, para que pudesse observar a realização da tarefa e, ao mesmo tempo, não ocasionar qualquer interferência no processo de gravação. Os dados brutos foram salvos no formato “cvs” e, posteriormente, analisados.

Resultados

Os participantes realizaram todas as operações disponibilizadas sem qualquer tipo de auxílio. A resolução das tarefas propostas se deu dentro do tempo concedido para sua execução por todos os participantes. Com relação ao desvio do olhar, este foram poucos e encontram-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - *Dados sobre a necessidade de calibragem automática durante a realização das tarefas*

Participante	Tarefa	Número de calibrações	Razão da Calibragem	Duração da calibragem
C1	1	1	Virou a cabeça em direção à pesquisadora para comemorar o acerto.	00:00:08
	2	1	Virou-se para mostrar a razão para a pesquisadora.	00:00:05
C2	1	2	Desviou o olhar para fazer um comentário com a pesquisadora. Quando não acertou, olhou para a pesquisadora para comentar sobre o erro.	00:00:05 (1ª) 00:00:07 (2ª)
	1	2	Mau posicionamento: abaixou o corpo na cadeira. Mau posicionamento: abaixou o corpo na cadeira.	00:00:18 (1ª) 00:00:11 (2ª)
C4	1	1	Olhou para a pesquisadora para comentar que estava acertando tudo.	00:00:05
	2	1	Desviou o olhar para comentar com a pesquisadora sobre a razão.	00:00:06
C6	1	2	Ajeitou o corpo na cadeira. Virou-se para melhor posicionar o mouse.	00:00:03 (1ª) 00:00:04 (2ª)
	2	3		00:00:04 (1ª)

			Comentou seu acerto. Comentou que o cachorro estava comendo a ração. Comentou que a atividade era legal.	00:00:03 (2ª) 00:00:04 (3ª)
C7	1	4	Olhou para pesquisadora para perguntar se podia iniciar a tarefa. Levantou os braços para comemorar os acertos. Olhou para a pesquisadora para falar sobre o erro. Mau posicionamento na cadeira.	00:00:06 (1ª) 00:00:08 (2ª) 00:00:06 (3ª) 00:00:05 (4ª)

Fonte: Autores (2023)

Ao analisar os dados trazidos na Tabela 2, é possível verificar que os participantes desviaram poucas vezes o olhar da tela. Os desvios não ocorreram em virtude de cansaço, falta de atenção ou inadequação à tarefa, mas por questões ergonômicas e, também, pelo desejo dos participantes em relatarem suas ações.

Esses dados indicam que as tarefas selecionadas estavam adequadas ao repertório matemático dos participantes e estes conseguiram compreender o conteúdo e os objetivos das mesmas, realizando-as com autonomia.

Ainda com relação à necessidade de calibragem automática, é possível verificar que, enquanto na sessão da tarefa 1, seis participantes (C1, C2, C3, C4, C6 e C7) necessitaram de valer-se desse recurso, na sessão da tarefa 2 esse número se reduziu à metade (C1, C4 e C6). Isso pode estar ligado à familiarização dos participantes com o rastreamento ocular.

Para análise dos focos atencionais e do comportamento ocular dos participantes com relação aos elementos da IGU, foi realizado o isolamento das áreas de interesse (AOIs - Area of Interest) em torno desses elementos, conforme descrito anteriormente, bem como capturados o número e o tempo de duração das fixações para cada um deles. O desempenho de cada um dos participantes pode ser visualizado na Tabela 3 (tempo de execução da tarefa⁷, quantidade de acerto e erros, número e tempo de fixações (registrado em segundos) em elementos gráficos relevantes e irrelevantes). Tendo em vista que a tarefa 2 possibilitava mais de uma tentativa para apresentação da resposta correta, consideramos como acerto as respostas corretas apresentadas na primeira tentativa.

Tabela 3 - Desempenho geral dos participantes por tarefa

Participante	Tarefa	Tempo de execução	Nº de estímulos modelos	Acerto	Erro	Nº de fixações nos elementos gráficos		Tempo das fixações nos elementos gráficos	
						Relevantes	Irrelevantes	Relevantes	Irrelevantes
C1	1	00:02:10	20	20	0	167	179	35,386	33,838
	2	00:02:14	9	9	0	123	267	22,331	47,697
C2	1	00:03:35	20	19	1	500	215	78,944	32,34
	2	00:05:46	9	9	0	161	825	23,098	120,73
C3	1	00:03:11	20	20	0	87	218	13,997	38,996
	2	00:02:14	9	9	0	76	349	16,219	65,075
C4	1	00:01:40	20	20	0	71	82	11,565	12,341
	2	00:02:15	9	9	0	71	257	10,553	42,585
C5	1	00:02:52	20	19	1	26	119	3,537	15,829

	2	00:02:15	9	9	0	41	96	5,752	13,235
C6	1	00:03:32	20	16	4	106	71	15,865	10,289
	2	00:03:51	9	8	1	35	158	5,193	23,119
C7	1	00:07:26	20	18	2	117	419	17,022	62,108
	2	00:02:44	9	9	0	52	175	8,807	32,739
C8	1	00:04:03	20	20	0	327	101	55,07	15,527
	2	00:02:14	9	9	0	8	67	1,439	10,852

Fonte: Autores (2023)

No geral, as pontuações na conclusão das tarefas foram altas, conforme descrito na Tabela 3 acima. Isso demonstra que a tarefa estava adequada ao repertório de entrada matemático dos participantes e que os mesmos conseguiram compreender o que fora solicitado em cada um dos estímulos modelos. E realizaram com autonomia as tarefas propostas, considerando que nenhuma dica verbal ou visual fora ofertada quando da execução de cada uma das tarefas do experimento.

Com exceção de C7, que precisou de um tempo maior que os demais participantes para execução da tarefa 1 (00:07:26), e de C2, cujo tempo mais longo se deu para realização da tarefa 2 (00:05:46), todos os demais participantes apresentaram tempo de execução das tarefas muito próximos, variando entre 2 e 4 minutos para ambas as tarefas. Comparando o tempo médio de realização das tarefas 1 e 2, verificou-se que os participantes gastaram em média 03:34 minutos para realização da tarefa 1 e 02:57 minutos para a tarefa 2, valores estes que aparentemente são pouco significativos. Todavia, levando-se em conta que a tarefa 1 era composta por um bloco de 20 tentativas e a tarefa 2 de um bloco de 9 tentativas, é possível verificar que, mesmo tendo os mesmos objetivos e condições de ensino, a tarefa 2 demandou um tempo maior de execução do que a tarefa 1, quando equiparada à quantidade de tentativas apresentadas.

Em relação às fixações consideradas aqui como “movimentos oculares que estabilizam a retina sobre um objeto estacionário de interesse” (Duchowski, 2003, p. 43), as fixações ocorrem quando o olho se concentra em um determinado elemento da tela, um desenho, um número, uma palavra. Uma fixação representa que o participante fixou o olhar por 100 milissegundos ou mais.

O processo de análise dos dados coletados por meio da plataforma Real Eye se deu seguindo as seguintes etapas: a) os dados foram recebidos da plataforma Real Eye, que registra os pontos de fixação ocular; b) os dados passaram por um processo de formatação para se adequar ao formato exigido pelo algoritmo de análise (trata-se de procedimento estrutural que não altera os valores dos dados); c) foram geradas as fixações oculares, nas quais os pontos de fixação foram agrupados com base em sua proximidade temporal e espacial. Um ponto central foi definido como o início de uma fixação, e quaisquer pontos subsequentes que se enquadrassem em determinado espaço ao redor desse ponto (um quadrado de 200 pixels de lado) foram considerados parte da mesma fixação desde que estivessem dentro de um tempo mínimo (100 milissegundos).

Uma vez geradas as fixações, foi efetuado o cálculo do tempo total de cada fixação. Fixações que não atendiam ao tempo mínimo aqui considerado como sendo 100 milissegundos eram excluídas. Os dados obtidos foram catalogados por participante em uma tabela elaborada no Excel.

Além dos dados obtidos por meio do rastreamento ocular foram utilizadas também as falas dos participantes para realizar a análise dos resultados, as quais foram registradas pela pesquisadora no caderno de pesquisa ao longo da realização de cada uma das sessões com os participantes. Também foram utilizados os vídeos gerados pela plataforma a fim de obter dados sobre o tempo de execução das atividades e necessidade e número e recalibrações por participante.

Constatou-se que, na primeira tarefa, apesar de apresentarem diferenças entre si, o número de fixações em elementos gráficos relevantes equiparou-se ao de fixações em elementos irrelevantes da tela, sendo em média 175,12 fixações para os elementos relevantes e 175,5 para os elementos irrelevantes. Todavia, na segunda tarefa ocorreu uma diferença significativa entre o número de fixações entre elementos relevantes e irrelevantes: em média os participantes apresentaram 70,87 fixações nos elementos relevantes e 274,25 nos irrelevantes.)

Discussão

Este estudo teve como objetivo comparar o comportamento ocular de crianças com e sem autismo na realização de tarefas de adição simples em JEDs disponibilizados na *web*. Buscamos responder ao seguinte questionamento: Ao realizar atividades de adição simples em JEDs de matemática, crianças com e sem autismo apresentam maior número de fixação ocular nos elementos gráficos da tarefa ou nos elementos secundários (irrelevantes)?

Os resultados, obtidos por meio do rastreamento ocular, demonstraram que os tempos de execução, quantidade e número de fixações das crianças com e sem autismo participantes do estudo quando da realização das atividades propostas foram semelhantes. Revelando que as dificuldades e facilidades encontradas por ambos os grupos ocorreram independentemente da condição biopsíquica que envolve o autismo. Esses dados contrariam estudos anteriores desenvolvidos com adultos com autismo e que demonstraram diferenças no processamento de informações disponibilizadas na *web* entre pessoas com e sem autismo (Grynszpan et al., 2008; Rezae et al. 2020; Uitdenbogerd et al., 2022). E corroboram outros estudos em que esta diferença não foi constatada, sendo que adultos com e sem autismo enfrentaram as mesmas facilidades e dificuldades em relação aos elementos da IGU, bem como apresentaram desempenhos similares na realização de tarefas na *web* (Alzahrani et al., 2022; Deering, 2013).

A quantidade e o tempo maiores de fixações em elementos irrelevantes, bem como tempos similares gastos para execução das tarefas 1 e 2, mesmo contendo esta a metade de bloco de tentativas daquela, revelam que a presença de elementos secundários (irrelevantes) na IGU pode levar as crianças com e sem autismo a demorarem mais tempo para compreender e realizar tarefas de JEDs. O foco atencional nos elementos da tela pode interferir no desenvolvimento da atividade e na capacidade de resposta do estudante.

Quando utilizamos muitos elementos distratores na tela, observamos uma inclinação para focar o olhar nesses elementos, em detrimento daqueles relevantes para a execução

da tarefa. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores, que destacam que elementos gráficos irrelevantes atraem mais o foco atencional do usuário do que os elementos relevantes – o que interferiu diretamente no tempo da tarefa (Alzahrani et al., 2022; Uitdenbogerd et al., 2022).

Os dados revelaram, ainda, que a condição de estar no espectro não interfere na forma como as crianças compreendem visualmente os elementos IGU, e nem mesmo no seu desempenho, quando comparadas com crianças fora do espectro pareadas em idade, repertório matemático de entrada e escolaridade. Assim, tem-se que a eficácia ou não dos JEDs está relacionada ao desenho gráfico dos mesmos e não à condição do sujeito que os opera – corroborando estudos que destacam a necessidade de uma interface gráfica simples, fácil e com poucas informações (Britto; Pizzolato, 2018; Filatro, 2018; Peters, 2013).

Ao projetar uma IGU mais limpa, com capacidade de personalização e que leve em conta os diferentes perfis cognitivos, estamos contribuindo para tornar os JEDs mais amigáveis. O objetivo de uma IGU amigável não é apenas facilitar a usabilidade, mas também a atenção visual, compreensão do conteúdo e desempenho do estudante (Cybus, 2010).

Uma interface mal projetada, com excesso de elementos secundários e difícil de ser compreendida visualmente pelo usuário influencia diretamente no engajamento do estudante (Peters, 2013).

Neste sentido, diretrizes de acessibilidade voltadas para estudantes com autismo, como é o caso do GAIA (Britto; Pizzolato, 2016, 2018), podem trazer benefícios também para crianças fora do espectro. Isto porque preveem um *design* mais amigável e intuitivo da IGU, facilitando a usabilidade do usuário. Além de vislumbrarem diferentes estilos cognitivos, indo ao encontro dos princípios inclusivos que visam a construção de uma educação universal.

Dados sobre número de fixações e tempo de fixações em elementos relevantes e irrelevantes de JEDs trazem informações importantes tanto para os desenvolvedores de *softwares* quanto para os professores que fazem uso dos mesmos. Isto porque permitem visualizar, identificar e analisar variáveis críticas que podem levar à baixa eficácia desses recursos tão comumente utilizados em sala de aula.

Tendo em vista que essas medidas dão dicas importantes sobre o foco atencional dos estudantes, o professor pode valer-se das mesmas para ter um melhor controle dos estímulos utilizados. E, a partir daí, programar condições de ensino mais dinâmicas e eficazes e que respeitem as singularidades de cada sujeito. Desse modo, deve assegurar-se de que o JED do qual se lança mão para introduzir ou até mesmo reforçar conteúdo dos componentes curriculares esteja realmente adequado e possa contribuir para o desenvolvimento do estudante com ou sem autismo.

Analisar o JED e como o participante realmente interage com o mesmo é fundamental para assegurar que seu uso seja um preditor de sucesso e não de estagnação da aprendizagem. Os dados do rastreamento ocular possibilitam esta avaliação, já que

permitem identificar o modo como os estudantes compreendem visualmente os estímulos modelos e de comparação de uma determinada tarefa (Cybus, 2010). Sendo mais eficazes do que as técnicas investigativas tradicionais, como questionários e observações *in loco*, pois possibilitam ter medidas precisas sobre o local da tela para o qual a criança está realmente olhando. Além de permitir analisar as preferências da criança com relação aos elementos da IGU.

Estudos dessa natureza permitem lançar um olhar diferenciado sobre as condições de ensino ofertadas às pessoas com autismo, aproximando-se do modelo biopsicossocial da deficiência (OMS, 2013), uma vez que reconhecem o papel dos fatores ambientais enquanto geradores de incapacidades. No caso dos JEDs, a incapacidade e o insucesso podem estar diretamente ligados a um desenho gráfico inadequado e que não contempla diferentes perfis de aprendizagem. Cabe, desse modo, a desenvolvedores, educadores, terapeutas e pais o papel de programar condições de ensino que visem promover a inclusão de todas as crianças, em especial quando se recorre à tecnologia enquanto recurso auxiliar da aprendizagem.

Assim, mudanças positivas na interação com JEDs devem perpassar a adoção de interfaces amigáveis que tornem esses recursos acessíveis a qualquer pessoa. Estas proposições encontram respaldo na própria Lei Brasileira de Inclusão, que traz a necessidade de um desenho universal capaz de possibilitar o uso de um determinado JED por todas as pessoas, sem a necessidade de adaptação ou projeto específico. Projetar e utilizar JEDs realmente acessíveis é um grande passo na busca por uma educação inclusiva.

Uma das limitações desse estudo foi com relação à quantidade de participantes. Recomenda-se que, em estudos futuros, experimentos sejam realizados com um público maior. Sugere-se também que outras medidas implícitas sejam consideradas na análise, como o movimento sacádico e a dilatação da pupila, para compreender, também, como a acessibilidade ou ausência desta pode influenciar no esforço cognitivo dos participantes para realizarem uma determinada tarefa, conforme indícios trazidos por estudos prévios (Iqbal et al., 2005). Os dados avançam em relação à literatura prévia quanto ao uso do rastreamento ocular, para avaliar a influência da interface gráfica na interação entre o estudante e o JED a ele disponibilizado, possibilitando uma melhor utilização de recursos digitais na aprendizagem de crianças com e sem autismo.

E, ainda, permitem romper com o estigma de incapacidade trazido pelo modelo biomédico e caminhar na concepção biopsicossocial da deficiência. Isto porque demonstram que, quando expostas às mesmas condições de ensino e com o mesmo repertório acadêmico, crianças com autismo apresentam desenvolvimento similar a crianças que se encontram fora do espectro. Note-se, portanto, que os paradigmas trazidos por este estudo podem ser usados para melhorar a acessibilidade de interfaces gráficas com o usuário de uso geral também.

Conclusão

O presente estudo traz indicativos de que JEDs com interfaces com baixa acessibilidade e presença de muitos elementos secundários podem desviar o foco

atencional dos usuários para estes elementos. O desvio do foco atencional faz com que crianças levem muito mais tempo para realizar tarefas, quando em comparação com interfaces amigáveis.

Daí a necessidade de se adotarem diretrizes de acessibilidade que possibilitem a elaboração de JEDs com interfaces amigáveis. Isto porque, quanto mais amigável é uma interface, maior será a facilidade encontrada pelo usuário para manipular seus elementos, proporcionando uma maior eficácia do jogo.

Os resultados obtidos trouxeram indícios de que o fato de encontrarem-se no espectro não foi determinante para o desempenho dos participantes. Tal fato é de salutar importância, pois possibilita romper com os estigmas da “Síndrome do Diagnóstico”⁸ que paira sobre as crianças com autismo e fazem com que as mesmas sejam rotuladas a partir do diagnóstico clínico. Diagnóstico, este que embora importante para se conhecer as peculiaridades das pessoas com autismo não pode ser considerado elemento definidor de suas potencialidades. Quando a escola não leva em conta as condições de ensino que oferta as estudantes como fator que pode estar influenciando no sucesso ou insucesso, ela tende a transferi-lo para o estudante.

Por esta razão, é tão importante avaliar a acessibilidade dos JEDs dos quais se lança mão enquanto recurso pedagógico, pois estes quando pouco acessíveis podem ser preditores de insucesso.

Importante destacar, ainda, que o uso de JEDs na aprendizagem com vistas a promoção de uma educação inclusiva requer uma ação multidisciplinar. No caso do presente estudo, a ponte entre pedagogia e computação foi fundamental, pois foi o tratamento dos dados pelo pessoal da computação que nos possibilitou compreender e interpretar o comportamento ocular dos participantes e, assim, analisar se as condições de ensino ofertadas estavam ou não adequadas e acessíveis aos participantes.

Referências

ALZHRANI, Mona; UITDENBOGERD, Alexandra L; SPICHKOVA, Maria. Impact of animated objects on autistic and non-autistic users. In: IEEE/ACM 44TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING: SOFTWARE ENGINEERING IN SOCIETY (ICSE-SEIS), 2022, Pittsburgh, PA, USA. **Anais eletrônicos...** Pittsburgh, PA, USA:ACM, 2022. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3510458.3513007>. Acesso em : 05 mai.2023.

AQUINO, Ana Carolina Generoso de et al. Transtorno do Espectro Autista e a interface de jogos digitais: uma revisão sistemática. **Educação Gráfica**, Bauru – SP, n. 3, p. 231-243, dez. 2021.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais**: DSM-5. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

ROCHA, Heloísa Vieira; BARANAUSKAS, Maria Cecília. **Design e Avaliação de Interface Homem-Computador**. Campinas: NIED/UNICAMP, 2003. 244p.

BRITTO, Talita Cristina Pagini; PIZZOLATO, Ednaldo Brigante. (2016, April 24–28). Towards Web Accessibility Guidelines of Interaction and Interface Design for People with Autism Spectrum Disorder. In: THE NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTER-HUMAN INTERACTIONS, 2016, Veneza, Ita. **Anais eletrônicos...** Veneza, Ita: IARIA, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301552021_Towards_Web_Accessibility_Guidelines_of_Interaction_and_Interface_Design_for_People_with_Autism_Spectrum_Disorder. Acesso em 16 fev. 2021.

BRITTO, Talita Cristina Pagini; PIZZOLATO, Ednaldo Brigante. GAIA: uma proposta de um guia de recomendações de acessibilidade de interfaces Web com foco em aspectos do Autismo. **Revista Brasileira de Informática na Educação – RBIE**, n. 2, p.102–123, mai. 2018.

COSTA, Ailton Barcelos da; PICHARILLO, Alessandra Daniele Messali; ELIAS, Nassim Chamel. Avaliação de habilidades matemáticas em crianças com síndrome de Down e com desenvolvimento típico. **Ciência & Educação**, Bauru, n.1, p.255–272, jan/mar. 2017.

CYBIS, Walter; BETIOL, Adriana Holtz Betiol; FAUST, Richard. **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Novatec, 2010. 422p.

DEERING, Hannah. **Opportunity for success: Website evaluation and scanning by students with autism spectrum disorders** [Master's thesis in Science, Iowa State University]. Iowa State University Digital Repository, 2013. Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/server/api/core/bitstreams/4230ed87-72b2-465b-b8ce-2aa75a926137/content>. Acesso em 22 jan. 2023.

DUCHOWSKI, Andrew. **Eye Tracking Methodology: Theory and Practice**. 2ed. Londres: Springer, 2017. 334 p.

ERASLAN, Sukru. et al. Web users with autism: Eye tracking evidence for differences. **Behaviour and Information Technology**, Londres, n.7, p.678–700, dez. 2018.

FARIAS, Ezequiel B; SILVA, Leandro W.C.; CUNHA, Monica. ABC Autismo: Um aplicativo móvel para auxiliar na alfabetização de crianças com autismo baseado no programa teacch. In: 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO, 2014, Londrina, **Anais eletrônicos...** Londrina: SBC, 2014. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/issue/view/366>. Acesso em 15 fev. 2023.

FILATRO, Andrea. **Design Instrucional na prática**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008. 192 p.

FEDERICO, Giovanni; BRANDIMONTE, Maria A. Tool and object affordances: An ecological eye-tracking study. **Brain and Cognition**, n. 135, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278262619302039>. Acesso em 22 mar. 2022.

FEDERICO, Giovanni et al. How the fear of COVID-19 changed the way we look at human faces. **PeerJ**, n. 9, abr. 2021. Disponível em: <https://peerj.com/articles/11380/>. Acesso em 20 mai. 2022.

GUIMARÃES, Luiza de Moura. **ABAcadabra: Um aplicativo para o ensino de discriminações condicionais auditivovisuais a indivíduos com Transtorno do Espectro do Autismo** [Tese de Doutorado em Psicologia da Universidade Federal de São

Carlos]. Repositório Institucional UFSCAR, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10818?show=full>. Acesso em 15 abr.2023.

GRYNSZPAN, Ouriel; MARTIN, Jean-Claude; NADEL, Jacqueline. Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation. **International Journal of Human-Computer Studies**, n.8, p.628–639, ago. 2008.

IQBAL, Shamsi T et al . Towards an index of opportunity: Understanding in mental workload during task execution. In: SIGCHI - CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2005, Portland, Oregon - EUA. **Anais...** Portland, Oregon - EUA: ACM Press, 2005, p. 311–320.

JOHNSON, Steven. **Cultura da interface**: Como o computador transforma nossa maneira de criar e comunicar. (M. L. A. Borges, Trans.). Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001. 196 p.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência**. (C. I. Costa, Trans.). Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

PAVLOV, Nikolay. (2014). User Interface for People with Autism Spectrum Disorders. **Journal of Software Engineering and Applications**, Estados Unidos da América, n. 2, p. 128–134, jan. 2014.

PETERS, Dorian. **Interface Design for Learning: Design Strategies for Learning Experiences**. San Francisco: New Riders, 2013. 208 p.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Design de Interação: além da interação homem-computador**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

REZAE, Mortaza. et al. (2020). The evaluation of a mobile user interface for people on the autism spectrum: An eye movement study. **International Journal of Human-Computer Studies**, Estados Unidos, v. 142, p. 1–35. Out. 2020.

SOUZA, Andiara Cristina. *O uso de tecnologias digitais educacionais para o favorecimento da aprendizagem matemática e inclusão de estudantes com Transtorno do Espectro Autista em anos iniciais de escolarização* [Master's thesis in Education, Universidade Federal de Alfenas]. BDTD – TEDE – Sistema de Publicação Eletrônica de Teses e Dissertações, 2019. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/O-uso-de-tecnologias-digitais-educacionais-para-o-e-Souza/5b61134f99083ed084ee7ebaa434976d1c5516cb>. Acesso em 19 jan. 2020.

UITDENBOGERD; Alexandra L; SPICHKOVA, Maria; ALZHRANI, Mona). Web-based Search: How Do Animated User Interface Elements Affect Autistic and Non-Autistic Users? In: ENASE – 17^o International Conference on Evaluation of Novel Approches to Software Engineering, 2022, Online Streaming. **Anais eletrônicos...** Online Streaming: ENASE, 2022. Disponível em: <https://www.insticc.org/node/technicalprogram/enase/2022/presentations>. Acesso em 25 jan. 2023.

1 Interagir neste estudo deve ser compreendido como toda ação que permita a intervenção ou possibilidade de intervenção de um usuário no decurso do funcionamento de um programa ou sistema informático. Por exemplo, iniciar um jogo ao pousar o cursor do *mouse* e clicar no comando 'iniciar' descrito na tela do mesmo.

2 As interfaces são consideradas como amigáveis quando possibilitam que as trocas estabelecidas entre os usuários e o sistema ocorram de forma fácil, contendo elementos visuais disponibilizados de maneira usual e harmônica, contribuindo para que a interação ocorra de modo simples e fácil (ROCHA; BARANAUSKAS, 2003).

3 Trata-se de um *site* gratuito que disponibiliza jogos educativos *on-line* para crianças, adolescentes e adultos em idade escolar, sendo estes jogos divididos em categorias e disciplinas de acordo com o nível de escolarização e idade do usuário. Todas as atividades são interativas e podem ser utilizadas em sala de aula ou em casa para introduzir, reforçar ou motivar o processo de aprendizagem.

4 Os estímulos apresentados foram avaliados por juízes com experiência acadêmica ou profissional em informática educativa e pessoas com TEA com relação ao seu nível de acessibilidade, utilizando como parâmetro as diretrizes GAIA. Considerou-se mais acessível aquele que atendesse ao maior número de recomendações e menos acessível o que atendesse ao menor número de recomendações. Os resultados obtidos demonstram que o JED 1, denominado “Jogo A” foi considerado mais acessível, enquanto o JED 2, denominado “Jogo B”, menos acessível.

5 Este tempo foi escolhido pela pesquisadora após uma simulação prévia da atividade e, também, para se assegurar um tempo de execução que possibilitasse o controle do experimento.

6 Navegador Google Chrome ou Microsoft Edge atualizado. O Firefox NÃO é recomendado. Windows 10 ou macOS X atualizado. Processador Intel de 4 núcleos, 3 GHz ou mais rápido, 5ª geração ou superior. Se estiver usando um laptop, ele deve ser conectado ao cabo de alimentação. 8 GB de RAM com pelo menos 4 GB de memória disponível (não utilizada). Placa gráfica DirectX 12 com drivers atualizados. Intel Graphics integrado (gen. 5 ou posterior). Velocidade de ligação à Internet 20 Mbps, 5 Mbps (especialmente para testes de sites ao vivo, pode ser menor para testes de imagem/vídeo).

7 O tempo para execução da tarefa foi registrado em milissegundos, mas relatado aqui em segundos. Ele corresponde ao tempo de aparecimento do estímulo modelo e estímulo de comparação na tela até o momento da conclusão da tarefa, sinalizado pelo aviso visual da atividade comunicando seu fim ou no decurso do tempo estabelecido pela pesquisadora.

8 Vide maiores informações em Souza, A.C. (2019). *O uso de tecnologias digitais educacionais para o favorecimento da aprendizagem matemática e inclusão de estudantes com Transtorno do Espectro Autista em anos iniciais de escolarização* [Master's thesis in Education, Universidade Federal de Alfenas]. BDTD – TEDE – Sistema de Publicação Eletrônica de Teses e Dissertações.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)