

Capturando olhares na formação de professores: Rastreador ocular e geometria

Capturing gazes in teacher training: Eye tracking and geometry

Marcelo Almeida Bairral¹
Rhômulo Oliveira Menezes²
Marcos Paulo Henrique³

Resumo: A técnica do rastreamento ocular (RO) é utilizada como método de pesquisa que enriquece a análise da cognição e de aspectos comportamentais. Este artigo é fruto de um projeto que investiga como o uso do RO pode contribuir para o aprendizado de conteúdos geométricos. Sintetizam-se resultados de estudos focados em geometria. Os movimentos oculares estão ligados ao desempenho em tarefas de rotação mental e de gráficos. O RO revela como a criatividade matemática é usada na resolução de problemas e também ajuda na compreensão da leitura de gráficos. Tarefas com RO e geometria dinâmica permitem a análise detalhada em tempo real e individualizada. Com o uso do RO em geometria contribui-se com uma agenda na educação matemática brasileira.

Palavras-chave: Rastreamento ocular. Integração tecnológica. Educação geométrica. Síntese teórica.

Abstract: The eye-tracking technique (ET) is used as a research method which enrich the analysis of cognition and behavioral aspects. This article is the result of a research project that investigates how the use of ET can contribute to the learning of geometric contents. Results focused on geometry are summarized. Eye movements are linked to performance in mental rotation tasks and graphs. The ET reveals how mathematical creativity is used in problem-solving and helps analyze comprehension and effectiveness in reading graphs. Tasks with ET and dynamic geometry allow for detailed analysis and real-time and individualized. It contributes to an agenda in Brazilian mathematics education with the use of ET in geometry.

Keywords: Eye tracking. Technological integration. Geometric education. Theoretical synthesis.

1. Introdução

O rastreamento, o mapeamento e a análise dos movimentos dos olhos em telas de dispositivos informáticos durante a realização de tarefas matemáticas têm se destacado no âmbito científico como ferramenta promissora aos processos de ensino e de aprendizagem – particularmente, à compreensão dos processos cognitivos e à elaboração de metodologias de ensino relacionadas à educação geométrica.

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro • Rio de Janeiro – Brasil • E-mail: mbairral@ufrj.br • ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5432-9261>.

² Secretaria de Educação do Estado do Pará (Seduc-PA) • Capanema, Pará – Brasil. E-mail: rhomulo.menezes4542@escola.seduc.pa.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9042-8323>.

³ Centro Integrado de Educação Pública Toninho Marques e Colégio Nossa Senhora do Rosário • Volta Redonda, Rio de Janeiro - Brasil. E-mail: mpfenrique@prof.educacao.rj.gov.br • ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7115-3336>.

A investigação acerca das contribuições teóricas de estudos que envolvem RO, o ensino e a aprendizagem de geometria na integração das tecnologias digitais e o *design* de tarefas para o desenvolvimento de conteúdos geométricos se apresentam profícuos, como revelam Bairral, Menezes e Henrique (2024). Este artigo – fruto de um projeto⁴ mais amplo – sintetiza resultados de investigações que usam o RO em geometria. Duas questões norteiam este trabalho, a saber: que contribuições teóricas os estudos por meio do RO trazem à educação geométrica? Especificamente, com a integração do dispositivo de rastreamento ocular no *design* da tarefa, que tipo de atividade está sendo proposta para desenvolver conteúdos geométricos?

Ao analisarmos a abordagem geométrica mediada pela tecnologia digital sob a ótica do rastreamento ocular, almejamos contribuir com a integração desse método no desenvolvimento de conteúdos geométricos, que ainda é escasso na educação matemática (Soares, Barreto & Sato, 2023) e na psicolinguística (Maia, 2019). Portanto, inserir mais essa técnica no processo de produção de dados na pesquisa educacional brasileira é uma contribuição atual e necessária⁵. De modo a contribuir com essa agenda, este artigo – de natureza teórica – está organizado em três blocos, circunscritos à educação geométrica em pesquisas com RO: definição de RO, apresentação de técnicas de análises e possíveis contribuições à pesquisa; objetos de análise em estudos com o RO; e análise sucinta de investigações que integram outras tecnologias com o RO.

2. Depois do ver

O rastreador ocular como método de pesquisa é um amalgamado que envolve aparelho, *software* e técnicas que possibilitam rastrear, quantificar os movimentos dos olhos e analisar o comportamento visual a partir de estímulos em uma tela – por exemplo, uma imagem ou vídeo – ou no ambiente físico. Em decorrência, pode-se identificar a atenção por meio da fixação do olhar em uma área e do mapeamento da sequência de exploração visual.

Há uma variedade de equipamentos de RO, que classificamos em duas categorias: acoplados e não acoplados. Os do primeiro tipo podem ser sensores, óculos ou outros equipamentos conectados aos sujeitos. Os não acoplados captam os movimentos dos olhos por meio da *webcam* – especificamente em plataformas *online*⁶ com inteligência artificial – ou por meio de câmeras integradas aos dispositivos conectados em computadores de mesa, *laptop*,

⁴ Financiado pelo CNPq e pela Faperj.

⁵ Rosa, Bairral, Gitirana e Borba (2018) analisaram os trabalhos apresentados no GT6 até o VI SIPEM. Neles não foram localizadas pesquisas com o RO. Ao revisitarmos os Anais do VII e do VIII SIPEM também observamos essa ausência.

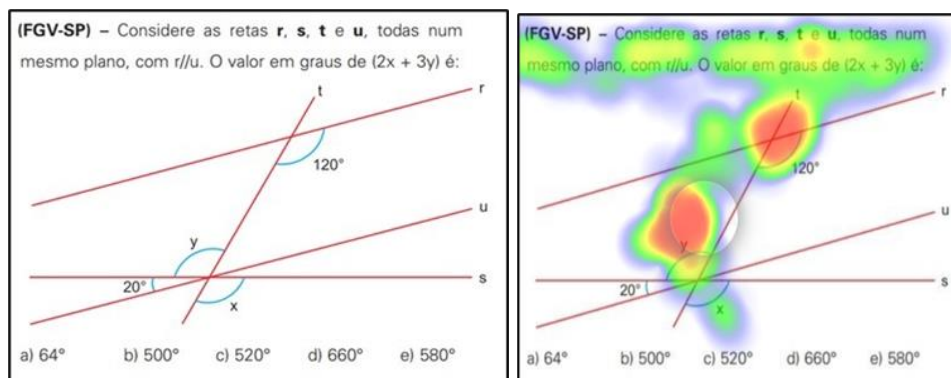
⁶ Veja as plataformas: 1. GazeRecorder. <https://gazerecorder.com/> 2. Expoze.io. <https://expoze.app/>

tablet ou smartphone.

Ao capturar os movimentos dos olhos, o *software* processa as informações, mapeia e gera as métricas em um padrão de varredura que pode ser utilizado pelo pesquisador no processo analítico. Holmqvist *et al.* (2011) definem as medidas de movimento dos olhos em sacadas, ponto de fixação, tempo de fixação e microssacadas. As sacadas são movimentos transitórios dos olhos; o ponto de fixação representa a área de interesse na qual os olhos permaneceram estáveis e focados em um estímulo. O tempo de fixação indica o período em que ocorreu o ponto de fixação; e as microssacadas registram os movimentos involuntários dos olhos em uma área de interesse.

De caráter ilustrativo, como mostra a Figura 1, realizamos o RO de um dos autores deste texto na análise de duas imagens contendo questões geométricas. Utilizamos a versão gratuita da plataforma *online GazeRecorder*. Na imagem, há um comparativo antes e após a captura dos movimentos dos olhos. Essa situação gerou um vídeo de 20 segundos e o mapa de calor que apresenta as áreas de interesse e os pontos de maior fixação. A exploração foi realizada por meio da *webcam* de um *laptop*, o que exigiu o cadastro e a calibragem ocular para realização do experimento.

Figura 1: Mapa de calor gerado pelos autores na plataforma GazeRecorder



Fonte: os autores

Seguindo a definição de Holmqvist *et al.* (2011), podemos associar as manchas vermelhas que representam conjuntos de pontos de fixação. A dimensão indica o tempo de fixação. As sacadas e microssacadas são sinalizadas nas cores verde e lilás. Na versão gratuita da plataforma é possível analisar momento a momento o tempo de permanência e quando ocorre a primeira visualização. Isso nos ajuda a sintetizar que o RO fornece entendimentos acerca do comportamento visual dos sujeitos e a sua técnica de análise está em sintonia com a perspectiva da cognição corporificada, ao assumir a simbiose mente-corpo-ambiente.

Existem duas formas de direcionar a atenção por meio de estímulos visuais ou sonoros:



atenção básica e atenção focalizada (Damásio, 2000). A atenção básica está relacionada à capacidade humana de manter-se em estado de vigília sem focar em um ponto específico. No ambiente em que você está agora há estímulos ignorados. Veja e ouça! A atenção focalizada ocorre quando selecionamos o que é mais relevante em um estímulo ou tarefa. Por exemplo, a concentração exigida na leitura deste texto.

Damásio (2000) explica que a atenção básica é anterior à consciência, enquanto a atenção focalizada atua no seu desenvolvimento. Desse modo, o RO pode ser utilizado para analisar os processos não conscientes dos indivíduos a partir das interações com estímulos visuais em telas, geradas em vídeos. O dispositivo é especializado no exame das posições e dos movimentos dos olhos dos sujeitos (Deng & Gao, 2022). Nas pesquisas educacionais, especificamente aquelas voltadas à aprendizagem, aplica-se um método não verbal de coleta de dados a fim de obter informações e mapear os processos cognitivos dos discentes (Hannula, Toivanen & Garcia Moreno-Esteva, 2019). É utilizado, particularmente, para a análise dos aprendizados dos sujeitos mediante interações sujeito-tela-objeto matemático: o RO pode complementar e enriquecer pesquisas com esse enfoque, ao possibilitar a percepção e o processamento pormenorizado dos objetos devido à articulação genuína entre o pensamento geométrico e a percepção visual (Strohmaier, Mackay, Obersteiner & Reiss, 2020).

Além disso, o dispositivo permite o “depois do ver”, por meio de novos olhares que o pesquisador tem à disposição para sondagem das interações em aula e em relação ao efeito da observação do professor sobre as formas de aprender e de interagir com seus alunos (Haataja, Toivanen, Laine & Hannula, 2019). Neste cenário, existem diferenças – motivacional e cognitiva –, em geral imperceptíveis, quando o docente responde uma pergunta olhando diretamente para o sujeito que indaga ou quando contesta mediante olhares difusos e não necessariamente dirigidos ao demandante (Haataja, Garcia Moreno-Esteva, Toivanen & Hannula, 2018).

Soares, Barreto & Sato (2023) concluíram que o RO fornece percepções para abordagens inovadoras, e com isso promove práticas baseadas em evidências e novas intervenções mediante aprendizagem autodirigida, além de desenvolver de habilidades de metacognição que podem ser úteis à educação matemática. Schindler e Lilienthal (2017), em um estudo de caso, investigaram como os movimentos oculares se constituem em uma ferramenta de análise para compreender os processos cognitivos envolvidos na resolução de uma tarefa geométrica. Dentre as contribuições, os autores destacaram a relação entre o mapeamento dos movimentos oculares e a atenção cognitiva; o RO como revelador de padrões



imperceptíveis em registros convencionais, tais como gestos, desenhos ou escrita, o que destaca o potencial do dispositivo na composição de práticas personalizadas e que consideram o contexto – em particular, a resolução de uma tarefa geométrica.

Estudos como os de Soares, Barreto & Sato (2023) e Schindler e Lilienthal (2017) demonstram que o RO revela padrões de atenção cognitiva e complementa outras formas de análise educacional, proporcionando um entendimento mais profundo e detalhado do comportamento visual e das estratégias de resolução dos discentes para os problemas propostos. Deste modo, o mapear os movimentos dos olhos em tela apresenta-se com potencial à pesquisa científica brasileira para investigar e compreender os processos cognitivos e visuais dos alunos durante interações com conteúdo matemáticos, o que pode aprimorar as práticas docentes e otimizar a aprendizagem, promovendo estratégias pedagógicas mais direcionadas e personalizadas.

3. Objetos de análise em geometria

A partir de Strohmaier *et al.* (2020), Bairral *et al.* (2024) revisitaram 22 artigos e destacaram que as pesquisas utilizando a técnica de RO focam em 5 objetos de análise, sintetizados a seguir:

Elementos visuais e habilidades espaciais

A capacidade de visualização espacial está relacionada positivamente ao tempo gasto observando informações essenciais e, negativamente, ao tempo dedicado a material não essencial (Fry, 1988). Chen e Yang (2014) e Verdine, Bungler, Athanasopoulou, Golinkoff e Hirsh-Pasek (2017) analisaram a relação entre habilidades espaciais e movimentos oculares. Verdine *et al.* (2017) mostram que o padrão de olhar das crianças aos 3 anos pode prever suas habilidades espaciais aos 5 anos, independentemente do vocabulário relacionado à forma. Por outro lado, Chen e Yang (2014) analisam o modo como os movimentos oculares afetam o desempenho dos alunos em problemas de rotação mental. Os autores sinalizam que na resolução de problemas espaciais o desempenho de precisão está correlacionado com os padrões de movimento dos olhos. Ainda, o desempenho do conceito não está correlacionado com o desempenho em problemas de rotação mental, mas associado à memória espacial e a estratégias de resolução de problemas. Roach, Fraser, Kryklywy, Mitchell e Wilson (2015) sugerem uma análise mais aprofundada sobre o papel dos movimentos oculares no raciocínio espacial, com limitação de tempo e mais elementos visuais.

Criatividade matemática

Schindler, Lilienthal, Chadalavada e Ögren (2016) e Muldner e Burleson (2015) abordam a relação entre movimentos oculares e criatividade. Schindler *et al.* (2016) exploram como o RO pode ser essencial para compreender a criatividade matemática dos alunos, enquanto Muldner e Burleson (2015) usam dados de sensores para modelar a criatividade de alunos interagindo com um aplicativo de geometria. Conforme Schindler *et al.* (2016), a análise dos movimentos oculares é essencial para compreender como ideias novas e criativas evoluem, sendo inferidas pelos alunos em relação à criatividade. Desse modo, é possível avaliar a elaboração das abordagens dos estudantes e compreender o mapeamento das sequências do olhar sobre criatividade matemática.

Duração e fixação em leitura de enunciados, figuras ou gráficos

Lin, Wu e Sommers (2012) e Lee e Wu (2017) analisam os movimentos oculares, a leitura e a integração de figuras. Lin *et al.* (2012) investigam a duração de fixação em leitura de figuras, que foi 50% maior que em outros textos. Lee e Wu (2017) observaram que a ordem das palavras influencia a integração do texto geométrico e da figura.

O estudo de Ögren, Nyström e Jarodzka (2016) mostrou que o uso de gráficos pode determinar onde os alunos olham e o que eles processam. As análises do movimento ocular mostraram que a atenção visual dos estudantes foi atraída pelos gráficos, em detrimento de olhares para outras partes do problema. Os estudiosos destacam que professores e autores de livros didáticos devem ser críticos ao usar gráficos e devem considerar cuidadosamente sua integração com outras partes do problema.

Ainda sobre gráficos, Klein, Viiri, Mozaffari, Dengel e Kuhn (2018) testaram duas estratégias com graduandos em física: uma baseada na interpretação gráfica de derivadas parciais e outra apoiada no conceito de fluxo. E descobriram que os participantes tiveram melhor desempenho quando ambas as estratégias foram introduzidas e eles tiveram a liberdade de escolher entre elas. O estudo também revelou diferenças nos movimentos oculares entre os sujeitos com melhor e pior desempenho, indicando distinções conceituais entre as estratégias. Isso destaca a importância de introduzir múltiplas representações para promover a compreensão do aluno e fornece novas percepções sobre o seu processamento visual em relação a representações de campos vetoriais.

Desempenho e influência de erros e confiança na solução de problemas

A análise de Lin e Lin (2013, 2014) evidenciou que problemas mais difíceis recebem

mais atenção e tempo de fixação do olhar. Os solucionadores de problemas bem-sucedidos reconhecem padrões rapidamente (Lin & Lin, 2013) e se concentram mais na área de cálculo (Lin & Lin, 2014), enquanto os malsucedidos têm maior tempo de permanência na área do problema. Para os autores, essas medidas de movimento ocular são úteis para diferenciar os dois grupos e estão correlacionadas com a dificuldade percebida. Para eles, a técnica do RO também fornece medidas objetivas da carga cognitiva dos alunos, o que pode ser útil para *designers* instrucionais de ambientes formativos.

Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014) e Alqassab, Strijbos e Ufer (2018) exploram a influência de erros na solução de problemas e a confiança em abordagens baseadas em figuras. Krichevets *et al.* (2014) mostram que a ausência de erros facilita a confiança em uma abordagem baseada em figuras, enquanto Alqassab *et al.* (2018) sugerem que erros na solução do colega podem dificultar a compreensão da prova e a capacidade de dar um retorno preciso. Os professores em formação podem enfrentar desafios, ao aprender com os erros dos colegas, pois a qualidade da solução do outro pode influenciar, se os educadores em formação adotarem uma abordagem baseada na figura ou no texto. Além disso, erros na solução do colega podem afetar a construção de modelos mentais durante a informação retribuída. Portanto, é importante a qualidade da solução na eficácia do retorno fornecido.

O direcionamento do olhar do professor ao interagir com seus alunos

A análise de Hannula e Williams (2016) indicou que o foco de atenção e a linguagem corporal mostraram intervalos consistentes com os achados do RO, apesar de fornecer informações sobre o pensamento dos alunos. Haataja *et al.* (2018) focam no olhar do professor durante a interação com os alunos e destacam a importância do foco de atenção do docente durante situações de orientações e esclarecimentos. Em outras palavras, quando o docente responde olhando diretamente ao demandante, há o impacto positivo na interação e nos resultados.

Em resumo, as pesquisas analisadas por Bairral *et al.* (2024) revelam a abrangência e a profundidade que a técnica de RO pode oferecer na educação, em particular no ensino de Geometria. A RO oferece *insights* sobre habilidades visuais, criatividade matemática e processos cognitivos dos alunos. Tais estudos ressaltam ainda que o tempo de fixação e os padrões de movimento ocular influenciam no desempenho e na compreensão de conceitos, desde a leitura de gráficos até a resolução de problemas complexos. Além disso, a interação visual do professor tem potencial de melhorar significativamente o entendimento e a confiança

dos alunos.

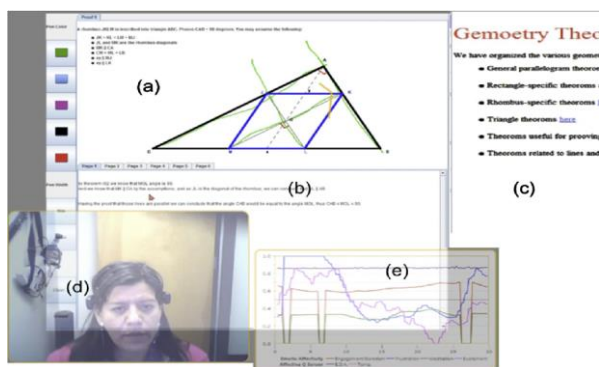
4. Análise dos estudos com integração de outras tecnologias no RO

Ao analisarem os artigos que utilizaram tecnologias para a resolução de tarefas combinadas com RO, Bairral *et al.* (2024) identificaram três estudos, um de prova geométrica (Muldner & Burleson, 2015) e dois de construção de objetos geométricos (Schimpf & Spannagel, 2011; Shvarts, 2018).

O estudo de Muldner e Burleson (2015) investigou como os dados dos sensores podem ser usados para entender a criatividade dos alunos em um ambiente digital, ao resolver problemas de geometria. A metodologia envolveu a criação de um aplicativo de geometria digital, o recrutamento de estudantes universitários com conhecimento em matemática, a aplicação de questionários sobre geometria e criatividade, e a coleta de dados por meio de dispositivos de sensores durante a atividade educacional. Os resultados revelaram a capacidade dos algoritmos de aprendizado de máquina para diferenciar alunos com diferentes níveis de criatividade com base nos dados dos sensores e mostraram como essas tecnologias podem ser úteis na avaliação e na modelagem da criatividade dos alunos em ambientes educacionais digitais.

O aplicativo de geometria foi desenvolvido para auxiliar os participantes a gerar provas geométricas e serviu como plataforma principal para a resolução do problema proposto, que consistia em provar que o ângulo correspondente ao vértice do triângulo era de 90° . Os participantes interagiram com o aplicativo durante a atividade, enquanto os dados dos sensores – como rastreadores oculares, braceletes de condutância da pele e sensores EEG – registravam suas interações e comportamentos. Essa integração do aplicativo com os dispositivos de sensores possibilitou uma análise detalhada da criatividade dos alunos durante a atividade educacional, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Visualização do Participante Utilizando o Aplicativo de Geometria durante o Estudo



Fonte: Muldner e Burleson (2015, p. 5)

Na Figura 2, vemos um dos sujeitos utilizando o aplicativo de geometria, o qual apresenta (a) um painel de desenho, (b) um de prova e (c) um de apêndice. As outras duas janelas na parte inferior, que mostram um vídeo do rosto do participante (d) e uma visualização do gráfico EEG (e), após o estudo, foram adicionadas pelo aplicativo AttentionTool à captura de tela do trabalho do participante. Estas duas janelas não eram visíveis para os participantes enquanto eles estavam trabalhando, ou seja, eles só tinham acesso ao aplicativo de geometria.

A tarefa proposta envolveu a geração de provas para um problema geométrico específico, incentivando os alunos a explorar diferentes soluções e abordagens criativas. Além disso, o estudo destaca a escolha de um problema geométrico que permite múltiplas soluções, o que estimula a criatividade e o pensamento divergente dos alunos. A abordagem do conteúdo de geometria, em vez de puramente teórica, foi voltada para promover a resolução de problemas de forma ativa e prática.

Os benefícios do uso do aplicativo de geometria digital foram diversos: o estímulo à criatividade, ao permitir que os alunos explorassem diversas soluções para os problemas; o aumento do engajamento dos alunos na resolução dos desafios geométricos; a análise personalizada com base nos dados coletados pelos sensores; a avaliação mais precisa da criatividade dos alunos; e a demonstração do potencial de tecnologias inovadoras, como rastreadores oculares e sensores EEG, para enriquecer o ensino de geometria. Esses resultados evidenciam como a combinação do aplicativo de geometria digital com dispositivos de sensores pode melhorar a experiência de aprendizagem dos alunos e oferecer novas abordagens para o ensino de geometria.

Schimpf e Spannagel (2011) exploraram os efeitos da simplificação da interface gráfica de um sistema de geometria dinâmica nas interações dos usuários, particularmente entre os novatos, e investigaram se essa simplificação poderia promover o aprendizado. Foram realizados dois experimentos com estudantes do oitavo ano em duas escolas secundárias na Alemanha. Os participantes foram divididos em dois grupos: um utilizou a interface completa (Figura 3a) do Cinderella, com 48 ícones, e o outro trabalhou com uma interface simplificada (Figura 3b), contendo apenas seis ícones essenciais para as tarefas propostas, conforme ilustram as Figuras 3a e 3b.

Figura 3a: Interface completa

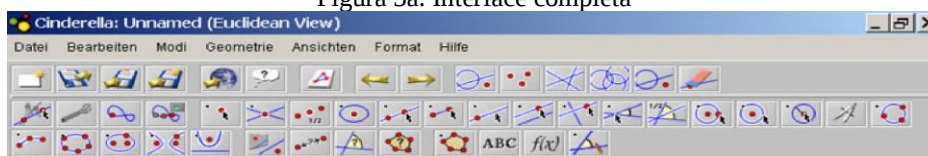


Figura 3b: Interface simplificada



Fonte: Schimpf e Spannagel (2011, p. 394)

A abordagem geométrica envolveu uma combinação de construção de figuras, medição de ângulos, resolução de problemas e exploração de propriedades geométricas. Foram coletados dados de desempenho, tempo de interação, autoconfiança em habilidades computacionais e percepção dos participantes. Segundo os resultados, a simplificação da interface gráfica não teve um impacto significativo na capacidade dos usuários para localizar ícones conhecidos ou novos. Além disso, o desempenho dos grupos que utilizaram a interface completa e a simplificada não demonstrou diferenças significativas. A autoconfiança dos participantes em suas habilidades computacionais favoreceu o tempo dedicado à introdução e ao uso da ajuda, mas não afetou o desempenho nas tarefas propostas. Esses achados sugerem que os educadores têm a flexibilidade de escolher entre uma interface completa ou simplificada, dependendo das necessidades educacionais específicas. O estudo mostrou também que a simplificação da interface gráfica do aplicativo Cinderella não afetou o desempenho dos alunos em tarefas de geometria. Isso sugere que simplificar a interface pode ser uma estratégia eficaz para facilitar a interação dos usuários, especialmente os novatos, com sistemas de geometria dinâmica.

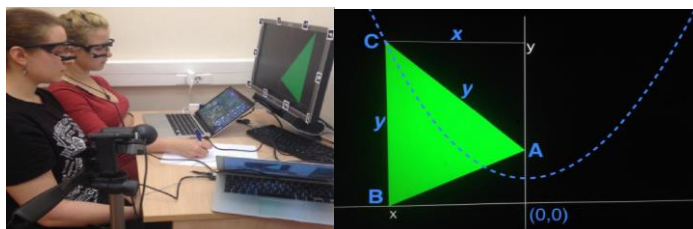
Shvarts (2018) investigou os elementos de comunicação que auxiliam o par tutor-aluno a manter a atenção conjunta durante atividades de ensino-aprendizagem, permitindo-lhes compartilhar significados culturais através da coordenação de recursos multimodais em nós semióticos. Além disso, o estudo explorou a transição da atenção visual conjunta para a atenção mental conjunta durante a colaboração. O uso de uma tecnologia de RO duplo possibilitou a gravação síncrona dos movimentos oculares de dois participantes e abriu novas perspectivas na análise da atenção visual conjunta em ações conjuntas. Foram empregados rastreadores oculares montados na cabeça da marca Pupil-Labs para criar ambientes ecológicos onde duas pessoas compartilham um espaço comum e podem gesticular e discutir manipulações em um monitor compartilhado. O *software* original foi desenvolvido para permitir a sobreposição do vídeo da tela com os dois caminhos de olhar e trouxe inovação em relação às imagens estáticas sob os caminhos de olhar em estudos anteriores. Essa solução técnica possibilitou a combinação de análises qualitativas de caminho de olhar quadro a quadro, com videografia de gestos e expressões verbais.

Os principais resultados encontrados indicaram uma alta coordenação temporal e espacial da percepção dos tutores com as ações dos alunos, permitindo uma atenção visual

conjunta sustentada durante as manipulações destes. Na interação entre tutor e aluno, nos episódios alternados de diálogo e explicação, o tutor ofereceu suporte mais amplo quando necessário. Durante a colaboração, a transição da atenção visual conjunta para a atenção mental conjunta foi evidenciada com a capacidade de retornar à atenção visual conjunta em caso de dificuldade ou mal-entendido.

O estudo utilizou o *software* Pupil-Labs, um rastreador ocular montado na cabeça, para registrar os movimentos oculares dos participantes durante uma atividade de ensino-aprendizagem. Essa tecnologia permitiu uma análise detalhada da coordenação da atenção visual conjunta entre o tutor e o aluno, fornecendo informações valiosas sobre como a comunicação visual e a interação influenciam ao construir significados matemáticos durante a colaboração, como mostra a Figura 4⁷.

Figura 4: Configuração experimental de RO duplo



Fonte: Shvarts (2018, p. 4)

O conteúdo de geometria abordado envolveu a manipulação de triângulos e a resolução de problemas geométricos relacionados a propriedades e relações espaciais. Os participantes interagiram com um ambiente computadorizado que apresentava triângulos e permitia manipulações geométricas, como movimento de vértices e identificação de propriedades específicas dos triângulos.

Durante a atividade, os alunos foram desafiados a encontrar a fórmula de uma curva desenhada pelo vértice de um triângulo manipulado, expressando a posição de um vértice em termos de coordenadas cartesianas. Isso envolveu a aplicação de conceitos geométricos, como distâncias e relações entre os vértices do triângulo, para resolver o problema proposto. Utilizar o aplicativo Pupil-Labs, em conjunto com a tecnologia de RO duplo, pode ter vários impactos positivos no ensino de geometria: permitir uma análise detalhada da atenção visual conjunta, identificar dificuldades de compreensão, promover a comunicação não verbal e estimular a colaboração entre alunos e tutores.

⁷ O vértice C é manipulado pelo aluno, enquanto os marcadores X e Y percorrem aos eixos. O triângulo ABC fica verde quando $CB = CA$. As inscrições em azul são fornecidas apenas para fins de clareza e não são visíveis para o aluno.

Os estudos de Muldner e Burleson (2015), Schimpf e Spannagel (2011) e Shvarts (2018) apresentam tanto aproximações quanto distanciamentos em relação às tarefas geométricas e às tecnologias educacionais utilizadas. Em termos de convergências, integram tecnologia nas atividades geométricas com o intuito de enriquecer a experiência de aprendizagem dos participantes. Cada pesquisa propõe atividades que incentivam a resolução prática e interativa de problemas geométricos, e, assim, promove a criatividade e o pensamento divergente dos estudantes. Por outro lado, há nuances distintas entre os estudos. Enquanto o trabalho de Muldner e Burleson (2015) concentra-se na geração de provas para um problema geométrico específico, as pesquisas de Schimpf e Spannagel (2011) e Shvarts (2018) exploram a construção de objetos geométricos e a manipulação de triângulos, respectivamente. Além disso, cada estudo pode ter diferentes objetivos e metodologias específicas, levando a abordagens variadas para a integração da tecnologia no ensino da geometria. As tecnologias utilizadas em cada estudo também podem variar, influenciando a produção de dados para avaliar a criatividade e o desempenho dos envolvidos.

Os estudos de Muldner e Burleson (2015), Schimpf e Spannagel (2011) e Shvarts (2018) fornecem comparativos para pesquisadores e professores que buscam integrar tecnologias como RO e aplicativos de geometria dinâmica em suas práticas pedagógicas. Eles destacam o potencial dessas ferramentas para estimular a criatividade dos alunos, aumentar o engajamento durante a resolução de desafios geométricos e oferecer *feedback* personalizado com base em dados sensoriais. Ao criar tarefas que combinem essas tecnologias integradamente, os professores podem promover uma abordagem inovadora no ensino de geometria.

5. Considerações em via conclusiva

Realizamos uma síntese integrativa de Bairral *et al.* (2024) e de Bairral e Aldon (2024), a partir de revisões baseadas em Strohmaier *et al.* (2020). Estudos que capturaram e analisaram 161 pesquisas em domínios matemáticos diversos (Strohmaier *et al.*, 2020), das quais 22 em geometria (Bairral *et al.*, 2024) e apenas três integrando tecnologias digitais no *design* das tarefas (Bairral & Aldon, 2024).

Retomando as questões que nos guiaram sobre contribuições teóricas dos estudos por meio do RO na educação geométrica e, especificamente, sobre a integração do dispositivo de rastreamento ocular no *design* da tarefa e o tipo de atividade que está sendo proposta, traçamos algumas considerações. Em relação à primeira questão, os estudos sobre o uso do RO na educação geométrica oferecem uma visão detalhada e multifacetada dos processos cognitivos

envolvidos na aprendizagem de geometria. As pesquisas mencionadas por Bairral *et al.* (2024) mostram como o RO pode ser aplicado em diferentes contextos e com diversos focos de análise, desde habilidades espaciais e elementos visuais até a criatividade matemática, a leitura de enunciados e figuras, o desempenho na solução de problemas e o direcionamento do olhar do professor durante as interações com os alunos.

No que se refere às habilidades espaciais, o RO revela como os padrões de olhar podem prever e melhorar a visualização espacial, essencial para a geometria, com estudos de Verdine *et al.* (2017) e Chen e Yang (2014) destacando a correlação entre movimentos oculares e desempenho espacial. A criatividade matemática também é analisada pelos movimentos oculares, como indicado por Schindler *et al.* (2016) e Muldner e Burleson (2015), revelando a elaboração de soluções criativas. Cabe, portanto, em análises posteriores problematizar a concepção de criatividade desses autores com outras visões, de modo a trazer especificidades do uso do RO nesse construto e contribuir para o avanço da pesquisa.

Na leitura e na integração de figuras ou gráficos, Lin *et al.* (2012) e Lee e Wu (2017) mostram que os movimentos oculares esclarecem a compreensão de problemas geométricos, e a atenção visual a gráficos, como mostrado por Ögren *et al.* (2016), é eficaz para resolver problemas. Estudos de desempenho indicam que o RO pode diferenciar solucionadores bem-sucedidos e malsucedidos (Lin & Lin, 2013, 2014), ajudando a identificar a atenção dos alunos e a influência da carga cognitiva na resolução de problemas geométricos. A análise do direcionamento do olhar do professor, investigada por Hannula e Williams (2016) e Haataja *et al.* (2018), sublinha a importância da comunicação visual na eficácia do ensino e na confiança dos alunos.

Em relação à segunda questão, os estudos de Muldner e Burleson (2015), Schimpf e Spannagel (2011) e Shvarts (2018) demonstram como o RO e outras tecnologias beneficiam o ensino de geometria. Muldner e Burleson (2015) mostram que dados de sensores podem oferecer avaliações mais precisas do desempenho dos alunos em tarefas geométricas. Schimpf e Spannagel (2011) sugerem que interfaces gráficas simplificadas em sistemas de geometria dinâmica podem manter a eficiência dos alunos. Shvarts (2018) destaca a importância da coordenação visual entre tutor e aluno no processo de aprendizagem.

Essas pesquisas indicam que a integração de tecnologias de geometria dinâmica com dispositivos de RO enriquece experiências de aprendizagem, ao oferecer ambientes envolventes e personalizados. Elas possibilitam a criação de atividades que incentivam a exploração de múltiplas soluções e fornecem *feedback* em tempo real, ajustando o ensino às necessidades

individuais dos alunos. A partir dessa síntese teórica, estamos desenhando tarefas para implementar com alunos e (futuros) professores para enriquecer a análise sobre seus aprendizados.

Referências

- Alqassab, M.; Strijbos, J.-W. & Ufer, S. (2018). The impact of peer solution quality on peer-feedback provision on geometry proofs: Evidence from eye-movement analysis. *Learning and Instruction*, 58(1), 182-192.
- Bairral, M. A. & Aldon, G. *A review based on task design on eye-tracking studies*. Submetido.
- Bairral, M. A.; Menezes, R. O. & Henrique, M. P. (2024). Uso do rastreamento ocular na formação de professores: uma revisão em geometria. *Boletim Gepem*, 84.
- Chen, Y.-C. & Yang, F.-Y. (2014). Probing the relationship between process of spatial problems solving and science learning: An eye tracking approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(3), 579-603.
- Damásio, A. (2000). *O mistério da consciência: do corpo e das emoções do conhecimento de si*. (Tradução de L. T. Motta.). Companhia das Letras.
- Deng, R. & Gao, Y. (2022). A review of eye tracking research on video-based learning. *Educ Inf Technol*, 28, 7671-7702.
- Fry, C. J. (1988). Eye fixations during the reading and solution of word problems containing extraneous information: Relation to spatial visualization ability. In: A. Borba (Org.). *Proceedings of the 12th PME International Conference* (pp. 326-333).
- Haataja, E.; Garcia Moreno-Esteva, E.; Toivanen, M. & Hannula, M. (2018). Teacher's gaze behavior when scaffolding peer interaction and mathematical thinking during collaborative problem-solving activity. In: *Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education. PME International Group for the Psychology of Mathematics Education*.
- Haataja, E.; Toivanen, M.; Laine, A. & Hannula, M. S. (2019). Teacher-student eye contact during scaffolding collaborative mathematical problem-solving. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 7(2), 9-26.
- Hannula, M. S.; Toivanen, M. & Garcia Moreno-Esteva, E. (2019). Eye movements during collaborative geometry problem solving lesson: PME & Yandex Russian Conference. In: *Proceedings of the PME and Yandex Russian Conference* (pp. 138-145). <https://researchportal.helsinki.fi/en/publications/eye-movements-during-collaborative-geometry-problem-solving-lesso>
- Hannula, M. & Williams, G. (2016). Silent gazing during geometry problem solving, insights from eye tracking. In: *Proceedings of the 40th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 353-360). Szeged: PME.
- Holmqvist, K.; Nyström, M.; Andersson, R.; Dewhurst, R.; Jarodzka, H. & Van De Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures* (1ª ed.). OUP Oxford.
- Klein, P.; Viiri, J.; Mozaffari, S.; Dengel, A. & Kuhn, J. (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector

- field plots? *Physical Review Physics Education Research*, 14(1).
- Krichevets, A. N.; Shvarts, A. Y. & Chumachenko, D. V. (2014). Perceptual action of novices and experts in operating visual representations of a mathematical concept. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*, v. 11, n. 3, p. 55-78, 2014.
- Lee, W.-K. & Wu, C.-J. (2017). Eye movements in integrating geometric text and figure: Scanpaths and given-new effects. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(4), 699-714.
- Lin, J. Jr-H. & Lin, S. S. J. (2013). Cognitive load for configuration comprehension in computer-supported geometry problem solving: An eye movement perspective. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(3), 605-627.
- Lin, J. Jr-H. & Lin, S. S. J. (2014). Tracking eye movements when solving geometry problems with handwriting devices. *Journal of Eye Movement Research*, 7(1).
- Lin, T.-W.; Wu, C.-J. & Sommers, S. (2012). The influence of reading figures in geometry proof on eye movement. In: *Proceedings of PME 36* (vol. 3, pp. 147-152).
- Maia, M. (Ed.). (2019). *Psicolinguística e metacognição na escola* (1ª ed.). Mercado de Letras.
- Muldner, K. & Burleson, W. (2015). Utilizing sensor data to model students' creativity in a digital environment. *Computers in Human Behavior*, 42(1), 127-137.
- Ögren, M.; Nyström, M. & Jarodzka, H. (2017). There's more to the multimedia effect than meets the eye: is seeing pictures believing? *Instructional Science*, 45(2), 263-287.
- Roach, V. A.; Fraser, G. M.; Kryklywy, J. H.; Mitchell, D. G.V. & Wilson, T. D. (2015). The eye of the beholder: Can patterns in eye movement reveal aptitudes for spatial reasoning? *Anatomical Sciences Education*, 9(4), 357-366.
- Rosa, M.; Bairral, M.; Gitirana, V. & Borba, M. (2018). Digital Technologies and Mathematics Education: Interlocutions and Contributions Based on Research Developed in Brazil. In: A. J. Ribeiro; L. Healy; R. Borba & S. H. A. A. Fernandes (Eds.), *Mathematics Education in Brazil: Panorama of Current Research* (pp. 129-147): Springer International Publishing.
- Schimpf, F., Spannagel, C. (2011). Reduzindo a interface gráfica do usuário de um sistema de geometria dinâmica. *ZDM Educação Matemática* 43, (pp. 389–397). <https://doi.org/10.1007/s11858-011-0325-6>
- Schindler, M. & Lilienthal, A. (2017). Eye-Tracking and its Domain-Specific Interpretation: A Stimulated Recall Study on Eye Movements in Geometrical Tasks. In: *Proceedings of the 41st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME)*. (pp. 153-160).
- Schindler, M.; Lilienthal, A. J.; Chadalavada, R. & Ögren, M. (2016). Creativity in the eye of the student. Refining investigations of mathematical creativity using eye-tracking goggles. In: *Proceedings of the 40th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME)* (pp. 163-170).
- Shvarts, A. (2018). A dual eye-tracking study of objectification as student-tutor joint activity appropriation. In: *Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 171-178). Umeå, Sweden: PME.
- Soares, R. da S.; Barreto, C.; & Sato, J. R. (2023). Perspectives in Eye-Tracking Technology for Applications in Education. *South African Journal of Childhood Education*, 13(1), 8. sajce.co.za/index.php/sajce/article/view/1204/2420.



- Strohmaier, A. R.; Mackay, K. J.; Obersteiner, A. & Reiss, K. M. (2020). Eye-tracking methodology in mathematics education research: A systematic literature review. *Educational Studies in Mathematics*, 104(2), 147-200.
- Verdine, B. N.; Bunger, A.; Athanasopoulou, A.; Golinkoff, R. M. & Hirsh-Pasek, K. (2017). Shape up: An eye-tracking study of preschoolers' shape name processing and spatial development. *Developmental Psychology*, 53(10), 1869-1880.