III SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

REVISÃO SISTEMÁTICA DE EYE TRACKING EM NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS: Aplicações metodológicas, rigor experimental e tendências nas ciências cognitivas e comportamentais

Vanessa Cristina da Silva [1]
Letícia Bianca Barros de Moraes Lima [2]

RESUMO: Este resumo expandido apresenta os resultados de uma revisão sistemática de 45 artigos publicados entre 2021 e 2026, com foco na aplicação técnica, no rigor metodológico e nos equipamentos utilizados. O estudo demonstra que o rastreamento ocular (*eye tracking*) evoluiu de discussões teóricas para aplicações práticas, sendo utilizado principalmente nas áreas das ciências cognitivas e comportamentais. A análise revela, ainda, a predominância de aplicações empíricas em seres humanos, evidenciando a transição da técnica de abordagens teóricas para a investigação aplicada de processos atencionais e cognitivos. Os resultados indicam a hegemonia de equipamentos das fabricantes SR *Research* (*EyeLink*) e Tobii, adequados, respectivamente, para estudos que demandam alta resolução temporal e para investigações em contextos mais ecológicos. Constatou-se que as métricas de fixação, sacadas e pupilometria são as mais utilizadas, porém, identificou-se uma deficiência no relato padronizado de parâmetros instrumentais em parte da amostra. O estudo conclui destacando tendências futuras promissoras, notadamente a integração multimodal com técnicas de neuroimagem e eletrofisiologia (fMRI/EEG), a aplicação de *machine learning* para modelagem preditiva e a crescente adoção de paradigmas ecológicos com o uso de dispositivos vestíveis.
Palavras-chave: *eye tracking;* ciências cognitivas; comportamento oculomotor; integração multimodal; rigor metodológico.

ABSTRACT: This extended abstract presents the results of a systematic review of 45 articles published between 2021 and 2026, focusing on technical applications, methodological rigor, and the equipment employed. The study demonstrates that eye tracking has evolved from predominantly theoretical discussions to practical applications, being used mainly in the fields of cognitive and behavioral sciences. The analysis further reveals the predominance of empirical applications involving human participants, highlighting the transition of the technique from theoretical approaches to the applied investigation of attentional and cognitive processes. The results indicate the predominance of equipment manufactured by SR Research(EyeLink) and Tobii, which are particularly suited, respectively, to studies requiring high temporal

[1] Doutora em Linguística Teórica e Aplicada (UCM-Espanha e UnB), Professora do Instituto Federal de Brasília (IFB) e Pesquisadora do Laboratório de Neurociências do Consumidor (LabConsumer/ENEDES).vanessa.silva@ifb.edu.br
[2] Doutora em Geografia, Pós-doutora em Acessibilidade (ULGC-Espanha), Professora do Instituto Federal de Brasília (IFB) e Pesquisadora do Laboratório de Neurociências do Consumidor (LabConsumer/ENEDES).leticia.lima@ifb.edu.br

resolution and to investigations conducted in more ecologically valid contexts. Fixation, saccade, and pupillometry metrics were found to be the most frequently employed. However, a lack of standardized reporting of instrumental parameters was identified in part of the sample. The study concludes by highlighting promising future trends, notably multimodal integration with neuroimaging and electrophysiological techniques (fMRI/EEG), the application of machine learning for predictive modeling, and the growing adoption of ecologically valid paradigma through the use of wearable devices.
Keywords: eye tracking; cognitive Science; oculomotor behavior; multimodal integration; methodological rigor.

Introdução

O rastreamento ocular (*eye tracking)* estabeleceu-se como um pilar metodológico fundamental nas áreas das ciências cognitivas e comportamentais, bem como nos estudos de interação humano-computador. A capacidade de registrar o comportamento oculomotor em tempo real vem proporcionando às pesquisas experimentais uma janela objetiva e quantificável para os processos atencionais, perceptivos e de tomada de decisão. No entanto, conforme destacam Hessels et al. (2025a), a eficácia dessa técnica depende da capacidade do pesquisador de estabelecer uma articulação teórica consistente entre a questão de pesquisa e o comportamento visual observado, uma vez que a ausência dessa articulação pode resultar em ruído analítico.

Recentemente, a comunidade científica tem dedicado esforços para padronizar e elevar o rigor metodológico dos estudos na área. Iniciativas como a série de artigos *The Fundamentals of Eye Tracking*, publicada no periódico *Behavior Research Methods*, abordam desde a formulação da pergunta de pesquisa e operacionalização das variáveis até a seleção criteriosa de *hardware* e *software* (Hessels et al., 2025a; Hooge et al., 2025a; Nyström et al., 2025). Tais diretrizes enfatizam a importância de estudos-piloto sistemáticos e do delineamento rigoroso de Áreas de Interesse (AOIs) para garantir a validade e a reprodutibilidade dos achados.

Diante deste cenário de amadurecimento metodológico, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma revisão sistemática da literatura focada na técnica e no equipamento de *eye tracking*. A justificativa para este estudo reside na necessidade de mapear o estado da arte das práticas de pesquisa neste contexto, identificando lacunas no relato metodológico e delineando as tendências tecnológicas atuais. A metodologia adotada consistiu na análise de um corpus de 45 artigos científicos, publicados em periódicos revisados por pares

entre os anos de 2021 e 2026. A exclusão prévia de artigos inacessíveis assegurou que a análise fosse conduzida sobre textos completos, permitindo um nível de profundidade e extração de justificativas que resguardam a fidedignidade da revisão. A avaliação foi estruturada a partir de 10 perguntas de elegibilidade e qualidade, abordando a aplicação empírica da técnica, as populações investigadas, o rigor na descrição do método e das métricas, os equipamentos utilizados e as tendências futuras.

Ademais, esta revisão sistemática constituiu uma etapa fundamental para as pesquisadoras, ao fornecer subsídios teórico-metodológicos essenciais para o aprimoramento de protocolos experimentais, seleção de equipamentos e consolidação de estratégias analíticas aplicadas às pesquisas em neurociência da aprendizagem, do consumo, do comportamento do visitante e de turismo.

Referencial Teórico

Historicamente, a investigação da relação entre o controle oculomotor e os processos mentais evoluiu de proposições teóricas sobre a intencionalidade do olhar até demonstrações empíricas que associam trajetórias oculares ao reconhecimento visual e a tarefas cognitivas. Esse percurso culminou na consolidação da hipótese olho-mente (Just; Carpenter, 1980), a qual postula uma correspondência temporal estreita entre a fixação visual e o processamento cognitivo simultâneo. Sob essa premissa, o comportamento oculomotor atua como um indicador indireto da cognição, avaliado por meio de métricas analíticas selecionadas conforme a demanda da tarefa.

As métricas de fixação (duração e contagem) são primariamente utilizadas para inferir a dificuldade de processamento e a alocação de atenção sustentada. Em paralelo, as métricas sacádicas (amplitude e latência) mensuram a captura atencional exógena e os mecanismos de inibição (Stilwell; Vecera, 2022). Adicionalmente, a pupilometria destaca-se como índice sensível de esforço cognitivo e ativação do sistema nervoso autônomo (Hessels et al., 2024b). Em estímulos multimodais, a delimitação precisa de Áreas de Interesse (AOIs) e a análise do tempo de permanência (dwell time) são essenciais para quantificar o poder de retenção espacial da atenção, exigindo rigor geométrico para mitigar vieses analíticos (Hooge et al., 2025b).

Destarte, a validade empírica dessas métricas depende intrinsecamente da adequação da instrumentação. A escolha do equipamento deve equilibrar precisão espacial, taxa de amostragem e liberdade de movimento. Sistemas com alta frequência (1000 a 2000 Hz) são imperativos para a ciência cognitiva básica que demanda resolução temporal fina, enquanto *eye trackers* vestíveis e remotos são indicados para paradigmas ecológicos voltados à interação natural em cenários reais (Hessels et al., 2024b; Nyström et al., 2025).

Resultados

A síntese quantitativa e qualitativa dos 45 artigos analisados revela um cenário de uso crescente e consistente do *eye tracking* em pesquisas empíricas. A literatura revisada apresenta caráter aplicado, com 37 estudos utilizando essa técnica como instrumento central de coleta e análise de dados. Essa predominância evidencia que o rastreamento ocular ultrapassou o âmbito das discussões estritamente teóricas e passou a constituir um importante recurso metodológico em diferentes campos de investigação. As áreas de maior destaque das ciências cognitivas e comportamentais encontram-se a psicologia cognitiva; a engenharia de fatores humanos (ou ergonomia cognitiva); e as ciências clínicas e do desenvolvimento, conforme discutido por Adams e Gaspelin (2024) e por Stapel, El Hassnaoui e Happee (2022).

A pesquisa é majoritariamente focada em seres humanos, abrangendo uma notável diversidade etária e clínica. Os estudos envolveram desde bebês com alta probabilidade de autismo e crianças surdas aprendendo língua de sinais até o envelhecimento cognitivo e populações psiquiátricas, como pacientes com esquizofrenia e epilepsia do lobo frontal (Wang et al., 2025; Navalón et al., 2021). Esta amplitude atesta a não-invasividade e a tolerabilidade da técnica em populações sensíveis, superando restrições tradicionais de laboratório (Bradshaw et al., 2023).

No aspecto do rigor metodológico, o cenário demonstrou elevada consistência científica, pois 41 artigos apresentaram descrição completa do método de aplicação e 40 descreveram adequadamente as métricas analíticas utilizadas. O detalhamento rigoroso da configuração experimental, incluindo a distância do participante ao rastreador, é basilar para a reprodutibilidade (Bradshaw et al., 2023). Contudo, a identificação clara da instrumentação e do *hardware* falhou em 13 artigos, apontando para uma necessidade contínua de adoção de

diretrizes de publicação mais rígidas, como o relato completo do fabricante, modelo, taxa de amostragem, precisão angular e procedimento de calibração (Nyström et al., 2025). Entre os estudos que reportaram o *hardware*, observou-se um duopólio das fabricantes SR *Research* (sistemas *EyeLink*, com 21 artigos) e Tobii (7 artigos), refletindo a preferência por sistemas de alta resolução em pesquisas de ciência cognitiva básica e a adoção de equipamentos da Tobii e *Pupil Labs* em estudos ecológicos e aplicados.

A análise das discussões sobre o futuro da técnica apontou os três eixos principais de evolução metodológica que estão redefinindo o campo das neurociências: a integração multimodal, ou coregistro, pois representa o avanço mais significativo para a compreensão holística dos processos neurais. A combinação do rastreamento ocular com técnicas de neuroimagem e eletrofisiologia, como fMRI e EEG, permitindo mapear indicadores neurofisiológicos de forma integrada. Estudos recentes demonstram que a integração dessas modalidades aumenta a capacidade de identificar padrões associados ao autismo infantil, por meio da análise conjunta de dados de EEG e, por último, o *eye tracking* com técnicas de inteligência artificial (Simon Majed CeH; Benedek, 2021).

Observa-se também uma transição evidente da análise estatística clássica para a aplicação de *machine learning* e modelagem preditiva. A utilização de dados brutos de movimentos oculares para treinar classificadores capazes de detectar estados cognitivos de forma automatizada abre precedentes para sistemas de monitoramento em tempo real, com aplicações importantes para a avaliação de fadiga e carga cognitiva em ambientes operacionais (Nyström et al., 2025). Por fim, a pesquisa está migrando progressivamente do laboratório para ambientes naturais, impulsionada pela evolução do *hardware* vestível e por paradigmas ecológicos.

A comparação entre a atenção social em laboratório e no mundo real tem destacado que comportamentos oculomotores observados em telas não necessariamente se traduzem para interações face a face, reforçando a necessidade de estudos em contextos naturalísticos). Paralelamente, a validação de plataformas *online* baseadas em *webcams* comuns tem viabilizado a condução de estudos de percepção em larga escala (Hessels et al., 2025b). Destarte, a revisão atesta a maturidade do *eye tracking* como instrumento metodológico nas ciências cognitivas e comportamentais. As trajetórias futuras apontam para um panorama promissor onde o rastreamento ocular não atua isoladamente, mas em sinergia com a

neuroimagem e eletrofisiologia, algoritmos avançados e dispositivos vestíveis, permitindo decodificar a cognição humana em ambientes complexos e naturalísticos.

Referências bibliográficas

BRADSHAW, Jessica; AMSO, Dima; PERLMAN, Susan B.; SULLIVAN, Elinor; FAJA, Susan; HENDERSON, Heather A.; KELTY-STEPHEN, Damian P.; PÉREZ-EDGAR, Koraly. Infant embodied attention in context: feasibility of home-based head-mounted eye tracking in early infancy. **Developmental Cognitive Neuroscience**, v. 64, art. 101299, 2023. DOI: 10.1016/j.dcn.2023.101299.

CEH, Simon Majed; BENEDEK, Mathias. **fMRI-eye tracking coregistration for mapping internal attention.** NeuroImage, 2021.

HESSELS, Roy S.; LI, Peitong; BALALI, Sofia; TEUNISSE, Martin K.; POPPE, Ronald; NIEHORSTER, Diederick C.; NYSTRÖM, Marcus; BENJAMINS, Jeroen S.; SENJU, Atsushi; SALAH, Albert Ali. **The link between theory and research question is the foundation of any eye-tracking study**. Behavior Research Methods, 2025a.

HESSELS, Roy S.; LI, Peitong; BALALI, Sofia; TEUNISSE, Martin K.; POPPE, Ronald; NIEHORSTER, Diederick C.; NYSTRÖM, Marcus; BENJAMINS, Jeroen S.; SENJU, Atsushi; SALAH, Albert Ali. **Gaze-action coupling, gaze-gesture coupling, and exogenous attraction of gaze in dyadic interactions**. Behavior Research Methods, 2024a.

HESSELS, Roy S.; LI, Peitong; BALALI, Sofia; TEUNISSE, Martin K.; POPPE, Ronald; NIEHORSTER, Diederick C.; NYSTRÖM, Marcus; BENJAMINS, Jeroen S.; SENJU, Atsushi; SALAH, Albert Ali**. Pilot studies in eye tracking**. Behavior Research Methods, 2025b.

HOOGE, Ignace T. C.; NYSTRÖM, Marcus; NIEHORSTER, Diederick C.; HESSELS, Roy S. **Operationalization of variables in eye-tracking research.** Behavior Research Methods, 2025a.

HOOGE, Ignace T. C.; NYSTRÖM, Marcus; NIEHORSTER, Diederick C.; HESSELS, Roy S. **Wearable eye tracking for dyadic interactions**. Behavior Research Methods, 2024b.

HOOGE, Ignace T. C.; NYSTRÖM, Marcus; NIEHORSTER, Diederick C.; HESSELS, Roy S. **Defining Areas of Interest (AOIs).** Behavior Research Methods**,** 2026.

JUST, Marcel Adam; CARPENTER, Patricia A. A theory of reading: from eye fixations to comprehension. **Psychological Review**, Washington, DC, v. 87, n. 4, p. 329–354, 1980.

NAVALÓN, Pablo; SERRANO, Elena; ALMANSA, Belén; PEREA, Manuel; BENAVENT, Pilar; DOMÍNGUEZ, Alberto; SIERRA, Pilar; CAÑADA, Yolanda; GARCÍA-BLANCO, Ana. Attentional biases to emotional scenes in schizophrenia**:** an eye-tracking study. **Biological Psychology**, v. 160, art. 108045, 2021. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2021.108045.

NYSTRÖM, Marcus; NIEHORSTER, Diederick C.; HESSELS, Roy S.; HOOGE, Ignace T. C. **Hardware selection and calibration in eye tracking**. Behavior Research Methods, 2025.

STAPEL, Jork; EL HASSNAOUI, Mounir; HAPPEE, Riender. Measuring driver perception*:* combining eye-tracking and automated road scene perception. **Human Factors,** Thousand Oaks, v. 64, n. 4, p. 714–731, jun. 2022. DOI: 10.1177/0018720820959958. Disponível em: PubMed. Acesso em: 19 mai. 2026.

STILWELL, Brad T.; VECERA, Shaun P. Testing the underlying processes leading to learned distractor rejection: learned oculomotor avoidance. **Attention, Perception, & Psychophysics**, New York, v. 84, n. 6, p. 1964–1981, 2022. DOI: 10.3758/s13414-022-02483-6

WANG, Shuai; GIRARD, Juliette M.; PARISH-MORRIS, Julia; SCHWEIZER, Thalia; IVERSON, Jana M.; MESSINGER, Daniel S.; CHAWARSKA, Katarzyna. Orienting to and away from the eyes in infants at high likelihood for autism when scanning faces. **Autism Research**, Hoboken, v. 18, n. 2, p. 415–428, 2025. DOI: 10.1002/aur.3286.

ZHANG, Qiong; SUN, Weifeng; HUANG, Kailing; QIN, Li; WEN, Shirui; LONG, Xiaoyan; WANG, Quan; FENG, Li. Frontal lobe epilepsy*:* an eye tracking study of memory and attention. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 17, art. 1298468, 2023. DOI: 10.3389/fnins.2023.1298468. PMID: 38116071. PMCID: PMC10728291.